

ПОДИНОКИЙ ВИХІД РЕЙОК – ВАЖЛИВИЙ ФАКТОР ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СТРОКУ РЕМОНТУ КОЛІЇ

Приведені результати статистичних (теоретичних) досліджень прогнозування поодинокого виходу рейок, удосконалена методика їх визначення із врахуванням експлуатаційних факторів: кривизни колії, середніх осьових навантажень рухомого складу, вантажонапруженості лінії та інші.

В данной статье приведены результаты статистических (теоретических) исследований прогнозирования одиночного изъятия рельсов, усовершенствована методика их определения с учетом следующих эксплуатационных факторов: кривизна пути, среднеосевых нагрузок подвижного состава, грузонапряженности линии и другие.

The results of statistical researches of rails' single output prognostication are adduced; the method of their determination is improved with consideration of operating factors: track curvatures, middle axial loading of rolling stock, load stress of line and other.

Вступ

В умовах реструктуризації залізничного транспорту аналіз фактичного стану рейкового господарства та планування ремонтів за фактичним станом колії є актуальною проблемою. Чинні норми періодичності модернізації і капітального ремонту колії залежать від основного фактору – пропущеного тоннажу, а також додаткових критеріїв, в тому числі і поодинокого виходу рейок, який враховує фактичний стан колії. Вирішення питання щодо прогнозування поодинокого виходу рейок проводились багатьма вченими [1-5]. В наших дослідженнях удосконалена методика їх визначення, враховано комплекс факторів, які формують динамічну навантаженість рейок. В дослідженнях аналізувався вихід сучасних рейок вітчизняного виробництва, якість рейкової сталі яких змінилась в порівнянні з 80-90 р. минулого століття.

Основною метою даного дослідження є отримання експериментальних залежностей інтенсивності потоку відмов, що дозволить забезпечити економічно-раціональну роботу рейок в різних умовах експлуатації. Досягнення поставленої мети здійснюється за допомогою теорії імовірності та математичної статистики.

Формування масивів вихідних даних дослідження

Інтенсивності потоків відмов рейок встановлюються на основі масових спостережень за їх роботою в різних умовах експлуатації. Нами був проведений статистичний експеримент, для якого на залізницях вибрані дослідні ділянки по головних напрямках, що групувались по визна-

ченими характеристикам. А саме окремо розглядалися ділянки різні по конструкції (ланкова та безстикова колія) і по якості рейкової сталі (рейки типу Р65 із термозміцненням і без нього). Загальні показники проведеного експерименту наступні:

- обсяг експерименту – загальна довжина дослідних ділянок $L = 1649,5$ км;
- кількість ділянок – 42 ділянки;
- мінімальна довжина ділянки – 20 км, визначена на основі [6], вплив коротких ділянок знижується коефіцієнтом K_e запропонованим [5].
- термін проведення експерименту - протягом 5 років;
- загальна кількість відмов рейок на дослідних ділянках – 1693 шт.

Основні характеристики дослідних ділянок приведені в табл. 1.

По вибраними дослідним ділянкам зібрано статистику відмов рейок. Її можна поділити на три групи, в залежності від фізики виникнення кожного дефекту: контактно-втомлені, поступові і інші дефекти. Група контактно-втомлених дефектів складає 78 % усіх відмов, при цьому в статистичну базу взято дефекти таких рисунків: 11, 21, 24, 30Г [7]. Для кожної рейки, знятої з колії, фіксувались наступні параметри: місце розташування, причини зняття з колії (вид дефекту), завод виготовлення і рік прокату, рік вкладання в колію, пропущений тоннаж, вертикальний та боковий знос, профіль та план лінії, вантажонапруженість, тип рейки, конструкція колії, термічна обробка, та ін.

Основні характеристики дослідних ділянок колії

Пор. № дослідної ділянки	Конструкція верхньої будови колії	Довжина ділянки км	Середнє навантаження на ось т / вісь	Вантажонапруженість ділянки млн т км бруто / км в рік
1	Безстикова	59	20,2	25
2	Безстикова	33	20,6	36
3	Безстикова	37	19,7	49
4	Безстикова	25	19,1	24
5	Безстикова	85,5	18,9	33
6	Безстикова	115	19,4	27,5
7	Безстикова	62	19,2	27
8	Безстикова	82	15,8	17,5
9	Безстикова	72	16,4	10
10	Безстикова	59	11	24
11	Безстикова	33	11,9	23
12	Безстикова	23,5	12,8	38
13	Безстикова	27	10,6	15
14	Безстикова	88	12,8	27
15	Безстикова	24	12	21
16	Безстикова	153	11,9	20
17	Безстикова	82	15,2	19,3
18	Безстикова	4	20,1	59
19	Безстикова	43	19	55
20	Безстикова	23	18	70
21	Безстикова	31	18,4	69
22	Безстикова	22,5	18,4	74
23	Безстикова	20	19	66
24	Безстикова	68	20,5	63,3
25	Безстикова	7	13,1	29,5
26	Безстикова	44	14,2	32
27	Безстикова	23	13,9	54,7
28	Безстикова	31	12,9	46
29	Безстикова	28	14,8	38,5
30	Безстикова	19	13	38,5
31	Безстикова	23	12,6	31,2
32	Ланкова	15	16,4	10,2
33	Ланкова	15	18,9	33
34	Ланкова	20	19,1	24,3
35	Ланкова	12	19,7	49
36	Ланкова	25,5	12,8	38
37	Ланкова	11	20,1	59,28
38	Ланкова	8,5	18,4	75
39	Ланкова	17	19	66
40	Ланкова	8	20	63
41	Ланкова	18	13	39
42	Ланкова	53	12,6	31

