

УДК 625.03

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.136.2013.108200>

Канд. техн. наук А.М. Штомпель

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОМІЖНОГО ПРУЖНОГО СКРІПЛЕННЯ

Представив д-р техн. наук, професор А.А. Плугін

Постановка проблеми в загальному вигляді. Безстикова колія на залізобетонних шпалах (БК) температурно-напруженого типу є основною конструкцією верхньої будови на залізницях України. На сьогодні її протяжність складає понад 70 % розгорнутої довжини головних колій [1].

Рейко-шпальна решітка (РШР) існуючої конструкції БК, що експлуатується на мережі залізниць, змонтована в основному з проміжним скріпленням типу КБ. Сучасна конструкція проміжного скріплення (безболтове з пружними клемами) застосована поки що на 3,3 тис. км, тобто на 11 % розгорнутої довжини головних колій [1].

Масове укладання в колію залізобетонних шпал з проміжним скріпленням типу КБ розпочалося у 60-х роках минулого сторіччя й триває нині. Практичний досвід експлуатації цієї

конструкції проміжного скріплення підтвердив її відносно високу надійність і в той же час виявив такі її недоліки, як багатоелементність, значна металоємність, необхідність виконання робіт з періодичного (1-2 рази протягом року) змащування-підтягування клемних і закладних болтів. Саме це обумовлює підвищену капіталомісткість вузла проміжного скріплення типу КБ та додаткові експлуатаційні витрати на його поточне утримання.

Безболтове проміжне скріплення з пружними клемами (у тому числі й скріплення типу КПП, яке впроваджується на залізницях) вільне від перелічених вище недоліків. Тому технічна політика з удосконалення конструкції РШР передбачає розширення полігону укладання та експлуатації саме такої конструкції проміжного скріплення.

У табл. 1 надано основні показники типу КПП.
проміжного скріплення типу КБ та

Таблиця 1

Показник	Тип скріплення	
	КБ-65	КПП-5
Кількість елементів, шт./вузол	21	7
Маса металевих елементів, кг/вузол	11	4,7
Регулювання рейки у вертикальній площині, мм	14	-

Видно, що проміжне скріплення типу КПП містить утричі меншу кількість елементів у вузлі та має приблизно на 60 % меншу металоемкість і, як наслідок, «виграє» за капіталомісткістю.

Окрім того, відсутність у конструкції скріплення типу КПП болтових з'єднань зменшує витрати, пов'язані з монтажем РШР та її подальшою експлуатацією в колії. У роботі [2] визначено, що «застосування... скріплень... типу КПП порівняно зі... скріпленням типу КБ зменшує витрати на збирання рейко-шпальної решітки приблизно на 48 %..., експлуатація верхньої будови колії з пружними скріпленнями типу КПП потребує менших витрат на утримання... приблизно на 25 %».

Стратегія розвитку колійного господарства до 2015 року передбачає довести міжремонтний строк служби конструкції колії до 1500 млн т бруто [3] і впровадження проміжних скріплень з таким самим технічним ресурсом.

Тому потрібна оцінка працездатності (довговічності) скріплення типу КПП при напрацюванні тоннажу.

Як свідчить практичний досвід, «життєвий» строк РШР напряму залежить від терміну служби вузлів проміжного скріплення. У зв'язку з цим питання щодо оцінки працездатності проміжного скріплення (у цілому вузла й окремих його елементів) набуває певної актуальності в рамках системи технічного обслуговування конструкції ЗК.

Основні дослідження з даної проблеми. Скріплення типу КПП є аналогом проміжного скріплення типу СБ-3, яке експлуатується на залізницях Польщі та Білорусі. Конструкція вузла скріплення типу СБ-3 (як й скріплення типу КПП) складається з двох анкерів, які замонолічуються у шпалу, двох пружних клем, полімерної прокладки, яка укладається на шпалу під підшову рейки, і двох електроізолюючих вкладишів, що встановлюються між пружною клемою та підшовою рейки. Працездатність скріплення типу СБ-3 у свій час була експериментально перевірена [4]. Результати цих натурних випробувань використовуються в даному дослідженні.

Мета даної статті полягає у визначенні довговічності елементів проміжного пружного скріплення типу КПП.

