

УДК 625.42

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ НЕТЕРМОУПРОЧНЕННЫХ РЕЛЬСОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

В. И. Матвеев¹, А. А. Кебиков¹, А. А. Сырокваш²

¹Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

²КУП "Минский метрополитен", г. Минск

Выполнено исследование структуры дефектов и интенсивности выхода рельсов на двух путях первой линии Минского метрополитена с момента начала эксплуатации.

На первой линии Минского метрополитена в 1984 году открыто движение поездов на первом участке: ст. Институт Культуры – ст. Московская и в 1986 году – на втором участке: ст. Московская – ст. Восток. Общая протяженность первой линии составляет 12,5 км.

На путях Минского метрополитена применяются в основном нетермоупрочненные рельсы типа Р50 производства металлургического комбината «Азовсталь», и только с 2001 года для замены вышедших из строя используются рельсы Нижнетагильского металлургического комбината.

В отличие от рельсов, эксплуатирующихся на железных дорогах, где применяют в основном объемно-закаленные рельсы, метрополитены стран СНГ эксплуатируют рельсы без термического упрочнения. Основная причина этого связана со стремлением обеспечить их лучшую механическую обрабатываемость в условиях метрополитенов при резке и сверлении болтовых отверстий.

Выполнено исследование структуры дефектов (таблица 1) и интенсивности выхода рельсов на двух путях первой линии Минского метрополитена с момента начала эксплуатации. Выход рельсов – появление дефектов в рельсах в процессе эксплуатации, вызывающее необходимость их замены. Порядок изъятия рельсов зависит от степени их угрозы безопасности движения. Остродефектные рельсы заменяются в первоочередном порядке, дефектные – берутся под наблюдение и заменяются в плановом порядке.

Всего обнаружено 223 дефекта. Основной причиной выхода рельсов является дефект 11. Его доля среди всех дефектов с начала эксплуатации до настоящего времени составляет 56 %, а по годам колеблется от 15 до 86 %, в то время как совместная доля дефектов 21 и 30.Г не превышает 4 %.

Положительным фактором является малая доля опасных стыковых дефектов 53. По сравнению с рельсами, лежащими на сети железных дорог, где доля таких дефектов достигает 30 %, в рельсах метрополитена их всего около 3–4 %.

В целом, доля остродефектных рельсов в общем количестве изымаемых из пути в одиночном порядке рельсов в определенной мере характеризует уровень безопасности движения в части, зависящей от рельсового хозяйства. Поэтому целесообразно сравнить показатели выхода дефектных и остродефектных рельсов. Необходимые данные для I и II путей представлены в таблице 2. Они позволяют проследить за изменением значений удельных показателей выхода.

Проанализируем выход рельсов по годам с момента начала эксплуатации первой линии метро и по настоящее время. Сгруппируем все случаи выхода рельсов в три группы: остродефектные, дефекты по прочим причинам (дефект 99) и дефектные. Графики выхода указанных групп дефектов рельсов по годам для I пути первой линии представлены на рисунке 1. Анализируя эти группы дефектов, отмечаем, что выход по ним практически совпадает в первые четыре года и в последние два года эксплуатации, а в середине срока эксплуатации выход дефектных рельсов опережает выход по прочим дефектам от 0,32 до 0,56 шт./км в год.

Кроме того, на протяжении первых восьми лет эксплуатации выход рельсов дефектных и остродефектных незначительно (от 0,08 до 0,16 шт./км в год) отличается друг от друга, а в последующие годы отмечается усиленный выход дефектных рельсов по сравнению с остродефектными, разница которых в 2004 году достигла 3,52 шт./км.

На рисунке 1 построены еще два графика: суммарный выход по первому пути и выход дефектных и остродефектных рельсов. За 20 лет эксплуатации выход дефектных и остродефектных рельсов по I пути составил 7,36 шт./км, а с учетом прочих дефектов – 9,20 шт./км, что весьма значительно.

