

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТКАЗОВ РЕЛЬСОВЫХ ПЛЕТЕЙ БЕСТЫКОВОГО ПУТИ В ХОЛОДНОМ КЛИМАТЕ

Изложены статистические методы оценки надежности рельсовых плетей бесстыкового пути по данным об отказах, которые фиксируются в учетных формах путейских подразделений. Приведены результаты исследований по оценке надежности плетей на железнодорожных участках в условиях холодного климата и даны рекомендации по повышению их долговечности.

Для повышения эффективности путевого хозяйства в современных экономических условиях необходимо внедрение математических моделей эксплуатации пути по состоянию.

Путевые работы в настоящее время должны планироваться на основе анализа динамики изменения технического состояния пути.

Процесс изменения состояния пути является случайным по своей физической природе, поэтому необходимо использовать статистические методы.

Актуальность статистических подходов к решению задач планирования возрастает также в связи с внедрением новых нормативных документов для оценки состояния пути.

Создание на дорогах диагностических центров, оснащенных ПЭВМ, облегчает внедрение этих методов в практику планирования путевых работ, что, в свою очередь, позволяет повысить эффективность использования ремонтного фонда дорог.

Надежность рельсов в процессе эксплуатации можно оценить по статистическим данным об их отказах, которые фиксируются в формах ПУ-4 или рельсошпало-балластных картах дистанций пути [1].

Данные об отказах рельсов на некотором участке пути представляют собой вариационный ряд случайных чисел наработки до отказа. Этот ряд упорядочен так, что

$$T_1 < T_2 < T_3 < \dots < T_r. \quad (1)$$

Время испытаний ограничено периодами между капитальными ремонтами пути и мы получаем данные о наработках до отказа только части рельсов на анализируемом участке, а для остальных рельсов известно, что они не отказали после наработки T_r . Следовательно, для оценки показателей надежности рельсов имеются только цензурированные справа выборки [2].

Порядок проведения статистических экспериментов по отказам рельсов сводится к следующему:

- выбирается участок достаточной длины;
- рельсы на участке должны быть одного завода изготовителя, одного типа (с учетом термообработки) и года укладки;
- в пределах выбранного участка должны быть одинаковые условия эксплуатации (грузонапряженность, осевые нагрузки, тип верхнего строения пути и т.п.);
- участки пути группируются по радиусам кривизны;
- для каждого изъятых рельса находится наработка от момента укладки до момента отказа;

— в зависимости от цели расчетов «участком» может быть как перегон, так и дистанция пути.

Длина анализируемого участка пути определяется необходимой точностью получения оценок показателей надежности рельсов и составляет не менее 8 км [3].

Характеристики потока отказов рельсов можно получить по изложенному способу за весь период эксплуатации участка пути (от капитального до капитального ремонта пути). Однако на практике часто нет возможности так организовать испытания, чтобы получить экспериментальные данные по надежности необходимого вида и в достаточном объеме. Поэтому задача заключается в том, чтобы оценить показатели надежности по тому статистическому материалу, который имеется.

Для решения этой задачи можно воспользоваться методом ускоренного статистического эксперимента, выполняемого за один год эксплуатации.

В этом случае выбирается такой участок, на котором рельсы работают примерно в одинаковых условиях и на отдельных отрезках этого участка пути уложены в различные годы. Таких отрезков на участке должно быть пять-семь, и тип рельсов должен быть одинаковым (с учетом термообработки) [3].

Имея данные по отказам рельсов за год на всех отрезках участка, группируя их по интервалам наработки, получаем выборку, которую в дальнейшем упорядочиваем приведением отказов к единице длины (один километр).

В качестве обследуемого участка был выбран главный путь направления Свердловск — Карбышево I. Здесь в эксплуатации находятся бесстыковой путь, рельсы типа Р65 (закаленные, I группы качества), балласт асбестовый или щебеночный.

Для усиления подшпального основания на участках Называевской ПЧ ЗСЖД при УКР укладывается пенополистирол. Эксплуатационные условия участка приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эксплуатационные характеристики участков на 01.01.08

Участок пути	Путь	Грузонапряженность, Мт	Среднеосевая нагрузка, т
ПЧ Называевская (2555–2701 км)	I	92,6	18,1
	II	45,1	11,5

Развернутая длина главных путей I класса Называевской дистанции составляет 294 км (объем выборки). В плане — путь в основном располагается на прямых, кривые малого радиуса отсутствуют.

