

*д. т. н., проф. Рибкін В. В., ас. Лисак В. А., (ДНУЗТ), інж. О. Л. Бурдюжа
(Керченський стрілочний завод)*

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТІЛОЧНОГО ПЕРЕВОДУ ПРОЕКТУ КС1002.00.000. У БЕЗСТИКОВІЙ КОЛІЇ

На залізницях України безстикова колія є найбільш прогресивною і основною конструкцією колії. Переваги безстикової колії, а також широке використання на залізницях України в якості підрейкової основи залізобетонних шпал, роблять її основною конструкцією залізничної колії незалежно від розмірів вантажонапруженості [1]. Тому виникає необхідність дослідження роботи стрілочних переводів, що примикають до безстикової колії.

Відповідно до рекомендацій ОСЖД [3], при примиканні стрілочного переводу до безстикової колії необхідно влаштовувати захист у вигляді таких конструкцій:

- зрівнюючі ділянки;
- анкерні ділянки;
- зрівнювальні стики;

Відповідно до діючих норм Укрзалізниці [1], примикання ділянок безстикової колії необхідно здійснювати лише одним способом - через два зрівнювальні прольоти, довжиною 12,5 метрів.

Стрілочний перевід типу Р65 марки 1/11 проекту КС6511-03.00.000 на залізобетонних брусах розроблено ВАТ «Керченський стрілочний завод» для застосування на ділянках з безстиковою конструкцією колії. Особливістю даного переводу є те, що хрестовина має подовжений задній виліт. Він закінчується особливою конструкцією стика заднього вильоту хрестовини. З'єднання рейок з хрестовиною відбувається не торець у торець, як у звичайних стрілочних переводах, а під кутом $44^{\circ}48'$ (рис. 1). Через це виникає загроза зрізу болтів під дією температурних сил, при недотриманні існуючих інструкцій по утриманню зрівнюючих прольотів безстикової колії.

Ось чому метою роботи є визначення параметрів міцності хвостового скріплення хрестовини дослідного стрілочного переводу за умови забезпе-

чення безпеки руху поїздів під дією осьових температурних сил.

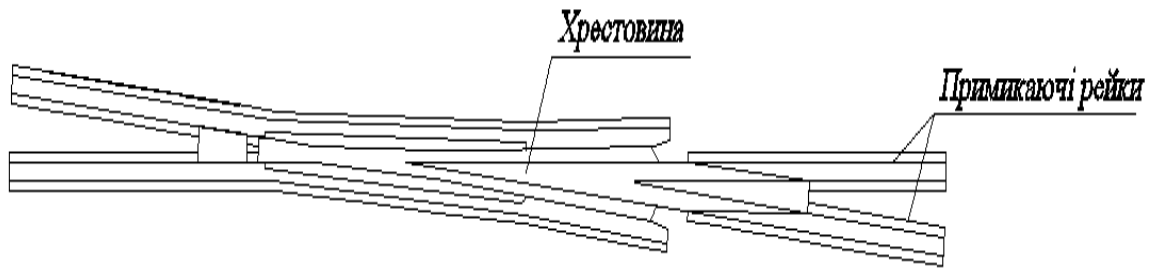


Рис. 1. Схема примикання рейок з литою частиною хрестовини

Примикання безстикової колії до стрілочного переводу може відбуватися по декільком схемам: примикання безстикової пліти з перегону, пліті, що розташована між хрестовиною одного стрілочного переводу та рамною рейкою іншого переводу, між хрестовинами стрілочних переводів. Розподіл температурних зусиль між стрілочними переводами був показаний у багатьох роботах. Так, приклад, на рис. 2 показаний розподіл температурних зусиль найнебезпечнішого варіанту розташування безстикової пліті.