Для кожного елемента дослідної ділянки сформована інформація в електронному виді по наступних характеристиках:

- вантажонапруженість, що визначена за звітами служби колії;
- середнє осьове навантаження, що визначене за формою ЦО-4;
- характеристики плану та профілю, за детальним повздовжнім профілем;
- пропущений тоннаж після останньої модернізації, визначається з рейко-шпалобаластних карт, а також строк останньої модернізації;
- швидкість руху і режим ведення поїздів, визначені тяговими розрахунками.

Методика і результати розрахунку

Знаходження інтегральних кривих поодинокого виходу рейок проводиться для дефектів контактнo-втомленого походження. Насамперед раніше було проаналізовано, за допомогою однофакторного та двофакторного дисперсійного аналізу, вплив таких експлуатаційних факторів на вихід рейок, як пропущений тоннаж, вантажонапруженість, план лінії, осьове навантаження, швидкість руху поїздів, режим ведення. Треба відзначити, що вплив даних факторів є суттєвим, хоча найбільш впливовим фактором виявився пропущений тоннаж. В даній статті приводяться результати для деяких факторів, які включено в інтегральні криві поодинокого виходу рейок.

Інтенсивність потоку відмов рейок λ_{ijkn} , шт/км млнт (за контактнo-втомленими дефектами) визначається по формулі

$$\lambda_{ijkn} = \frac{N_{ijkn}}{L_{ijkn} \cdot \Delta T_k} \quad (1)$$

де N_{ijkn} – кількість рейок, що замінені на дослідній ділянці, шт; L_{ijkn} – довжина дослідної ділянки, км; ΔT_k – пропущений тоннаж за період спостережень, млн т.

Для того щоб отримати фактичні значення інтенсивності потоку відмов створено чотирьохвимірні масиви. Кожне значення масиву N_{ijkn} визначено в результаті сортування масиву даних рейок, що відмовили. Значення масиву L_{ijkn} отримані в результаті аналізу кожної ланки на дослідних ділянках. Границі комірок встановлені рівнями кожного фактора. Аналізуючи середнє осьове навантаження від рухомого складу на передбачених для дослідження діля-

нках було прийняте рішення виділити наступні рівні осьового навантаження P_i :

$$\begin{aligned} P_1 &< 13,5 \text{ м} \\ 13,5 \text{ м} &\leq P_2 \leq 18,5 \text{ м} \\ P_3 &> 18,5 \text{ м} \end{aligned}$$

Вплив кривизни колії починає відзначатись на вихід елементів верхньої будови колії при $R < 1000$ м. Але за останніми дослідженнями в кривих радіусом від 1000 м до 2000 м спостерігаються залишкові деформації в порівнянні з прямою. Тому для оцінки впливу плану лінії на вихід рейок ділянки підрозділяємо на чотири рівні з радіусами R_j .

$$\begin{aligned} R_1 &< 650 \text{ м} \\ 650 \text{ м} &\leq R_2 \leq 1000 \text{ м} \\ 1000 \text{ м} &< R_3 \leq 2000 \text{ м} \\ R_4 &> 2000 \text{ м і пряма} \end{aligned}$$

Аналізуючи середнє значення максимального пропущеного тоннажу, тобто пропущеного тоннажу перед заміною елементів верхньої будови колії прийнято рішення для рейок призначити наступні рівні.

$$\begin{aligned} T_1 &< 400 \text{ млн т} \\ 400 \text{ млн т} &\leq T_2 \leq 550 \text{ млн т} \\ T_3 &> 550 \text{ млн т} \end{aligned}$$

Вантажонапруженість розподіляємо на три рівні

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &< 40 \text{ млн ткм брутто/км в рік} \\ 40 \leq \Gamma_2 &\leq 60 \text{ млн ткм брутто/км в рік} \\ \Gamma_3 &> 60 \text{ млн ткм брутто/км в рік} \end{aligned}$$

Підрахування інтенсивності потоку відмов рейок здійснювалось з допомогою математичної системи матричного моделювання MATLAB 6.5, в якій було розроблено самостійну програму з графічним інтерфейсом. Дана програма забезпечує формування масивів даних, ввід границь досліджуваних факторів, статистичну обробку даних і вивід результатів поодинокого виходу рейок на кожній дослідній ділянці.