Графики выхода рельсов по годам для II пути представлены на рисунке 2. По сравнению с выходом рельсов на I пути, более интенсивно выходят острodefектные рельсы. Идентичным в первые восемь лет оказался выход дефектных и острodefектных рельсов, при этом суммарный выход дефектных рельсов по I и II путям к 2005 году оказался одинаковым и составил 5,44 шт./км.

Таблица 1 – Дефекты рельсов, выявленные на путях первой линии Минского метрополитена

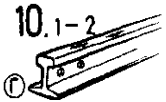
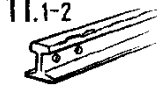
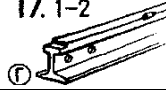
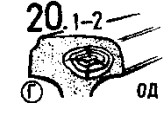
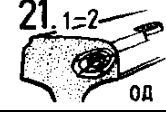
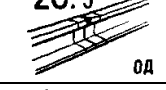


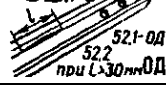
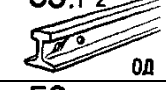


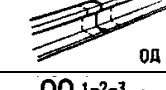
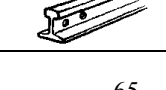
Дефект и основная причина его появления и развития	Схематическое изображение	Расположение дефекта по длине рельса и его кодовое обозначение	Число выходов рельсов (доля от общего числа выходов)
Отслоение и выкрашивание металла на поверхности катания головки из-за недостатков технологии изготовления рельсов – волосовин, закатов, плен и т. п.		В стыке (10.1) Вне стыка (10.2)	4 шт. (1,8 %)
Выкрашивание металла на боковой рабочей выкружке головки из-за недостаточной контактно-усталостной прочности металла		В стыке (11.1) Вне стыка (11.2)	125 шт. (56,0 %)
Отслоение и выкрашивание металла на поверхности катания в закаленном слое головки (при отсутствии наплавки)		В стыке (17.1) Вне стыка (17.2)	7 шт. (3,1 %)
Поперечные трещины в головке в виде светлых или темных пятен и изломы из-за них, вызванные внутренними пороками (флокенами, газовыми пузырями и др.)		В стыке (20.1) Вне стыка (20.2)	1 шт. (0,4 %)
Поперечные трещины в головке в виде светлых или темных пятен и изломы из-за них вследствие недостаточной контактно-усталостной прочности металла		В стыке (21.1) Вне стыка (21.2)	8 шт. (3,6 %)
Поперечные трещины в головке из-за нарушений технологии сварки рельсов		В месте контактной стыковой сварки (26.3)	5 шт. (2,2 %)
Закалочные трещины в закалочном слое металла головки		В стыке (27.1) Вне стыка (27.2)	1 шт. (0,4 %)
Горизонтальное расслоение головки из-за наличия скоплений неметаллических включений		В стыке (30Г.1) Вне стыка (30Г.2)	1 шт. (0,4 %)
Продольные трещины и выколы из-за них в местах перехода головки в шейку		В стыке (52.1) Вне стыка (52.2)	1 шт. (0,4 %)
Трещины в шейке от болтовых и других отверстий в рельсах		В стыке (53.1) Вне стыка (53.2)	8 шт. (3,6 %)
Трещины в шейке в месте сварного шва вследствие дефектов сварки и обработки сварного шва		В месте контактной стыковой сварки (56.3)	2 шт. (0,9 %)
Волосовины в подошве, трещины, выколы части подошвы и изломы из-за этих дефектов		В стыке (60.1) Вне стыка (60.2)	3 шт. (1,3 %)
Трещины в подошве из-за нарушения технологии сварки рельсов		В месте контактной стыковой сварки (66.3)	13 шт. (5,9 %)
Другие, кроме перечисленных выше, дефекты и повреждения рельсов		В стыке (99.1) Вне стыка (99.2) В сварном стыке (99.3)	44 шт. (20,0 %)

Таблица 2 – Выход рельсов по первой линии Минского метрополитена (по I пути/по II пути)