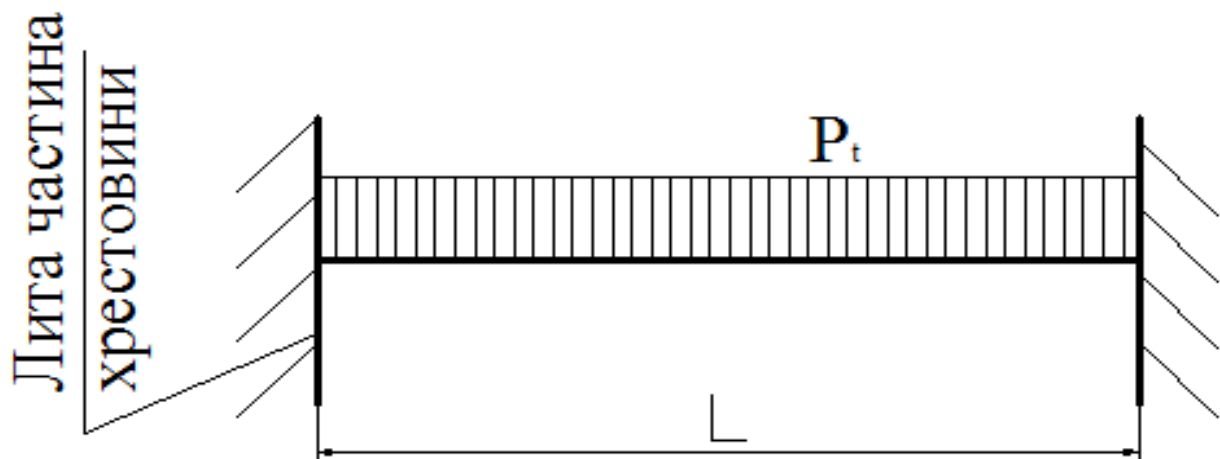


Рис. 2. Схема розподілу температурних зусиль між хрестовинами стрілочних переводів

Розрахунок хвостового з'єднання даної хрестовини зводиться до розра-

хунку стикових болтів на зріз. При чому, найбільш небезпечним є випадок вичерпання зазору між отворами та болтами.

Згідно з [1], рекомендований температурний інтервал закріплення безстикової колії на території України складає від 25°C до 35°C , а максимальна температура рейки досягає 61°C . Таким чином, при закріпленні колії у даному діапазоні, найбільшим підвищенням температури відносно температури закріплення складатиме 36°C . При укладанні безстикової колії не в рекомендованому температурному діапазоні це число може збільшуватися.

Поздовжній розподілений опір зсуву рейки по шпалі складає 25 кН/м , а максимально можливе підвищення температури від температури закріплення з умов стійкості досягає 56°C для рейок типу Р65 [1]. Провівши елементарні розрахунки, легко отримати максимальну довжину «дихаючих кінців», яка досягатиме 46 метрів. Оскільки, згідно до [1] мінімальна довжина пліті безстикової колії складає 100 метрів, то на стрілочні переводи буде діяти повна величина температурної сили, що не залежатиме від довжини пліті.

Основним принципом розрахунку є визначення коефіцієнта запасу міцності, який визначається як відношення утримуючих сил до зрізаючих [4].

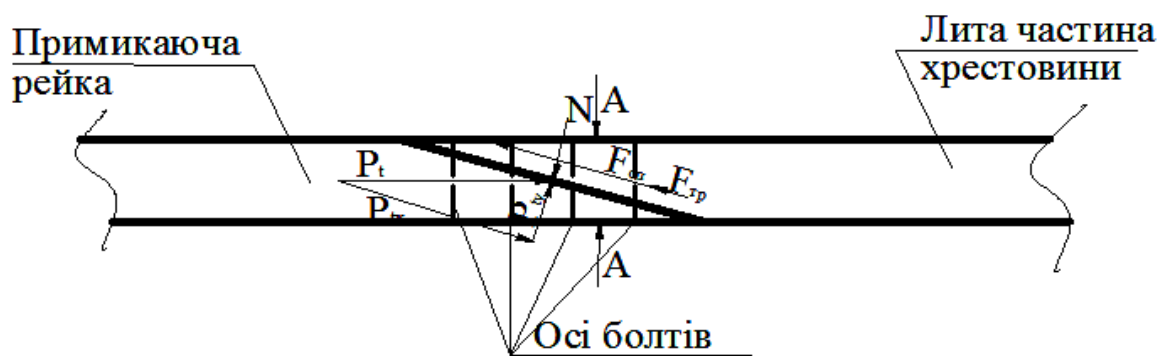


Рис. 3. Схема розподілу сил та реакцій, що діють на стик заднього вильоту даної хрестовини:

P_t – температурна сила в пліті; P_{tx} – проекція температурної сили на вісь X; P_{ty} – проекція температурної сили на вісь Y; N – нормальна реакція основи; $F_{тр}$ – сила тертя; $F_{оп}$ – сила опору зрізу болтів; A – сила притискування болтів; γ – кут стругання рейок в задньому стику хрестовини.

Як видно з рис. 3, утримуючими силами є сила опору болтів зрізу та сила тертя. Зрізаючою є проекція температурної сили на лінію з'єднання рейок (див. рис 3).

Температурна сила, що виникає у рейках, залежить від площі поперечного перерізу рейки, матеріалу рейки та зміни температури рейки відносно температури закріплення. Для розрахунку найбільш небезпечного випадку,

необхідно приймати значення площі поперечного перерізу рейки без зносу.