Розрахункові значення інтенсивності потоку відмов рейок приведені для середніх значень експлуатаційних умов, які отриманні шляхом усереднення даних, що попадають у відповідну комірку інтенсивності. На основі цих даних будуються апроксимуючі криві для близьких

експлуатаційних умов. Апроксимація даних здійснюється степеневою функцією виду

$$\lambda = A_i T^{B_i} \text{ або } \lambda = A_i R^{B_i} \quad (2)$$

де A, B – коефіцієнти апроксимації для розрахункових (фактичних) значень інтенсивності потоку відмов; T – пропущений тоннаж; R – радіус кривої.

Результати розрахунків приведені у вигляді графіків на рис. 1–5. Точність апроксимації визначається квадратом змішаної кореляції R -квадрат. В табл. 2, приведені коефіцієнти апроксимації A, B і значення R -квадрат. Ці дані точно описуються степеневою залежністю, про що свідчить дуже близьке до одиниці значення R -квадрат.

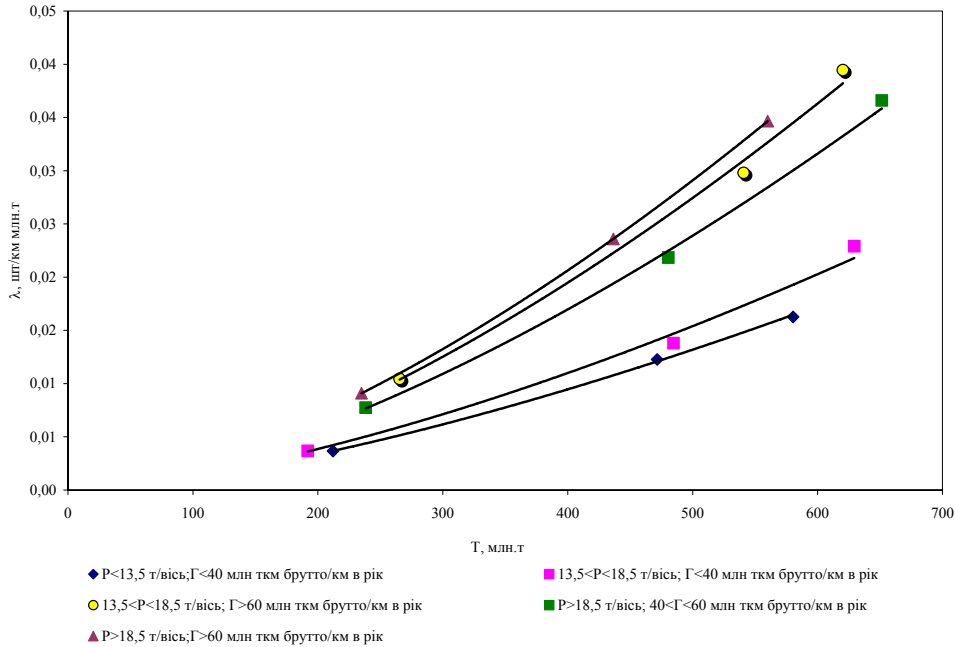


Рис. 1. Експериментальні дані і криві апроксимації одиночного виходу рейок в прямих ділянках безстикової колії в залежності від пропущеного тоннажу для різних експлуатаційних умов

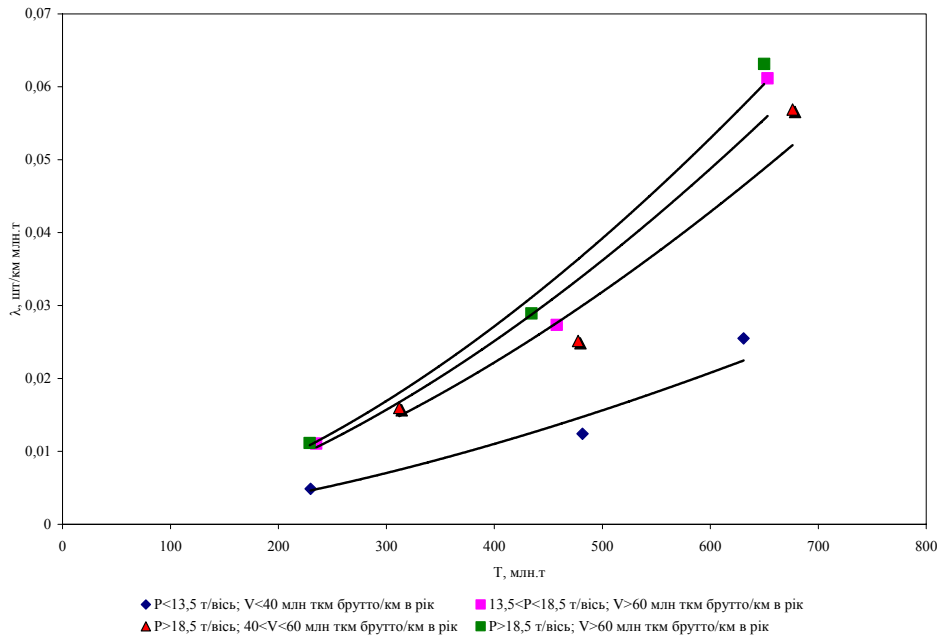


Рис. 2. Експериментальні дані і криві апроксимації одиночного виходу рейок в прямих ділянках ланкової колії в залежності від пропущеного тоннажу для різних експлуатаційних умов