Год	Дефектные					Острodefектные				
	дефект 11	дефекты 10, 17	дефект 99	итого	интенсивность, шт./км в год	дефекты 20, 21, 26, 27, 30.Г	дефекты 60, 66	дефекты 52, 53, 56	итого	интенсивность, шт./км в год
1984	-	-	-	-	-	2/0	-	-	2/0	0,16/0,00
1985	1/0	-	0/1	1/1	0,08/0,08	-	-	-	-	-
1986	1/0	1/1	2/2	4/3	0,32/0,24	-	-	-	-	-
1987	1/0	0/1	0/3	1/4	0,08/0,32	0/1	2/0	-	2/1	0,16/0,08
1988	-	-	-	-	-	-	2/2	0/2	2/4	0,16/0,32
1989	4/1	-	-	4/1	0,32/0,08	-	3/1	-	3/0	0,24/0,00
1990	-	-	0/5	0/5	0,00/0,40	0/1	-	-	0/1	0,00/0,08
1991	3/3	-	1/1	4/4	0,32/0,32	1/0	-	-	1/0	0,08/0,00
1992	8/13	1/0	1/0	10/13	0,80/1,04	0/1	-	-	0/1	0,00/0,08
1993	3/5	-	-	3/5	0,24/0,40	1/1	-	-	1/1	0,08/0,08
1994	7/6	-	-	7/6	0,56/0,48	-	-	-	-	-
1995	2/7	0/1	-	2/8	0,16/0,64	-	-	-	-	-
1996	4/3	-	1/0	5/3	0,40/0,24	-	0/1	-	0/1	0,00/0,08
1997	6/2	-	1/1	7/3	0,56/0,24	0/1	0/2	1/1	1/4	0,08/0,32
1998	3/3	2/0	2/1	7/4	0,56/0,32	-	0/1	1/0	1/1	0,08/0,08
1999	4/0	0/1	4/2	8/3	0,64/0,24	2/0	1/1	-	3/1	0,24/0,08
2000	6/3	-	5/1	11/4	0,88/0,32	2/0	1/0	1/1	4/1	0,32/0,08
2001	2/4	-	1/1	3/5	0,24/0,40	0/1	-	1/0	1/1	0,08/0,08
2002	0/2	0/3	0/2	0/7	0,00/0,56	-	-	-	-	-
2003	7/3	-	5/1	12/4	0,96/0,32	2/0	0/0	0/1	2/1	0,16/0,08
2004	2/6	-	-	2/6	0,16/0,48	-	-	1/0	1/0	0,08/0,00
ВСЕГО	64/61	4/7	23/21	91/89	-	10/6	9/7	6/5	25/18	-
шт./год	3,1/3,0	0,2/0,3	1,1/1,0	4,5/4,4	-	0,5/0,3	0,45/0,35	0,30/0,25	1,2/0,9	-
шт./км в год	0,25/0,24	0,02/0,02	0,09/0,08	0,34/0,33	-	0,04/0,02	0,03/0,03	0,02/0,02	0,16/0,12	-

За 20 лет эксплуатации линий метро выход дефектных и острodefектных рельсов II пути составил 6,88 шт./км и оказался ниже выхода рельсов по I пути на 0,48 шт./км. При этом суммарный выход дефектных рельсов, острodefектных и прочих дефектных рельсов по II пути оказался на 0,64 шт./км меньше, чем по I пути и составил 8,56 шт./км.

Средний выход дефектных и острodefектных рельсов на первой линии метро за весь срок эксплуатации к 2005 году достиг 7,12 шт./км, а средний суммарный выход всех видов дефектных рельсов за этот же срок – 8,22 шт./км.

Выход рельсов по указанным группам дефектов по отдельности незначителен и может обеспечить пропуск значительного тоннажа. Так, например, для дефектных рельсов можно допустить пропуск 500 млн т и более. Необходимо отметить, что годовой удельный выход рельсов в размере 5–7 шт./км представляется неоправданно высоким, поэтому требуется принятие кардинальных мер по повышению эксплуатационной стойкости поступающих на метрополитен рельсов.