Виклад основного матеріалу дослідження. Довговічність (технічний ресурс) будь-якого елемента РШР визначається обсягом напрацьованого тоннажу $T_{ел}$ до моменту виходу його (елемента) з ладу, тобто до появи відмови у його роботі. У загальному вигляді величина параметра $T_{ел}$ встановлюється через таку залежність:

$$T_{ел} = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad (1)$$

де $P(t) = P(T > t)$ – імовірність безвідмовної роботи i -го елемента вузла скріплення;

t – час, протягом якого визначається ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента вузла скріплення;

T – напрацьований тоннаж до моменту появи відмови в роботі i -го елемента вузла скріплення.

За наявності відповідних статистичних даних величина $P(t)$ для i -го елемента РШР визначається залежністю

$$P(t) = N(t) / N_{\text{заг}}, \quad (2)$$

де $N_{\text{заг}}$ – кількість елементів i -го виду при $T = 0$;

$N(t)$ – кількість елементів i -го виду, що знаходяться в експлуатації (без відмови у їх роботі) на момент часу t .

Вузол проміжного скріплення розглядається [5] як певна складна технічна система, елементи якої з'єднані послідовно. Імовірність безвідмовної роботи такої системи (у тому числі й конструкції

проміжного скріплення типу КПП) встановлюється за формулою

$$P_{\text{скр}} = P_{\text{анк}} \cdot P_{\text{кл}} \cdot P_{\text{прок}} \cdot P_{\text{вкл}}, \quad (3)$$

де $P_{\text{анк}}$, $P_{\text{кл}}$, $P_{\text{прок}}$, $P_{\text{вкл}}$ – імовірність безвідмовної роботи i -го елемента вузла скріплення (анкера, клеми, прокладки, вкладиша).

При виконанні експериментальних досліджень [4] у якості оціночного критерію працездатності проміжного скріплення розглядався поодинокий вихід його елементів за дефектами. Встановлювалася емпірична залежність параметра x , що досліджувався, від напрацьованого тоннажу T й на її основі оцінювалася працездатність i -го елемента проміжного скріплення.

У табл. 2 наведено основні результати дослідження.

Таблиця 2

Показник (параметр x)	Значення показника для i -го елемента			
	пружні клеми	полімерні прокладки	ізолюючі вкладиші	шпали (анкери)
Поодинокий вихід елемента з ладу, % загальної кількості елементів, укладених при $T=0$	0,97 / 1,24	33,6 / 74,4	10,9 / 35,9	5,30
Тоннаж безвідмовної роботи, елемента ($T_{\text{ел}}$), млн т брутто	713	25	1	1160
Середній питомий вихід елемента, %/100 млн т брутто	0,12 / 0,11	4,2 / 6,6	1,4 / 3,2	0,24
Середня питома інтенсивність виходу елемента, %/100 млн т брутто	0,61 / 0,19	4,3 / 6,8	1,4 / 3,2	0,40

Примітка: Чисельник – при $T = 800$ млн т брутто; знаменник – при $T = 1126$ млн т брутто; у колонці «шпали» величини показників визначено при $T = 2184$ млн т брутто; параметр $T_{\text{ел}}$ визначався при максимальному значенні $P(t)=1$.

Відповідна обробка наведених даних дозволила встановити математичні моделі, що характеризують вихід у дефектні (тобто

появу відмови в роботі) елементів пружного скріплення типу КПП (як аналога скріплення типу СБ-3) у процесі експлуа-

тації конструкції БК (див. табл. 3). При цьому у якості апроксимуючої функції застосовувалася лінійна залежність зміни

параметра x від обсягу напрацьованого тоннажу.

Таблиця 3

Вихід у дефектні, % загальної кількості укладених (при $T=0$)	Функціональна залежність $x = f(T)$ та область її застосування
анкери (шпали)	$x_{\text{анк}} = 0,0024 T$ (4) / $T < 2200$ млн т брутто/
пружні клеми	$x_{\text{кл}} = 0,0011 T$ (5) / $T < 1200$ млн т брутто/
ізолюючі вкладиші	$x_{\text{вкл}} = 0,0136 T$ (6) / $T < 800$ млн т брутто/ $x_{\text{вкл}} = 10,9 + 0,0767 (T-800)$ (7) / $T = 800-1200$ млн т брутто /
полімерні прокладки	$x_{\text{прок}} = 0,042 T$ (8) / $T < 800$ млн т брутто/ $x_{\text{прок}} = 33,6 + 0,1252 (T-800)$ (9) / $T=800-1200$ млн т брутто/

На основі встановлених залежностей $x = f(T)$ можна прогнозувати обсяг потреби в нових елементах скріплення типу КПП (для заміни дефектних) під час експлуатації конструкції БК на певних ділянках.