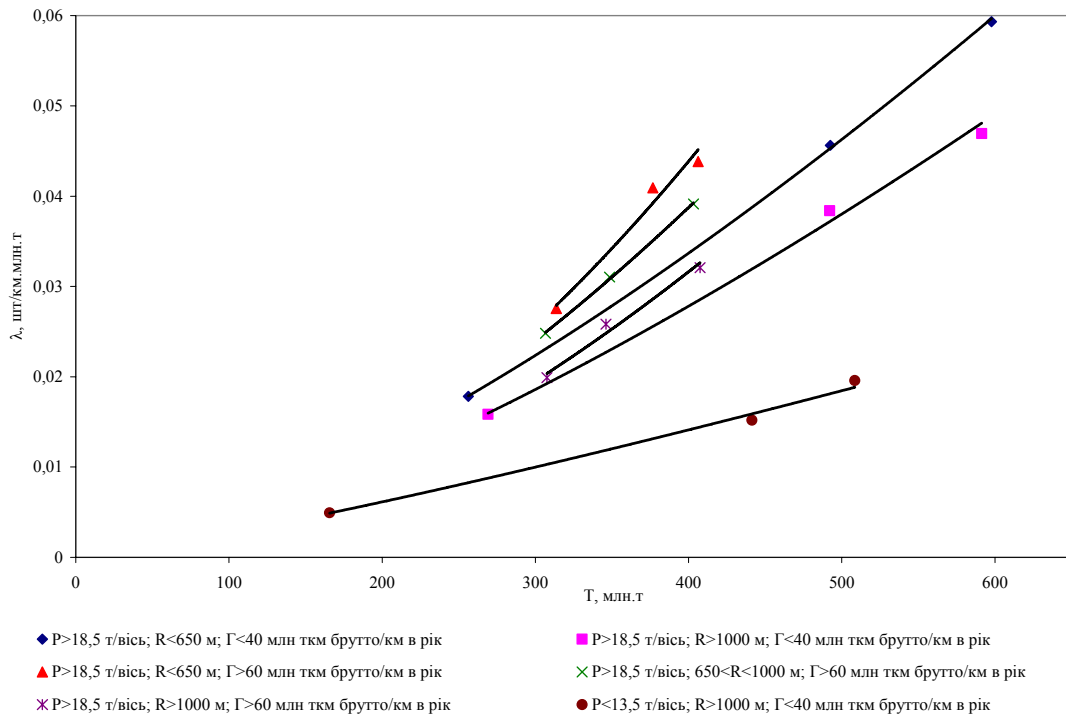


Рис. 3. Експериментальні дані і криві апроксимації одиночного виходу рейок в кривих ділянках безстикової колії в залежності від пропущеного тоннажу для різних експлуатаційних умов