Средний тоннаж, пропущенный до замены дефектных рельсов на прямых участках I пути, составляет 201,46, в кривых радиусом 1000 м – 69,00, в кривых радиусом 600 м – 74,00, в кривых радиусом 500 м – 163,64 и в кривых радиусом 400 м – 193,65 млн т (таблица 3). По II пути эти значения составляют соответственно 195,79; 202,00; 121,80; 174,28 и 169,68 млн т (таблица 4). Как видно, удовлетворительная сходимость отмечается на прямых и в кривых радиусом 500 м, а на кривых радиусом 1000 и 600 м средний тоннаж по I и II путям до выхода рельсов отличается соответственно в 2 и 2,5 раза, что весьма существенно.

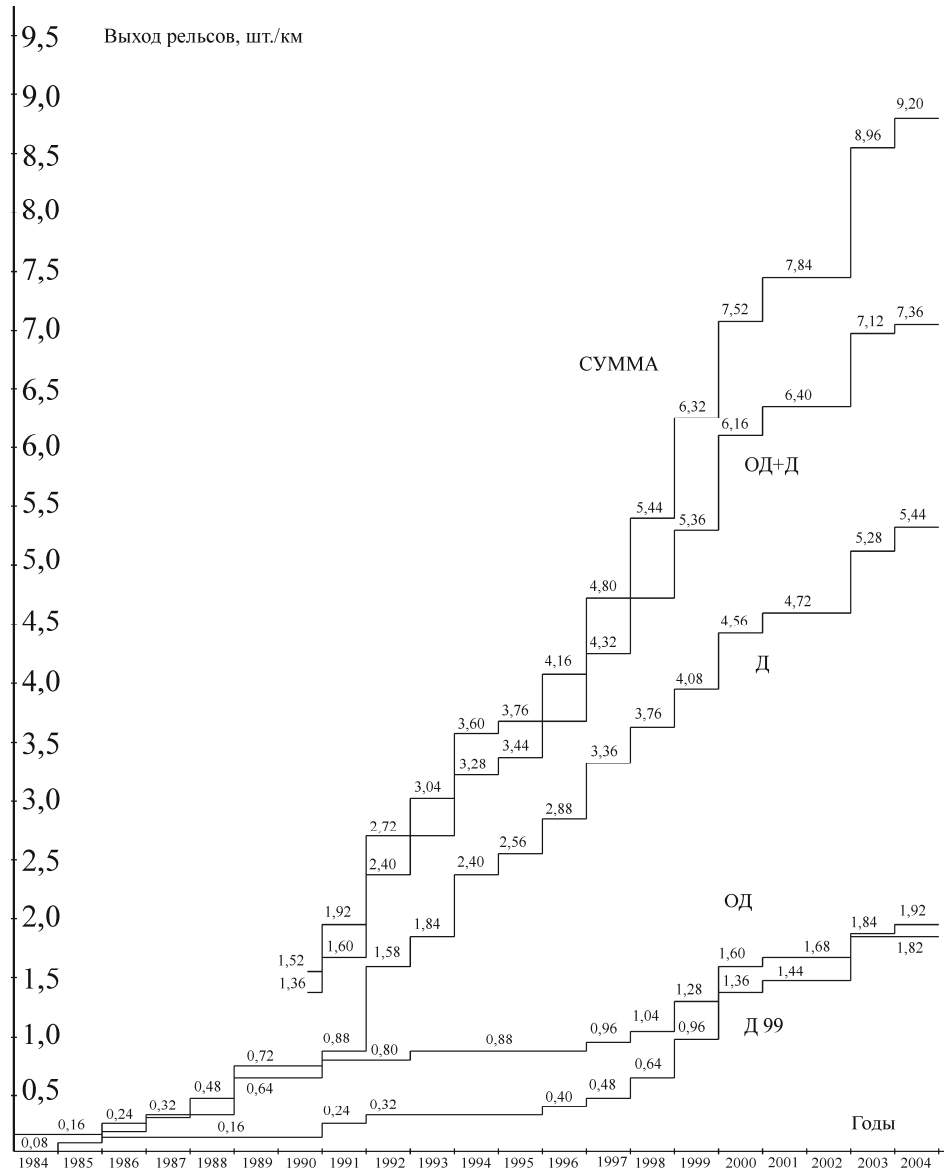


Рисунок 1 – Выход рельсов по годам для I пути первой линии Минского метрополитена