Відповідно вимогам [1], температурні зусилля в рейках визначаються за формулою

$$P_t = \alpha E F \Delta t, \quad (1)$$

де α – коефіцієнт температурного розширення сталі, що дорівнює $1,18 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$;

E – модуль пружності рейкової сталі, що дорівнює $2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

F – площа поперечного перерізу рейки;

Δt – різниця між температурою рейки, при якій визначають напруження, і температурою закріплення пліти на шпалах, $^\circ\text{C}$;

Так як рейки примикають до заднього стику хрестовини під кутом γ , то сила тертя буде визначатися за формулою

$$F_{mp} = N \mu, \quad (2)$$

де μ – коефіцієнт тертя рейкової сталі, що визначається згідно з [4] ($\mu=0,25$);

Сила реакції опори визначається з умови рівності нулю суми усіх проєкцій сил на вісь дії сили реакції опори. Тому вона буде складатися з проєкції температурної сили та сили притискування болтів

$$N = P_t \sin \gamma + A \cos \gamma, \quad (3)$$

Якщо при затягуванні болта гайкою знехтувати скручуванням, що допустимо при змазаній різьбі, то величину поздовжньої сили, що діє на болт можна визначити по формулі

$$A = \frac{2 \cdot \pi \cdot M}{h + \pi \cdot \mu \cdot (d + D)}, \quad (4)$$

де M – зовнішній крутячий момент, що прикладений до гайки, рівний, згідно до [1], $M=600 \text{ Нм}$;

h – крок нарізки різьби на болтах (для рейок типу Р65 $h=3,5 \text{ мм}$);

d – діаметр середнього круга тертя нарізки гайки по нарізці болта;

D – діаметр середнього круга тертя гайки по рейці;

Підставивши формулу (4) та (1) в (3), а результат в формулу (2) отрима-

ємо розрахункову формулу, за якою буде визначатися сила тертя

$$F_{mp} = \left(\alpha EF \Delta t \sin \gamma + \frac{2\pi M}{h + \pi \mu (d + D)} \cos \gamma \right) \mu, \quad (5)$$

Розрахункове зусилля, що може витримати болтове з'єднання розраховується за формулою [4]

$$F_{on} = R_{bs} \gamma_b A_b n_s n, \quad (6)$$

де R_{bs} – розрахунковий опір болтових з'єднань, що залежить від класу сталі болтів;

γ_b – коефіцієнт умов роботи;

A_b – розрахункова площа перерізу стержня болта;

n_s – кількість поверхонь зрізу;

n – кількість болтів;

Утримуюче від зрізу зусилля (див. рис.3) буде рівним алгебраїчній сумі сили тертя та сили опору болтів зрізу

$$F_{ym} = F_{on} + F_{mp}, \quad (7)$$

Підставивши в формулу (7) формули (6) та (5), отримаємо розрахункову формулу визначення зусилля, утримуючого від зрізу

$$F_{ym} = R_{bs} \gamma_b A_b n_s n + \left(\alpha EF \Delta t \sin \gamma + \frac{2\pi M}{h + \pi \mu (d + D)} \cos \gamma \right) \mu, \quad (8)$$

При схемі, розглянутій на рис. 3 зрізаюча сила буде чисельно рівною проекції температурного зусилля в рейці на лінію зрізу рейки

$$F_{zp} = P_{tx} = \alpha EF \Delta t \cos \gamma, \quad (9)$$

Оскільки коефіцієнт запасу міцності визначається як відношення утримуючих зусиль до зрізаючих, то його формула буде мати вигляд

$$K = \frac{F_{zp}}{F_{ym}}, \quad (10)$$

Підставивши в формулу (10) формули (8) та (9), отримаємо розрахункову формулу визначення коефіцієнту запасу міцності при зрізанні болтів температурною силою

$$K = \alpha EF \Delta t \cos \gamma / \left[R_{bs} \gamma_b A_b n_s n + \left(\alpha EF \Delta t \sin \gamma + \frac{2\pi M}{h + \pi \mu (d + D)} \cos \gamma \right) \mu \right], \quad (11)$$

Міцність буде забезпечуватися, якщо коефіцієнт запасу міцності буде залишатися більшим одиниці на протязі усього інтервалу можливого підвищення температури.

Очевидно, що найнебезпечнішим варіантом буде момент часу найбільшої різниці температур між температурою закріплення пліти на шпалах та існуючою температурою рейок на момент виміру. Тому коефіцієнт запасу міцності визначали для різних класів сталі при максимально можливому, згідно з рекомендаціями [1], підвищенню температури рейки в порівнянні з температурою закріплення, що складає 36° С. На рис. 4 приведений графік залежності коефіцієнту запасу міцності від класу сталі болтів. Даний графік нелінійний з непостійним приростом при зміні класу сталі, з якого виконані болти, що доводить неможливість перерахунку даного параметру шляхом добутку на сталий коефіцієнт.