Участки пути рассматриваемой ПЧ-5 расположены в сложных инженерно-геологических условиях и на всем протяжении проходят по Ишим-Иртышскому водораздельному плато Западно-Сибирской низменности. Рельеф местности равнинный. В пределах линии — степь и лесостепь. Климат района континентальный, минимальная температура воздуха -49°C , максимальная $+40^{\circ}\text{C}$, средняя годовая сумма осадков 430 мм.

Земляное полотно на участке ПЧ-5 отсыпано в виде невысоких до 2 м насыпей и нулевых мест. Отмечаются заболоченные участки с открытым зеркалом воды. Водоотводные сооружения не обеспечивают надлежащий отвод воды. Основная площадка земляного полотна на большом протяжении неровная, с наличием балластных корыт и лож.

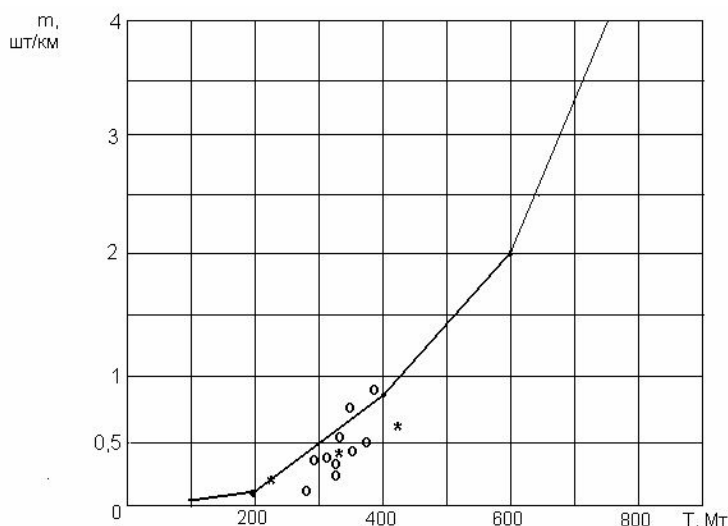
В табл. 2 представлены результаты ускоренного статистического эксперимента по данным об отказах рельсовых плетей бесстыкового пути на Называевской дистанции пути ЗСЖД по данным на 01.01.2008. (Завод-изготовитель рельсов — Кузнецкий металлургический комбинат.)

Таблица 2

**Упорядоченная выборка отказов рельсов
(ПЧ Называевская, путь бесстыковой, балласт щебеночный)**

Путь	Км начало	Км конец	Длина участка, км	Год укладки	Наработка, Мт	Изъято с начала укладки, шт.	Число отказов на 1 км, шт./км	Материал
I	2615	2657	43	2005	228	8,6	0,2	Геотекстиль+ пенополи-стирол
	2661	2681	21	2002	424	12	0,57	Пенополистирол
	2661	2681	21	2002	332	8	0,38	«
II	2577	2585	9	2000	320	2	0,22	«
	2577	2585	9	2000	275	1	0,11	«
	2590	2610	21	1999	339	15	0,71	«
	2590	2610	21	1999	294	7	0,33	«
	2615	2632	18	1999	349	8	0,44	«
	2615	2632	18	1999	304	7	0,39	Пенополистирол
	2637	2656	20	1998	374	17	0,85	Геотекстиль+ пенополи-стирол
	2637	2656	20	1998	329	11	0,55	«
	2661	2680	20	1998	368	10	0,5	Пенополистирол
	2661	2680	20	1998	323	10	0,4	Пенополистирол

На рис. 1 представлено поле корреляции (m, T) , где T — наработка, Мт; m — число отказов рельсов с момента укладки (шт./км).

Рис. 1. Зависимость отказов рельсов m от наработки T на Называевской ПЧ

Эмпирические данные на рис. 1 позволяют предложить в качестве математической модели отказов рельсов зависимость вида:

$$m = aT^b, \quad (2)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты.

С учетом выборки из табл. 2 методом наименьших квадратов получена следующая зависимость для I и II пути Называевской дистанции:

$$m = 0,000000076T^{2,67}. \quad (3)$$

Зависимость (3) показана на рис. 1. Из анализа графика видно, что нормативный выход рельсов (4 шт./км) достигается в рассматриваемых эксплуатационных условиях при 750 Мт. В тоже время при нормативной наработке на усиленный капитальный ремонт (равной 700 Мт) суммарный выход рельсов составит всего 3 шт./км. Данная благоприятная ситуация с надежностью рельсовых плетей бесстыкового пути объясняется отсутствием кривых и качественным выполнением капитальных работ с усилением подшпального основания сплошной укладкой пенополистирола.