Однією з характеристик довговічності елементів конструкції РПП є ймовірність їх відмови $F(t)$. Величина $F(t)$ для i -го елемента визначається формулою

$$F(t) = r(t) / N_{\text{заг}}, \quad (10)$$

де $r(t)$ – кількість відмов елементів i -го виду на момент часу t (тобто після напрацювання певного обсягу тоннажу T).

Використовуючи наведені вище залежності (див. табл. 3), у даному дослідженні встановлено значення показника $F(t)$ для окремих елементів і вузла в цілому скріплення типу КПП при напрацюванні певного тоннажу (див. табл. 4).

Таблиця 4

Напрацьований тоннаж, млн т брутто	Імовірність появи відмови у роботі $F(t)$				
	для елементів скріплення				для вузла в цілому
	анкери	клеми	вкладиші	прокладки	
200	0,48	0,22	2,72	8,4	0,115
400	0,96	0,44	5,44	16,8	0,224
600	1,44	0,66	8,16	25,2	0,327
800	1,92	0,88	10,90	33,6	0,425
1000	2,40	1,10	26,24	58,6	0,706
1200	2,88	1,32	41,58	83,7	0,909

Обробка даних табл. 4 дозволила отримати функціональні залежності виду

$F(t) = f(T)$ для вузла проміжного скріплення типу КПП:

$$F(t) = 0,00053 T \text{ (при } T < 800 \text{ млн т брутто);} \quad (11)$$

$$F(t) = 0,4248 + 0,0012 (T - 800) \text{ (при } T = 800 \div 1200 \text{ млн т брутто).} \quad (12)$$

Формули (11) – (12) можна застосувати й для зворотної дії: при заданому рівні показника $F(t)$ встановити прогнозну оцінку щодо довговічності (у напрацьованому тоннажі) вузлів проміжного скріплення типу КПП.

Висновки з даного дослідження і перспективи у даному напрямку:

– встановлено математичні моделі виходу в дефектні елементів проміжного

скріплення типу КПП при напрацюванні тоннажу;

– визначено функціональні залежності ймовірності появи відмови в роботі вузла скріплення типу КПП в процесі експлуатації;

– подальші дослідження стосуються оцінки довговічності конструкції рейко-шпальної решітки в цілому.

Список літератури

1. Алейник, В.С. Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів [Текст] / В.С. Алейник, В.В. Козак, М.Д. Костюк та ін. // Залізничний транспорт України. – 2010. – № 5. – С. 3-12.
2. Костюк М.Д. Верхній будові колії – сучасні конструкції та технології [Текст] / М.Д. Костюк, Е.І. Даніленко, С.Д. Тараненко, Я.І. Микитін // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 3. – С. 36-38.
3. Горьканова, Т.Н. Инновационные направления развития путевого хозяйства [Текст] / Т.Н. Горьканова // Путь и путевое хозяйство. – 2010. – № 10. – С. 6-7.
4. Шварц, Ю.Ф. Результаты испытаний польских конструкций пути на Экспериментальном кольце ВНИИЖТа [Текст] / Ю.Ф. Шварц, В.В. Серебренников, Н.В. Рессина // Железные дороги мира. – 1996. - № 7. – С. 43-49.
5. Железнодорожный путь [Текст] / Т.Г. Яковлева, Н.И. Карпущенко, С.И. Клинов и др.; под ред. Т.Г. Яковлевой. – М.: Транспорт, 1999. – 405 с.

Ключові слова: безстикова колія; рейко-шпальна решітка; проміжне скріплення; відмова в роботі; вихід елементів за дефектами; напрацьований тоннаж.

Анотації

Розглядаються питання, які стосуються довговічності елементів проміжного пружного скріплення в процесі експлуатації.

Рассматриваются вопросы, касающиеся долговечности элементов промежуточного упругого скрепления в процессе эксплуатации.

Addresses issues related to durability of the elastic elements of the intermediate bond in service.