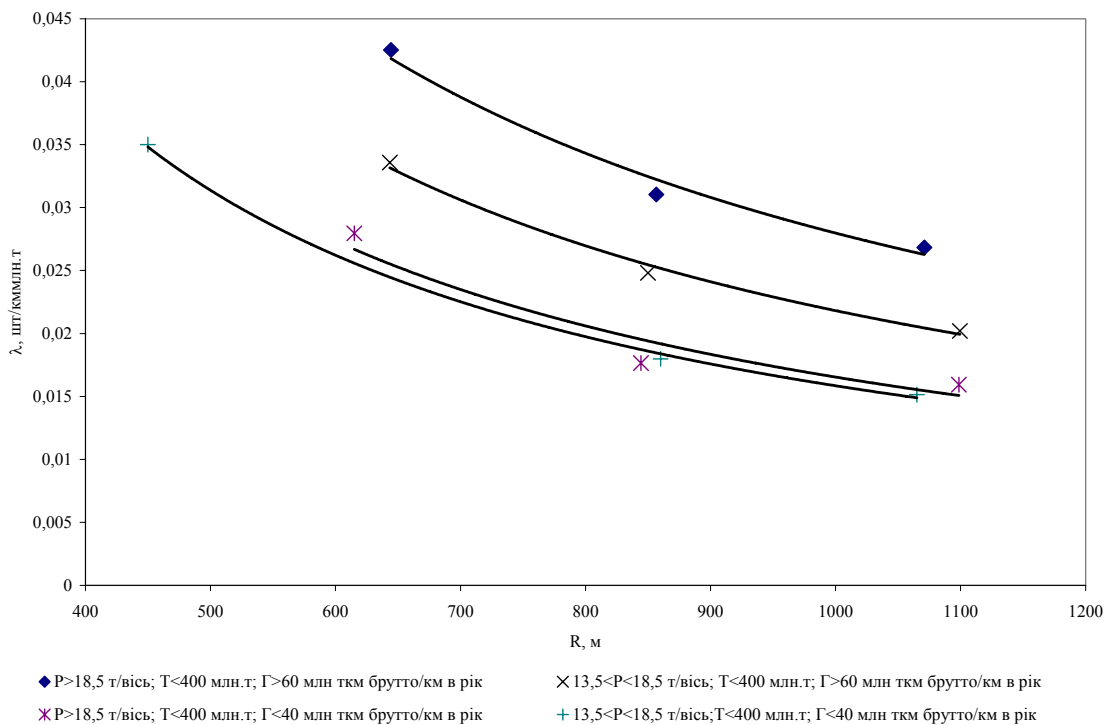


Рис. 4. Експериментальні дані і криві апроксимації одиночного виходу рейок в кривих ділянках безстикової колії в залежності від радіусу для різних експлуатаційних умов

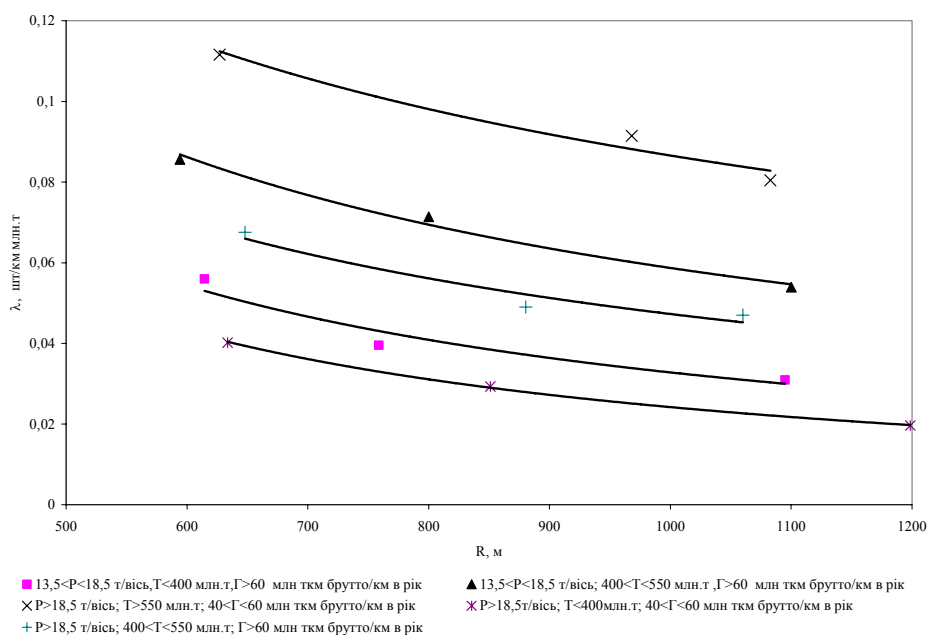


Рис. 5. Експериментальні дані і криві апроксимації одиночного виходу рейок в кривих ділянках ланкової колії в залежності від радіусу для різних експлуатаційних умов

Таблиця 2

Коефіцієнти апроксимації для розрахункових (фактичних) значень інтенсивності потоку відмов при середніх експлуатаційних характеристиках

Характеристики ділянки	Середні експлуатаційні характеристики	Коефіцієнти апроксимації		R-квадрат
		A	B	
1	2	3	4	5
Безстикова конструкція колії, прямі ділянки	$P > 18,5$ т/вісь $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	$2,025 \cdot 10^{-6}$	1,5404	1
	$13,5 \leq P \leq 18,5$ т/вісь $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	$1,097 \cdot 10^{-6}$	1,5353	0,9975
	$P > 18,5$ т/вісь $40 \leq \Gamma \leq 60$ млн ткм бруто / км в рік	$1,735 \cdot 10^{-6}$	1,5335	0,9989
	$13,5 \leq P \leq 18,5$ т/вісь $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік	$1,297 \cdot 10^{-6}$	1,5096	0,9963
	$P < 13,5$ т/вісь $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік	$1,275 \cdot 10^{-6}$	1,4874	0,9997
	Ланкова конструкція колії, прямі ділянки	$P > 18,5$ т/вісь $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	$1,41 \cdot 10^{-6}$	1,6366
$13,5 \leq P \leq 18,5$ т/вісь $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік		$1,405 \cdot 10^{-6}$	1,6343	0,9806
$P > 18,5$ т/вісь $40 \leq \Gamma \leq 60$ млн ткм бруто / км в рік		$1,334 \cdot 10^{-6}$	1,6221	0,9522
$P < 13,5$ т/вісь $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік		$0,943 \cdot 10^{-6}$	1,5632	0,9655
Безстикова конструкція колії, криві ділянки		$P > 18,5$ т/вісь, $R < 650$ м $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	$0,6 \cdot 10^{-6}$	1,8588
	$P > 18,5$ т/вісь, $650 \leq R \leq 1000$ м $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	$1,9 \cdot 10^{-6}$	1,6606	0,9992
	$P > 18,5$ т/вісь, $R > 1000$ м $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	$1,39 \cdot 10^{-6}$	1,6743	0,9791
	$P > 18,5$ т/вісь, $R < 650$ м $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік	$6,7 \cdot 10^{-6}$	1,4231	0,9999
	$P > 18,5$ т/вісь, $R > 1000$ м $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік	$6,3 \cdot 10^{-6}$	1,4001	0,9975
	$P < 13,5$ т/вісь, $R > 1000$ м $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік	$1,063 \cdot 10^{-5}$	1,2003	0,9968