Среднее значение указанного тоннажа соответственно составляет 198,62; 135,50; 97,9; 168,96 и 181,66 млн т, из чего следует, что по мере уменьшения радиуса кривых до 600 м отмечается некоторое снижение, а при дальнейшем уменьшении радиуса кривой резкое возрастание пропущенного тоннажа до выхода рельсов. При этом на прямых и в кривых радиусом 400 м выход рельсов происходит практически при одинаково пропущенном тоннаже. Поэтому приоритет по выходу рельсов в зависимости от плана линии можно выразить по мере уменьшения указанного тоннажа в следующей очередности: прямые, кривые радиусом 400; 500; 1000 и 600 м соответственно. Поэтому прямой зависимости уменьшения выхода рельсов по мере снижения радиуса кривых не наблюдается.

Выход рельсов на I пути в прямых и на кривых радиусом 1000 м и более составляет 68 шт., а в крутых кривых радиусом 600 м и менее – 48 шт. По II пути эти величины составляют соответственно 45 и 62 шт., т.е. выход рельсов на прямых и в пологих кривых оказался в 1,5 раза меньше, а в крутых

кривых – почти в полтора раза больше по сравнению с I путем. Суммарный итог по обоим путям оказался практически одинаковым: на кривых радиусом более 1000 м и в крутых кривых составил соответственно 116 и 107 шт. за весь 20-летний срок эксплуатации первой линии Минского метрополитена. При этом почти при одинаковой протяженности кривых участков пути процентное отношение крутых кривых по I и II путям составляет соответственно 76,5 и 80,0 %, т.е. они различаются по этому показателю всего лишь на 3,5 % или на 80 м, что весьма незначительно.

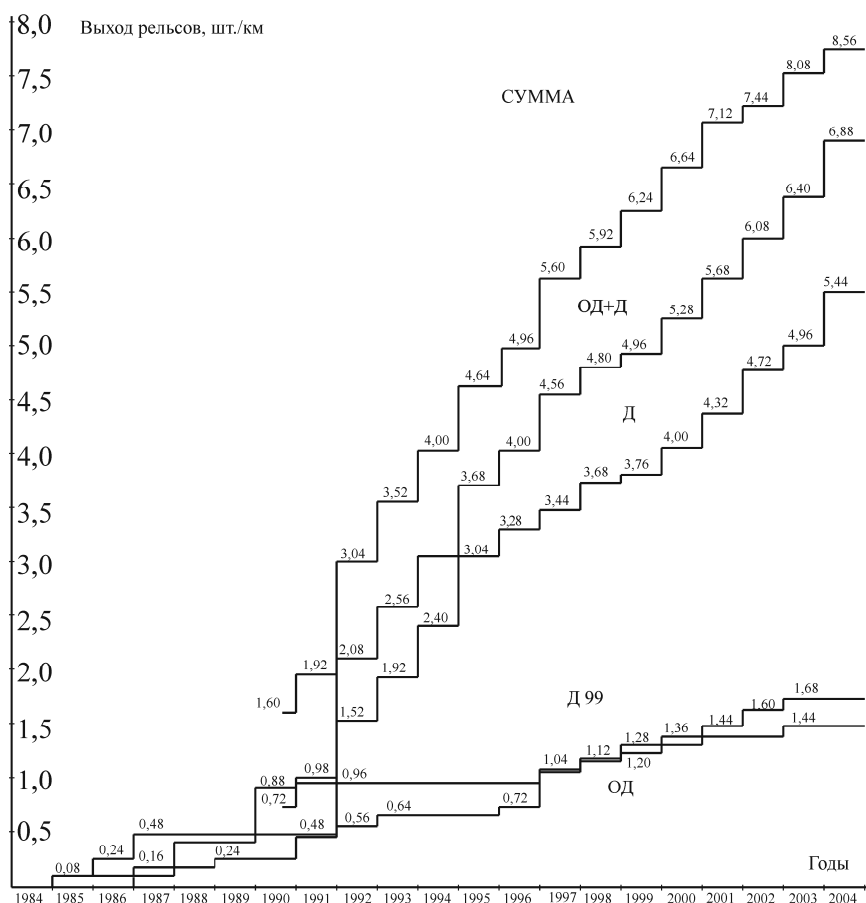


Рисунок 2 – Выход рельсов по годам для II пути первой линии Минского метрополитена