В отличие от Называевской ПЧ на направлении Свердловск — Ишим СвЖД усиление подшпального основания с использованием пенополистирола не производится. Здесь при УКР укладывают только геотекстиль с предварительной вырезкой асбестового балласта и последующей укладкой щебеночного.

Схема обследованного на направления Свердловск — Ишим представляет собой участки дистанций пути № 7, 8, 11, 12, 13. Развернутая длина главных путей I класса составляет 1478 км (объем выборки). В плане — путь в основном располагается на прямых, кривые малого радиуса отсутствуют.

Грузонапряженность направления на 01.01.08 по I пути растет с востока на запад с 81,6 Мт до 109,9 Мт, а по II пути — с 48 Мт до 76,3 Мт.

На рис. 2 и 3 (в виде поля корреляции (m , T)) представлены результаты ускоренного статистического эксперимента по данным об отказах рельсовых плетей бесстыкового пути на направлении Свердловск — Ишим по данным на 01.01.2008. (Завод-изготовитель рельсов — Нижне-Тагильский металлургический комбинат.)

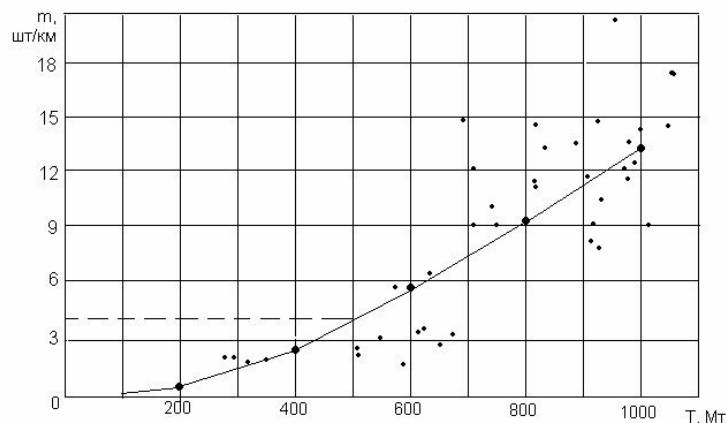


Рис. 2. Зависимость отказов рельсов m от наработки T на направлении Свердловск — Ишим (путь I)

На основании эмпирических данных получены следующие зависимости для I пути:

$$m = 0,0000987T^{1,71}; \quad (4)$$

для II пути:

$$m = 0,00009607T^{1,7}. \quad (5)$$

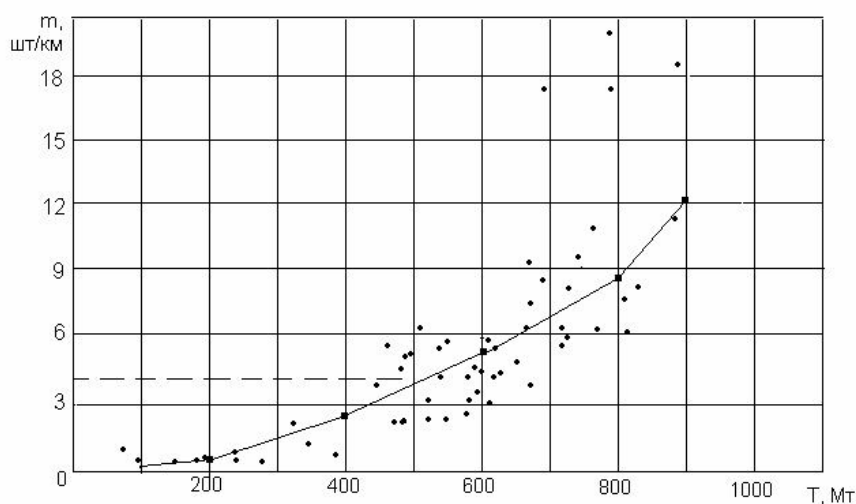


Рис. 3. Зависимость отказов рельсов m от наработки T на направлении Свердловск — Ишим (путь II)

Зависимости (4) и (5) представлены на рис. 2 и 3 соответственно. Из анализа графиков видно, что нормативный выход рельсов (4 шт./км) достигается в рассматриваемых эксплуатационных условиях уже при 500-550 Мт, что существенно меньше нормативной наработки.