1	2	3	4	5
Безстикова кон- струкція колії, криві ділянки	$P > 18,5$ т/вісь, $T < 400$ млн т $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	15,626	-0,9157	0,98
	$13,5 \leq P \leq 18,5$ т/вісь, $T < 400$ млн т $\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік	15,417	-0,9497	0,9926
	$P > 18,5$ т/вісь, $T < 400$ млн т $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік	14,844	-0,9843	0,9134
	$13,5 \leq P \leq 18,5$ т/вісь, $T < 400$ млн т $\Gamma < 40$ млн ткм бруто / км в рік	14,331	-0,9854	0,998
	$P > 18,5$ т/вісь, $T > 550$ млн т $40 \leq \Gamma \leq 60$ млн ткм бруто / км в рік	4,124	-0,5593	0,9589
Ланкова конструкція колії, криві ділянки	$13,5 \leq P \leq 18,5$ т/вісь, $400 \leq T \leq 550$ млн т	10,603	-0,7523	0,9893
	$\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік $P > 18,5$ т/вісь, $400 \leq T \leq 550$ млн т	9,5081	-0,7678	0,9259
	$\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік $13,5 \leq P \leq 18,5$ т/вісь, $T < 400$ млн т	29,862	-0,9864	0,9372
	$\Gamma > 60$ млн ткм бруто / км в рік $P > 18,5$ т/вісь, $T < 400$ млн т	56,472	-1,1227	0,9994
	$40 \leq \Gamma \leq 60$ млн ткм бруто / км в рік			

На основі отриманих експериментальних даних виходу рейок в колії можна отримати загальні рівняння інтенсивності потоку відмов рейок. Ці рівняння визначаються окремо:

1. Для прямих ділянок колії. Розглядається два варіанти функціональної залежності:

а. лінійна залежність

$$\lambda^1 = a_0 + a_1 \cdot P + a_2 \cdot T + a_3 \cdot \Gamma, \quad (3)$$

де λ – очікуваний вихід рейок, шт/км млн т; P – осьові навантаження, т/вісь; Γ – вантажонапруженість, млн т км бруто/км за рік; T – пропущений тоннаж, млн т; a_0, a_1, a_2, a_3 – постійні коефіцієнти; степеневая залежність

$$\lambda^{\text{ст}} = (a_0 + a_1 \cdot P + a_2 \cdot \Gamma) T^{(b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot \Gamma)} \quad (4)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – постійні коефіцієнти.

За результатами розрахунків встановлено, що сума квадратів різниць між вихідними даними і обчисленими за вище приведеними рівняннями, отриманими апроксимацією, для степеневі залежності менше, ніж для прямої. Тому в подальших розрахунках прийнято степеневу залежність.

2. Для кривих ділянок колії приймається тільки степеневая залежність, але розглядаються два варіанти степеневі функції:

– в першому варіанті пропущений тоннаж виступає в ролі степеневі функції:

$$\lambda_{\text{кр}}^T = (a_0 + a_1 \cdot P + a_2 \cdot \Gamma + a_3 \cdot R) \times T^{(b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot \Gamma + b_3 \cdot R)}; \quad (5)$$

– в другому варіанті в ролі степеневі функції виступає радіус кривих:

$$\lambda_{\text{кр}}^R = \frac{(a_0 + a_1 \cdot P + a_2 \cdot \Gamma + a_3 \cdot T)}{R^{(b_0 + b_1 \cdot P + b_2 \cdot \Gamma + b_3 \cdot R)}}. \quad (6)$$

Для визначення невідомих постійних коефіцієнтів в запропонованих вище математичних моделях використовується метод найменших квадратів. Формуються блоки лінійних рівнянь для кожної запропонованої моделі відмов рейок.