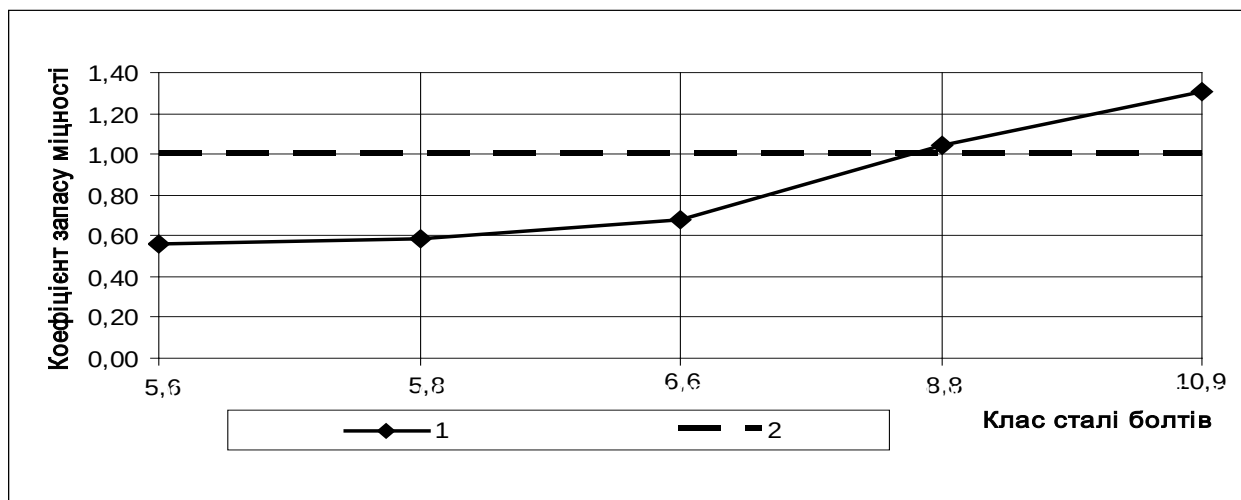


Рис. 4. Залежність коефіцієнту запасу міцності від класу сталі болтів:
1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

Проаналізувавши рис. 4, були зроблені висновки про клас болтів, що задовольняють умовам міцності. Тому подальші розрахунки для максимально можливого підвищення температури рейки в порівнянні з температурою закріплення проводилися для класів сталі 8.8 та 10.9. Для інших класів сталі було проведено дослідження границі міцності в залежності від зміни температури. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліти для болтів зі сталі класу 8.8 зображений на рис. 5.

Проаналізувавши рис. 5, стає ясно, що міцність заднього стика хрестовини буде забезпечуватися при дії поздовжньої сили, що менша температурної сили в рейці, яка відповідає різниці температур у 36°C . Допустиме підвищення температури з умов міцності більше, ніж максимальне значення підвищення температури при укладанні плітей у рекомендованому [1] інтервалі, тому болти зі сталі класу 8.8 витримують температурні навантаження.

Для дослідження даного питання для болтів зі сталі класу 10.9 був побудований графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліти, який зображений на рис. 6.

З рис. 6 легко побачити, що міцність заднього стика хрестовини буде забезпечуватися навіть у тому випадку, якщо пліть буде укладена не в рекомендований температурний діапазон і буде витримувати поздовжню силу, еквівалентну температурному зусиллю при різниці температур закріплення та температури рейки при вимірі зусиль. Стикові болти зі сталі класу 10.9 будуть забезпечувати міцність заднього стика хрестовини при дії температурних зусиль навіть при укладанні безстиківих плітей з заниженням рекомендованого температурного діапазону на 10°C . Тобто мінімальна температура укладання безстикової колії, що примикатиме до дослідного стрілочного переходу, буде складати 15°C .