Сравнительный анализ отказов рельсовых плетей бесстыкового пути на рассматриваемом направлении представлен на рис. 4.

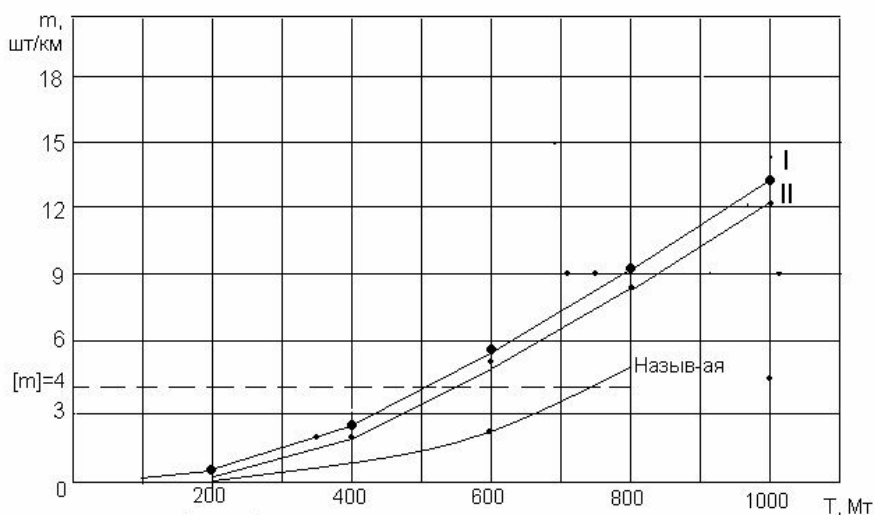


Рис. 4. Зависимость отказов рельсов m от наработки T на направлении Свердловск — Карбышево I

Из приведенных графиков видно, что долговечность рельсовых плетей на Называевской ПЧ выше, чем на участке Свердловск — Ишим. Так нормативный выход рельсов 4 шт./км достигается на Называевской ПЧ при 750 Мт, а на участке Свердловск — Ишим уже при 500-550 Мт.

На данном направлении практически одинаковые эксплуатационные и климатические условия. Поэтому такую разницу в долговечностях рельсов объясняется качеством продукции заводов-изготовителей НТМК и КМК. Оче-

видно, что рельсы Нижнее-Тагильского металлургического комбината уступают по этому показателю рельсам Кузнецкого металлургического комбината.

В настоящее время, на дорогах Урала и Сибири эксплуатируются в основном рельсы из мартеновской стали, поставляемые вышеназванными комбинатами. Технологические линии НТМК и КМК позволяют выпускать объемно-закаленные рельсы типов Р65 и Р50 длиной 25 м, из которых в РСП изготавливают рельсовые плети.

Как известно, основной причиной отказов рельсов на прямых участках пути являются дефекты контактно-усталостного происхождения. Их источник — концентраторы напряжений (неметаллические включения), к наличию которых закаленные рельсы более чувствительны (из-за неблагоприятной эпюры растягивающих остаточных напряжений), чем сырые. А в условиях низких температур — чувствительность усиливается.

Кроме этого, у бесстыкового пути повышенная чувствительность к неравномерностям пути возникающим в процессе промерзания-оттаивания. Сезонные деформации вызывают дополнительные напряжения в рельсах, что приводит к росту отказов и их изломов при промерзании-оттаивании подшпального основания [4].

Поэтому перед укладкой бесстыкового пути необходимо осуществить противодеформационные мероприятия.

На Называевской ПЧ ЗСЖД производится сплошная укладка пенополистирола для ликвидации пучинных деформаций, а СвЖД на направлении Свердловск — Ишим укладывает только геотекстиль, что не способствует снижению сезонных деформаций пути и повышению долговечности рельсовых плетей.

В условиях Сибири для бесстыкового пути следует обратить особое внимание на качество поставляемых рельсов, наладить постоянный анализ отказов рельсов всех конструкций пути на базе диагностических центров, усилить контроль за качеством выполнения капитальных работ с усилением подшпального основания.

Библиографический список

1. Щепотин Г.К. Эксплуатационная надежность железнодорожного пути. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та путей сообщения, 2008. 144 с.
2. Хан Г., Шатино С. Статистические модели в инженерных задачах. М.: Мир, 1969. 396 с.