Таблица 3 – Распределение выхода рельсов по тоннажу в зависимости от плана для I пути первой линии Минского метрополитена

№ п/п	Тоннаж, млн т	Число выходов при плане линии				
		Прямые и кривые R>1000 м	Кривые			
	R=1000 м		R=600 м	R=500 м	R=400 м	
1	0 – 20	5	-	-	-	-
2	20 – 40	2	-	-	-	-
3	40 – 60	2	-	-	1	-
4	60 – 80	2	1	1	4	3
5	80 – 100	-	-	-	-	-
6	100 – 120	4	-	-	4	1
7	120 – 140	4	-	-	4	2
8	140 – 160	6	-	-	1	2
9	160 – 180	2	-	-	3	2
10	180 – 200	1	-	-	2	-
11	200 – 220	4	-	-	3	1
12	220 – 240	4	-	-	1	1
13	240 – 260	11	-	-	2	4
14	260 – 280	3	-	-	1	1
15	280 – 300	6	-	-	1	-
16	300 – 320	9	-	-	-	2
17	320 – 340	2	-	-	-	1
Итого		67	1	1	27	20

Таблица 4 – Распределение выхода рельсов по тоннажу в зависимости от плана для II пути первой линии Минского метрополитена

№ п/п	Тоннаж, млн т	Число выходов при плане линии				
		Прямые и кривые $R > 1000$ м	Кривые			
			$R = 1000$ м	$R = 600$ м	$R = 500$ м	$R = 400$ м
1	0 – 20	1	-	-	-	-
2	20 – 40	5	-	-	5	-
3	40 – 60	2	-	2	-	2
4	60 – 80	2	-	-	2	1
5	80 – 100	-	-	-	1	1
6	100 – 120	-	-	-	2	6
7	120 – 140	-	1	1	7	2
8	140 – 160	4	1	1	3	1
9	160 – 180	3	2	-	6	3
10	180 – 200	-	-	-	2	3
11	200 – 220	4	-	-	3	-
12	220 – 240	2	1	1	-	-
13	240 – 260	2	-	-	2	1
14	260 – 280	1	-	-	2	-
15	280 – 300	5	1	-	2	-
16	300 – 320	8	-	-	1	-
17	320 – 340	-	-	-	1	2
Итого		38	7	5	35	22

Условия эксплуатации рельсов в метрополитенах и на магистральных железных дорогах в значительной мере отличаются друг от друга. Малые осевые нагрузки, короткие интервалы движения поездов в метро и сравнительно высокая грузонапряженность накладывают свои особенности на структуру зарождения и развития дефектов рельсов.

В таблице 5 приведены сравнительные данные по удельному выходу нетермоупрочненных рельсов типа Р50 по основным дефектам на путях железных дорог и Московского метрополитена, а также данные по выходу рельсов на путях первой линии Минского метрополитена после пропуска тоннажа 315 млн т брутто, несколько превышающего нормативный, который в соответствии с действующей Инструкцией для прямых и кривых участков пути радиусом 600 м и более не должен превышать 300 млн т брутто.

Таблица 5 – Удельный выход рельсов типа Р50 на путях метро и линиях сети железных дорог

Показатель		11	10, 17	20, 21, 26, 27 30Г	41	52.1, 53, 56	60, 66	Сумма по приведенным дефектам
На линиях железных дорог	Удельный выход, шт./км	0,06	0,02	0,36	0,04	0,33	-	0,81
	Доля от изъятых рельсов по всем дефектам, %	5,8	2,4	36,8	3,9	33,7		82,6
На путях Московского метрополитена	Удельный выход, шт./км	0,70	0,08	0,04	-	0,07	-	0,89
	Доля от изъятых рельсов по всем дефектам, %	58,0	6,8	3,4	-	5,6	-	73,8
На путях Минского метрополитена	Удельный выход, шт./км	0,490	0,04	0,06	-	0,04	0,06	0,71
	Доля от изъятых рельсов по всем дефектам, %	56,0	4,9	6,6	-	4,9	7,2	80,9