Для прямих (степеневі залежності) система рівнянь наступна:

$$\begin{cases} a_0 + a_1 \cdot \bar{P}_1 + a_2 \cdot \bar{\Gamma}_1 = A_1 \\ a_0 + a_1 \cdot \bar{P}_2 + a_2 \cdot \bar{\Gamma}_2 = A_2 \\ a_0 + a_1 \cdot \bar{P}_3 + a_2 \cdot \bar{\Gamma}_3 = A_3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_1 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_1 = B_1 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_2 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_2 = B_2 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_3 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_3 = B_3 \end{cases}$$

Для кривих (степеневі залежності по тоннажу) система рівнянь наступна:

$$\begin{cases} a_0 + a_1 \cdot \bar{P}_1 + a_2 \cdot \bar{\Gamma}_1 + a_3 \cdot \bar{R}_1 = A_1 \\ a_0 + a_1 \cdot \bar{P}_2 + a_2 \cdot \bar{\Gamma}_2 + a_3 \cdot \bar{R}_2 = A_2 \\ a_0 + a_1 \cdot \bar{P}_3 + a_2 \cdot \bar{\Gamma}_3 + a_3 \cdot \bar{R}_3 = A_3 \\ a_0 + a_1 \cdot \bar{P}_4 + a_2 \cdot \bar{\Gamma}_4 + a_3 \cdot \bar{R}_4 = A_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_1 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_1 + b_3 \bar{R}_1 = B_1 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_2 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_2 + b_3 \bar{R}_2 = B_2 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_3 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_3 + b_3 \bar{R}_3 = B_3 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_4 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_4 + b_3 \bar{R}_4 = B_4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_1 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_1 + b_3 \cdot \bar{T}_1 = B_1 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_2 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_2 + b_3 \cdot \bar{T}_2 = B_2 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_3 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_3 + b_3 \cdot \bar{T}_3 = B_3 \\ b_0 + b_1 \cdot \bar{P}_4 + b_2 \cdot \bar{\Gamma}_4 + b_3 \cdot \bar{T}_4 = B_4 \end{cases}$$

Для кривих (степеневі залежності по радіусу) система рівнянь наступна:

$$\begin{cases} a_0 + a_1 \cdot P_1 + a_2 \cdot \Gamma_1 + a_3 \cdot T_1 = A_1 \\ a_0 + a_1 \cdot P_2 + a_2 \cdot \Gamma_2 + a_3 \cdot T_2 = A_2 \\ a_0 + a_1 \cdot P_3 + a_2 \cdot \Gamma_3 + a_3 \cdot T_3 = A_3 \\ a_0 + a_1 \cdot P_4 + a_2 \cdot \Gamma_4 + a_3 \cdot T_4 = A_4 \end{cases}$$

Постійні коефіцієнти $a_0, a_1, a_2, a_3, b_0, b_1, b_2, b_3$ обчислені в програмі MAPLE 9. Результати розрахунку для прямих і кривих ділянок колії в залежності від конструкції приведені в табл. 3. Дані результати основані на дефектах контактно-втомленого походження для рейок Р65 термозміцнених.

Таблиця 3

Коефіцієнти апроксимації загальних рівнянь інтенсивності потоку відмов рейок

Коефіцієнти апроксимації	Прямі ділянки		Криві ділянки			
	Ланкова колія	Безстикова колія	Ланкова колія		Безстикова колія	
	Степенева залежність		Степенева залежність (R)	Степенева залежність (T)	Степенева залежність (R)	Степенева залежність (T)
a_0	$0,1959 \cdot 10^{-5}$	$0,1045 \cdot 10^{-6}$	13,555	$0,1182 \cdot 10^{-4}$	11,4938	$0,988 \cdot 10^{-5}$
a_1	$0,579 \cdot 10^{-7}$	$0,572 \cdot 10^{-7}$	0,1201	$0,581 \cdot 10^{-7}$	0,1128	$0,578 \cdot 10^{-7}$
a_2	—	—	0,02011	$0,5501 \cdot 10^{-7}$	0,0195809	$0,538 \cdot 10^{-7}$
a_3	$0,545 \cdot 10^{-8}$	$0,535 \cdot 10^{-8}$	0,00162	$-0,491 \cdot 10^{-8}$	0,0015847	$-0,489 \cdot 10^{-8}$
b_0	1,203	1,191	1,3015	1,21154	1,2935	1,20223
b_1	$0,682 \cdot 10^{-2}$	$0,678 \cdot 10^{-2}$	-0,00921	$0,697 \cdot 10^{-2}$	-0,0082232	$0,685 \cdot 10^{-2}$
b_2	$0,545 \cdot 10^{-3}$	$0,530 \cdot 10^{-3}$	-0,000856	$0,553 \cdot 10^{-3}$	-0,000825	$0,536 \cdot 10^{-3}$
b_3	—	—	-0,0005148	$-0,562 \cdot 10^{-5}$	-0,0004387	$-0,556 \cdot 10^{-5}$

Інтеграл залежностей по пропущеному тоннажу дає сумарний поодинокий вихід рейок за період експлуатації в залежності від вантажонапруженості ділянки, плану лінії та осьового навантаження. В статті приведено на рис. 6, 7 приклади

таких залежностей для кривої $R = 600$ м і $\Gamma = 35$ млн ткм. бруто / км в рік на ділянці безстикової колії та прямої ділянки при цих же умовах.