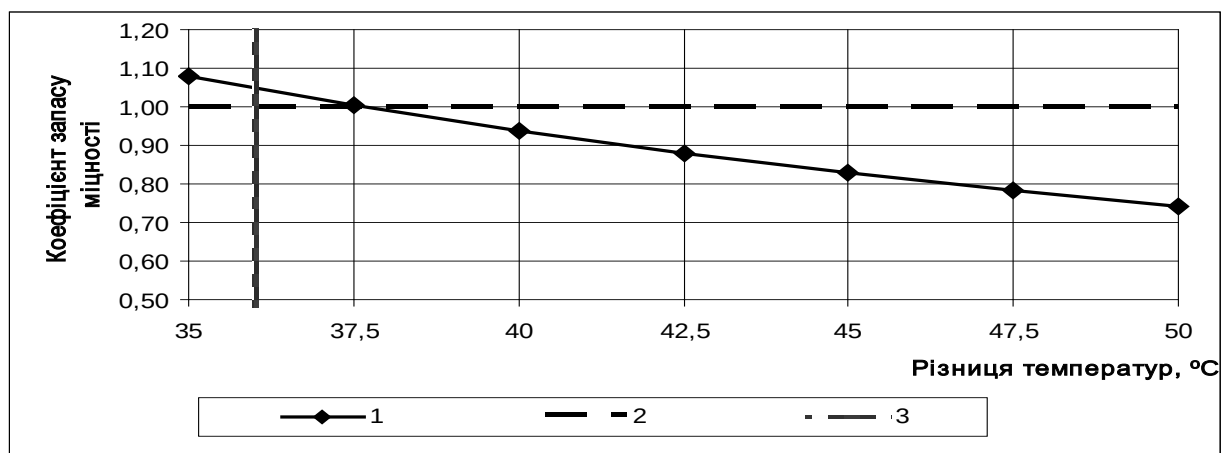


Рис. 5. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліти для болтів зі сталі класу 8.8:

1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцнос-

ті; 3 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

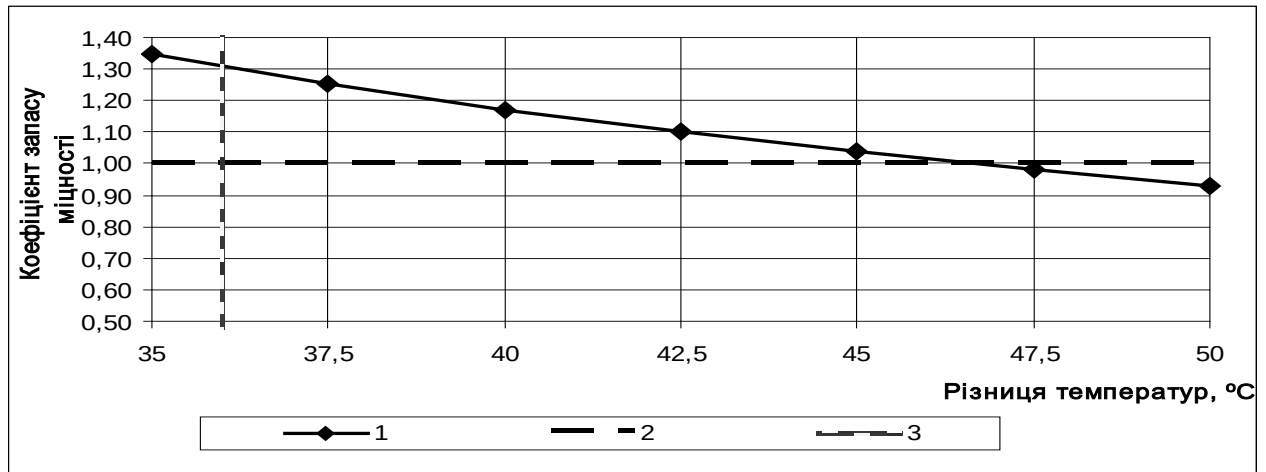


Рис. 6. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класу 10.9:

1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності; 3 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

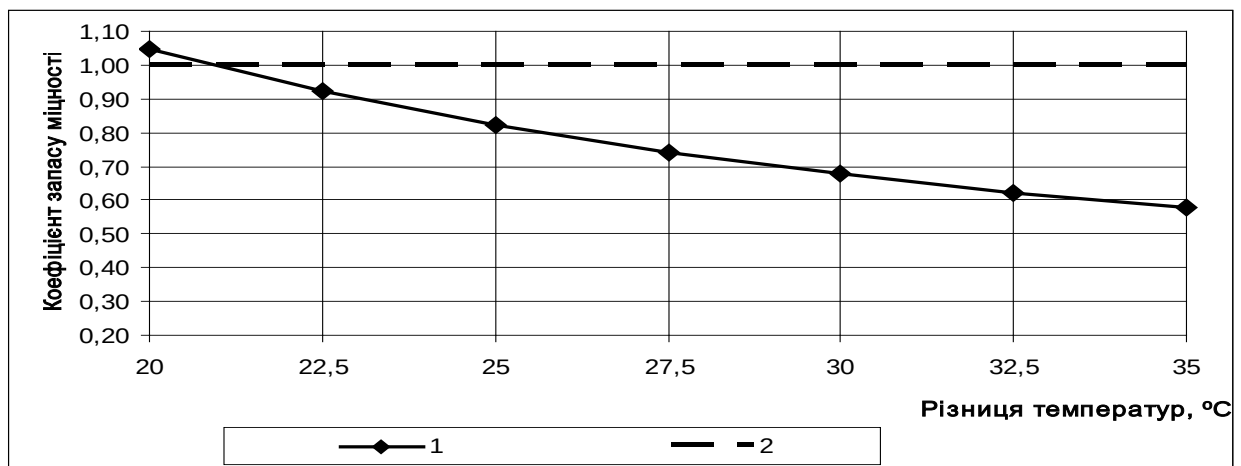


Рис. 7. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення пліті для болтів зі сталі класу 5.6:

1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

З рис. 6 легко побачити, що міцність заднього стика хрестовини буде забезпечуватися навіть у тому випадку, якщо пліть буде укладена не в рекомендований температурний діапазон і буде витримувати поздовжню силу, еквівалентну температурному зусиллю при різниці температур закріплення та температури рейки при вимірі зусиль. Стикові болти зі сталі класу 10.9 бу-

дуть забезпечувати міцність заднього стику хрестовини при дії температурних зусиль навіть при укладанні безстикових плит з заниженням рекомендованого температурного діапазону на 10°C. Тобто мінімальна температура укладання безстикової колії, що примикатиме до дослідного стрілочного переводу, буде складати 15 °C.

На рис. 7–9 показані залежності коефіцієнтів запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення плити для болтів зі сталі класів 5.6, 5.8, 6.6 відповідно.

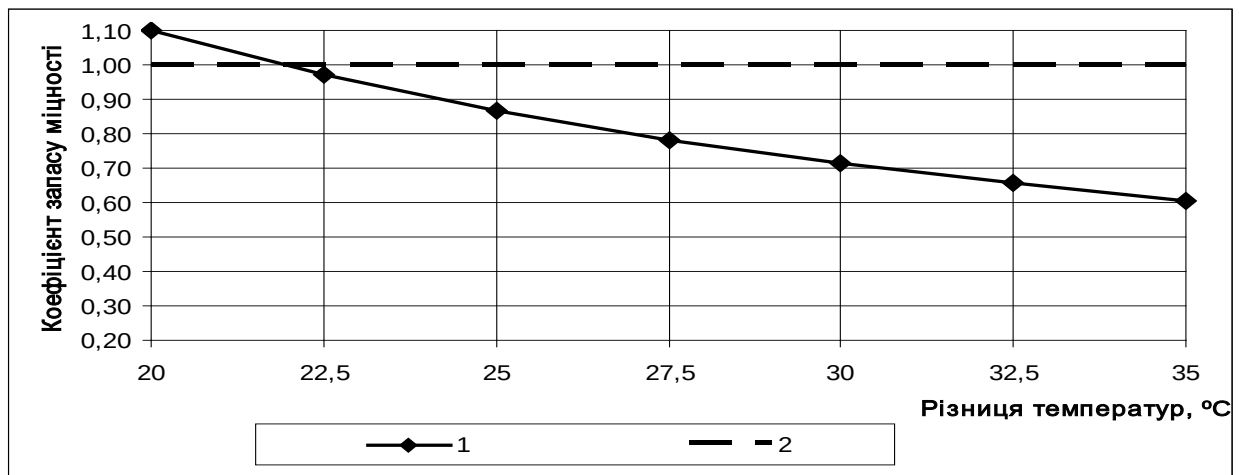


Рис. 8. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення плити для болтів зі сталі класу 5.8:

1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

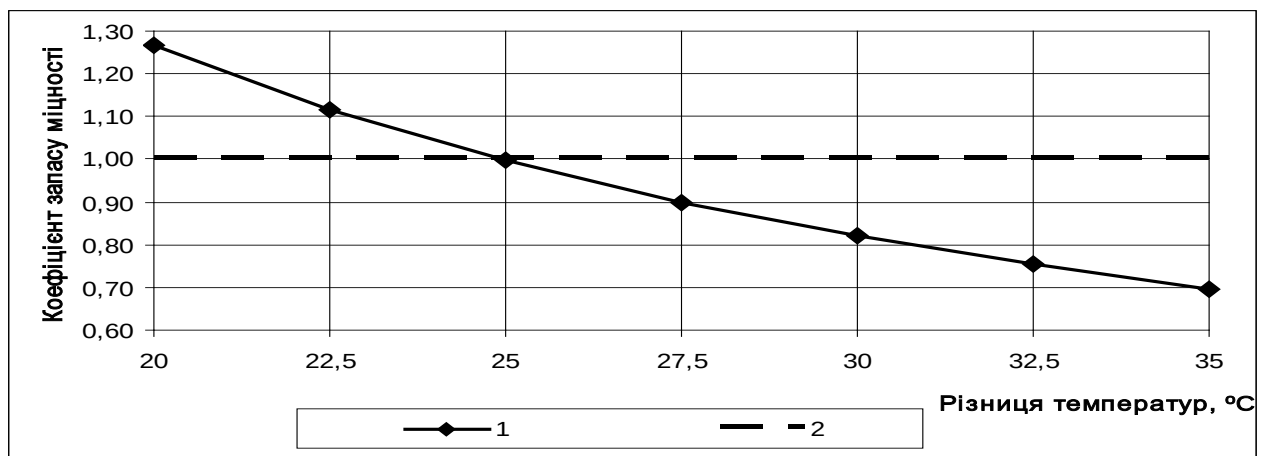


Рис. 9. Графік залежності коефіцієнту запасу міцності від зміни різниці температур рейки та температури закріплення плити для болтів зі сталі класу 6.6