Из таблицы 5 следует, что по основным дефектам на сети железных дорог изымаются из пути почти 82,6 % рельсов, на Минском метрополитене – 80,9 %, а на Московском метрополитене – 73,8 %, т. е. указанные доли сравнительно близки друг к другу. Также довольно близки значения показателей удельного выхода рельсов из пути по основным дефектам, которые для путей железных дорог и Московского метрополитена соответственно составляют 0,81 и 0,88 шт./км в год.

Несколько ниже удельный выход рельсов по основным дефектам от общего числа дефектов для первой линии Минского метрополитена, который составил 0,71 шт./км в год. Это можно объяснить меньшими осевыми нагрузками и меньшей интенсивностью движения поездов по сравнению с Московским метрополитеном.

Выводы:

1 Природа образования контактно-усталостных дефектов 11, 21 и 30Г одна и та же – строчечные неметаллические включения, от которых вначале образуются внутренние продольные трещины, поворачивающиеся затем либо к поверхности боковой выкружки с последующими выколами металла (дефект 11), либо внутрь головки с образованием поперечного усталостного пятна (дефект 21) или развивающиеся вдоль головки рельса (дефект 30Г). Рельсы с дефектами 21 и 30Г являются остродефектными, в то время как рельсы с дефектом 11 требуют замены в плановом порядке. Следовательно, преимущественное образование дефекта 11 в рельсах Минского метрополитена является положительным фактором (с позиций повышения уровня безопасности движения).

2 Интенсивность выхода дефектных рельсов после пропуска нормативного тоннажа на путях Минского метрополитена составляет от 0,08 до 1,04 шт./км в год. Интенсивность выхода остродефектных рельсов значительно ниже и не превышает 0,32 шт./км в год. Общее количество дефектных рельсов на путях первой линии метрополитена составило 223 шт. за весь период эксплуатации, а остродефектных рельсов – всего 43 шт., т. е. около 19 % от общего числа изъятых рельсов.

3 Структура выхода рельсов типа Р50 на путях Минского метрополитена является более благоприятной, чем на сети магистральных железных дорог. Преобладают постепенно появляющиеся и развивающиеся, визуально контролируемые дефекты 11 и 17, доля которых достигает 60 % от всех дефектов, в то время как на магистральных линиях подавляющее количество составляют дефекты 21, 53.1 и 30Г. По опасным стыковым дефектам на железных дорогах изымают около 34 % рельсов Р50, в то время, как на линиях Минского метрополитена этот показатель после пропуска нормативного тоннажа составляет не более 5 %. Величина удельного изъятия остродефектных рельсов типа Р50 на линиях метрополитена находится на уровне 20 % от аналогичного показателя для сети железных дорог.

4 Выполненный анализ позволяет сделать общее заключение, что пропуск нормативного тоннажа на первой линии Минского метрополитена не привел к исчерпанию работоспособности рельсов Р50 производства металлургического комбината “Азовсталь”. Это означает, что правомерно ставить и решать задачу о продлении их срока службы на основе соответствующих теоретических и экспериментальных исследований.

Список литературы

- 1 **Богданов, В. М.** Современные проблемы системы колесо/рельс / В. М. Богданов, С. М. Захаров // Железные дороги мира. – 2004. – № 1. – С. 57–62.
- 2 Надежность железнодорожного пути / В.С. Лысюк [и др.]; под ред. В. С. Лысюка. – М.: Транспорт, 2001. – 286 с.
- 3 Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / У. Харрис [и др.] // пер. с англ. – М.: Интекст, 2002. – 416 с.

Получено 12.04.2005

V. I. Matvetsov, A. A. Kebikov, A. A. Syrokvash. The analysis of damages of non-termohardened rails at operation in conditions of the Minsk underground.

Structure of defects and intensity of an output of rails on two ways of the first line of the Minsk underground from the moment of the beginning of operation is investigated.