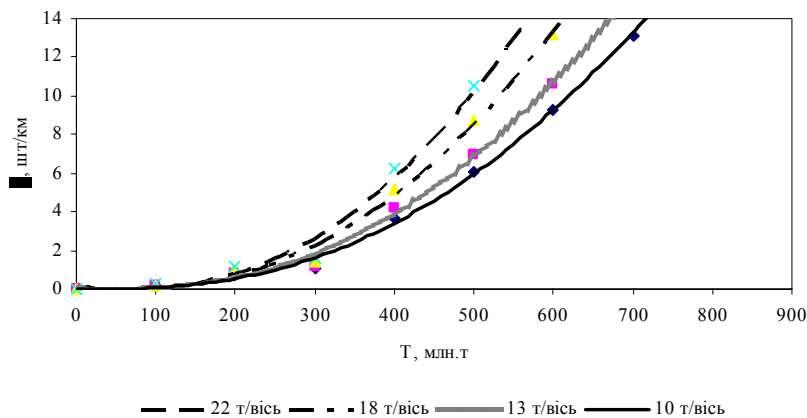


Рис. 6. Сумарний вихід рейок в кривій $R = 600$ м безстикової колії в залежності від пропущеного тоннажу для різних осьових навантажень

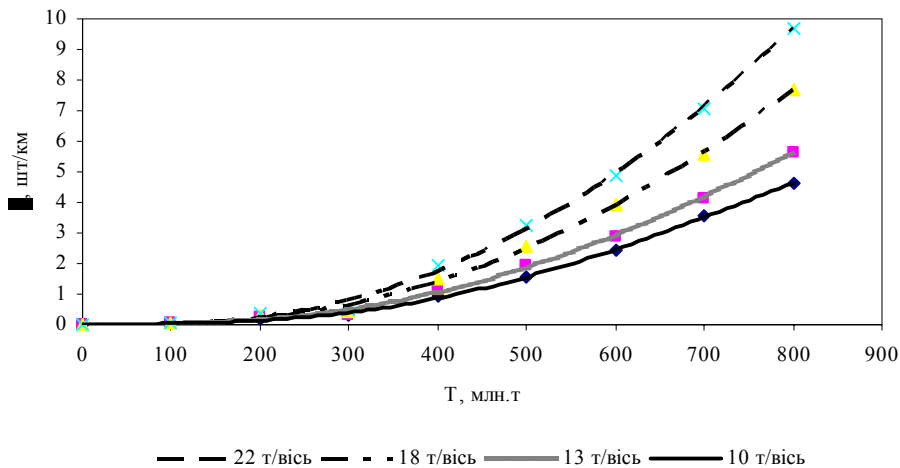


Рис. 7. Сумарний вихід рейок в прямих ділянках безстикової колії в залежності від пропущеного тоннажу для різних осевих навантажень

Висновки

В результаті апроксимації експериментальних даних отримано аналітичні рівняння поодинокого виходу рейок в залежності від пропущеного тоннажу, вантажонапруженості, плану лінії, осевого навантаження. Результати дослідження можуть бути використані при розв'язку багатьох задач колійного господарства, такі як планування періодичності ремонтів; раціональність використання рейкового ресурсу в залежності від взаємозв'язку таких, наприклад, експлуатаційних факторів як швидкість і осеве навантаження; економічні задачі при встановленні допустимих величин інтенсивності відмов та ін.

В подальшому намічено врахувати вплив додаткових факторів, таких як швидкість руху поїздів на ділянці і режими їх ведення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Карпущенко Н. И. Планирование ремонтов железнодорожного пути по состоянию. // Г. К. Щепотин Повышение надежности и эффективности железнодорожного пути. / Под ред. Н. И. Карпущенко. Межв. сб. науч. тр. - Новосибирск, 1991, - 122 с.
2. Лысюк В. С. Основы методики расчета отказов и межремонтного ресурса железнодорожного

пути по повреждениям рельсов // ВНИИЖТ. - М., 1983. - 57 с. Деп. ЦНИИТЭИ МПС 25.02.83, № 2120 жд-Д83 // Анот. в ж. Железнодорожный транспорт, № 6, 1983.

3. Певзнер В. О. Совершенствовать планирование путевых работ. // Путь и путевое хозяйство, 1993, № 9, - С. 10-12.
4. Абдурашитов А. Ю. Закономерности образования контактно-усталостных дефектов. // Путь и путевое хозяйство, 2002, № 11, - С. 16-20.
5. Рыбкин В. В. Математическая модель отказов рельсов по усталостным дефектам // А. М Патласов. Вопросы взаимодействия пути и подвижного состава. Труды ДИИТ. - Д., 1990. - С. 52-58.
6. Тарнопольский Г. И. Влияние объема и длительности эксплуатационных испытаний на точность оценки железнодорожных рельсов // В. Н. Шкляр. Железнодорожный путь на грузонапряженных участках. Труды НИИЖТ, Вып. 173. - Новосибирск, 1976, - С. 47-51.
7. Рибкин В. В. Визначення законів розподілу інтенсивностей відмов рейок // О. М. Баль. Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, прочность и безопасность движения подвижного состава. XI Международная конференция. Тезисы докладов. - Д.: Изд-во ПКС, 2004, - С. 200.

Надійшла до редколегії 19.06.2007.