1 – коефіцієнт запасу міцності; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності

Аналізуючи графіки 7–9 можна зробити висновок, що болти зі сталі класу до 6.6 включно забезпечують міцність заднього стику хрестовини, при дії поздовжньої сили, еквівалентної дії температурної сили у рейці, при різниці температур закріплення та температури рейки при вимірі зусиль 20...25 °С. Тобто мінімальна температура укладання безстикової колії, що примикатиме до дослідного стрілочного переводу, повинна складати 36...41 °С.

Враховуючи діапазони температур на території України та точність виміру температури рейок за діючими методиками, можна зробити висновок, що міцність заднього стику хрестовини для вказаних класів болтів знаходяться в одному температурному діапазоні, а результати є тотожними.

Наведені вище дані були отримані при врахуванні нормативного моменту затягування болтів. Під час експлуатації стикові болти можуть ослабнути і цим зменшити запас міцності заднього стику хрестовини. Тому був проведений розрахунок коефіцієнта запасу міцності заднього стику хрестовини без урахування сили тертя:

$$K = \frac{\alpha E F \Delta t \cos \gamma}{R_{bs} \gamma_b A_b n_s n} \quad (12)$$

По результатах розрахунку були побудовані графіки, які зображені на рис. 10–11.

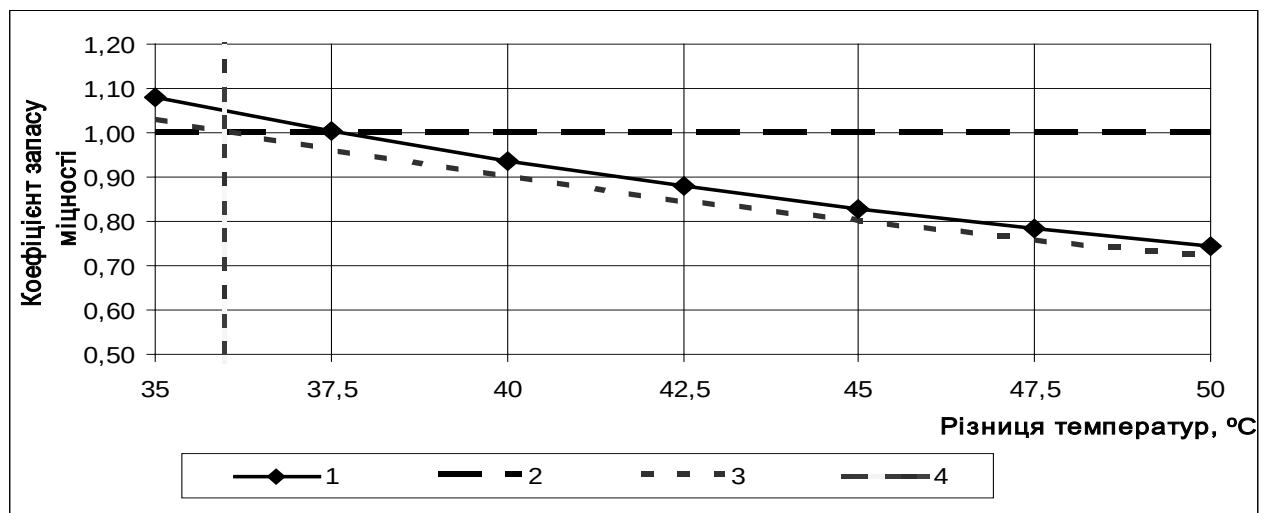


Рис. 10. Графік дослідження впливу сили тертя на коефіцієнт запасу міцності для болтів зі сталі класу 8.8:

1 – коефіцієнт запасу міцності з урахуванням сили тертя; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності; 3 – коефіцієнт запасу міцності без урахування сили тертя; 4 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

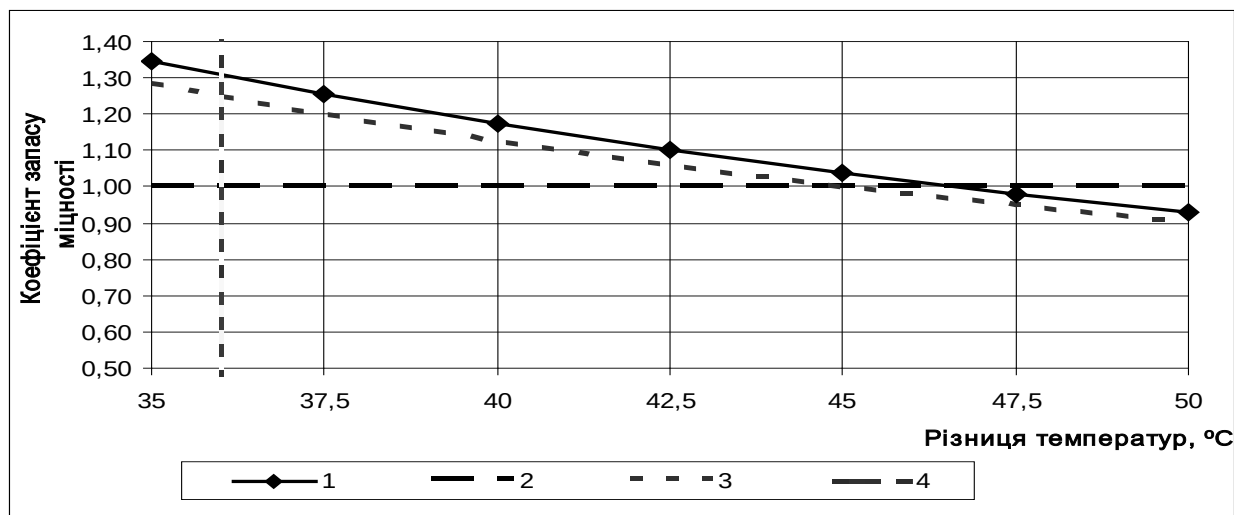


Рис. 11. Графік дослідження впливу сили тертя на коефіцієнт запасу міцності для болтів зі сталі класу 10.9:

1 – коефіцієнт запасу міцності з урахуванням сили тертя; 2 – граничний коефіцієнт запасу міцності; 3 – коефіцієнт запасу міцності без урахування сили тертя; 4 – максимально можлива зміна температури згідно ЦП 0081

Проаналізувавши рис. 10 та рис. 11, можна з упевненістю сказати, що сила тертя слабо впливає на коефіцієнт запасу міцності заднього стика хрестовини на зріз, і, враховуючи існуючу методику виміру температури та динаміку зміни температури рейки, силою тертя можна знехтувати для даного розрахунку. Крім того, вплив сили тертя зменшується зі збільшенням різниці температур рейки та температури закріплення пліті, тому при невеликій різниці згадуваних температур сила тертя має суттєвий вплив на коефіцієнт запасу міцності.

Сила тертя між рейкою та литою частиною хрестовини несуттєво впливає на коефіцієнт запасу міцності для заднього стика даної хрестовини на зріз при максимальній можливій різниці температур рейки під час визначення зусилля та під час закріплення пліті на шпалі 36 °C.

ВИСНОВКИ

При використанні болтів зі сталі класів 8.8 та 10.9 буде забезпечуватися міцність заднього стика хрестовини типу Р65 марки 1/11 проекту КС1002.00.000 при укладанні плітей безстикової колії у рекомендованому діапазоні температури закріплення [1]

При використанні болтів зі сталі класу 10.9 буде забезпечуватися міцність заднього стика даної хрестовини, навіть, при укладанні плітей безстикової колії з порушенням рекомендованого температурного діапазону [1] до

10 °С у сторону його пониження.

Для визначення ступеню впливу подовження рейкової пліти в результаті вичерпання зазорів між болтами та отворами в рейках на коефіцієнт запасу міцності заднього стику хрестовини необхідно провести додаткові розрахунки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстикової колії на залізницях України. ЦП-0081 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 25.01.02. №34-Ц / Мін-во трансп. та зв'язку України. К., 2002. - 106 с.
2. Практичні рекомендації щодо проведення вхідного контролю якості матеріалів верхньої будови колії [Текст]: рекомендації / за ред. В. О. Яковлева. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. - 196 с.
3. Протокол ради експертів з технічних питань по темі 3 колійної тематики: «Розробка матеріалів по залізобетонним шпалам, брусам та стрілочним переводам» [Текст]. – Угорщина, 2000.
4. Стальные конструкции. СНиП II-23-81 [Текст] Утв.: постановлением Госстроя СССР 14.08.81. №144 / Госстрой СССР. – М.: 1990. – 96 с.
5. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст]: учебник для вузов ж.-д. трансп. / под ред. М. А. Фришмана. – , М.: Государственное транспортное ж. д. изд-во, 1956. – 181 с.
6. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість. ЦП-0117 [Текст]: Затв.: Наказ Укрзалізниці 13.12.04. № 960-Ц / Мін-во трансп. та зв'язку України. К.: 2006. – 168 с.
7. Болты для рельсовых стыков железнодорожного пути. Технические условия. ГОСТ 11530-93 [Текст] Утв. Постановлением Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации 02.06.94 №160 / Издательство стандартов. – М.:1994. – 10 с.