УДК 621.87

Михайло Сидоренко — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри деталей машин і підйомно-транспортних механізмів Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: sidorenko.mik@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-9097-9739

Віталій Кононов — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри деталей машин і підйомно-транспортних механізмів Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: kononov1705@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-0479-1386

Євген Кравченко — аспірант кафедри деталей машин і підйомно-транспортних механізмів Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, ORCID: 0009-0006-2218-7621

КОНСТРУКТИВНІ СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ВУЗЛІВ З'ЄДНАННЯ ГОЛОВНИХ І КІНЦЕВИХ БАЛОК МОСТОВИХ КРАНІВ

***Мета роботи**. Підвищити несучу здатність вузлів з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів шляхом вдосконалення методик їхнього діагностування та розроблення конструктивних способів підсилення при ремонті.*

***Методи дослідження.** Напружений стан вузлів з'єднання досліджували методом кінцевих елементів з адаптацією методу hot spot stress до прийнятих в Україні норм. Розрахунок напружено-деформованого стану поверхової конструкції проводили з використанням підмоделей. Коефіцієнти інтенсивності напружень визначали методом переміщень.*

***Отримані результати.** На основі аналізу статистичних даних розроблено логіт-модель ймовірності пошкодження вузлів з'єднання залежно від параметрів мостових кранів. Встановлено, що для стикової конструкції найбільш значущими факторами є інтенсивність експлуатації та строк експлуатації, тоді як для поверхової конструкції домінуючим є інтенсивність експлуатації. Розроблено моделі напруженого стану вузлів при дії вертикального й поперечного навантажень. Виявлено, що збільшення катету косинця не має очікуваного впливу на величину напружень через перерозподіл навантажень між елементами кінцевої балки. Встановлено, що під-силення стінок кінцевих балок дозволяє зменшити напруження у верхньому поясі в 1,8 рази. Запропоновано конс-труктивні способи підвищення несучої здатності вузлів з'єднання стикової та поверхової конструкцій. Експе-риментально підтверджено, що при використанні комплексного підходу (косинець, накладка та виріз) для пове-рхової конструкції максимальні ефективні напруження в зоні вирізу становлять 60 МПа.*

***Наукова новизна.** Отримано нові дані щодо закономірностей впливу конструктивних параметрів вузлів з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів на їхню несучу здатність. Встановлено залежності між довжиною тріщини та параметрами тріщиностійкості, що дозволяє прогнозувати залишковий ресурс вузлів з'єднання.*

***Практична цінність.** Розроблені конструктивні способи підвищення несучої здатності вузлів з'єднання дозволяють забезпечити достатній запас міцності за опором багатоцикловій втомі та підвищити безпеку експлуатації мостових кранів.*

***Ключові слова:** мостові крани, вузли з'єднання, напружений стан, конструктивні способи підвищення несучої здатності, метод кінцевих елементів, коефіцієнти інтенсивності напружень, тріщиностійкість.*

Вступ

Процес природного старіння парку мостових кранів спричиняє необхідність роботи металоконструкцій в умовах, близьких до граничного стану. Одним із вузлів, які лімітують несучу здатність металоконструкцій мостових кранів, є вузол з'єднання головних і кінцевих балок. Аналіз результатів обстеження кранів, які відпрацювали нормативний строк експлуатації, показує, що більшість пошкоджень вузлів з'єднання має характер втоми. Тому підвищення несучої здатності вузлів з'єднання є важливою та актуальною проблемою.

Більшість мостових кранів, що експлуатуються на підприємствах України, мають вузли з'єднання головних і кінцевих балок стикової й поверхової конструкції. Відсутність науково-обґрунтованої методики розрахунку вузлів з'єднання найчастіше зумовлює прийняття таких рішень, наслідками яких є зниження запасів міцності за опором багатоцикловій втомі. Це, поряд з високим навантаженням вузлів вертикальними і горизонтальними поперечними (далі поперечними) силами, призводить до їхнього руйнування. Наявні методики оцінювання стану та залишкового ресурсу мета

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8

локонструкцій не дозволяють об'єктивно оцінити несучу здатність вузлів після напрацювання, а також визначити їх залишкову довговічність. Крім того, відсутнє також обґрунтування способів підвищення несучої здатності вузлів з'єднання, тому ремонт проводиться на підставі лише якісного оцінювання, що нерідко призводить до повторної появи тріщин.

Отже розроблення сучасного, науково-обґрунтованого підходу до комплексного забезпечення несучої здатності вузлів з'єднання головних і кінцевих балок на етапах діагностування та ремонту є важливою науково-технічною задачею.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз досліджень з питань пошкодження вузлів металоконструкцій мостових кранів [1–6] виявив їх суттєвий недолік – відсутність диференційованого підходу до класифікації кранів. Ймовірність пошкодження розглядається узагальнено, без врахування конструктивних особливостей вузлів з'єднання та режимів експлуатації обладнання. Існуючі залежності ймовірності пошкодження від часу експлуатації мають протиріччя та значні розбіжності в результатах. Це унеможливлює їх використання для прогнозування технічного стану металоконструкцій.

Так, в роботі [7] аналізується вплив різних конфігурацій зварних з'єднань та експлуатаційних навантажень на втомну міцність сталевих конструкцій, пропонуючи ймовірнісні моделі для оцінки їх довговічності. В роботі [8] автори досліджують вплив випадкових транспортних навантажень на надійність сталевих мостів, з акцентом на часові залежності та прогнозування технічного стану. Комплексний підхід до прогнозування втомних пошкоджень у сталевих конструкціях, враховуючи змінну амплітуду навантаження та конструктивні деталі, що впливають на точність оцінки пошкоджень розглянуто в роботі [9].

Огляд літератури свідчить про значну варіативність підходів до оцінки ймовірності пошкоджень вантажопідіймальних кранів залежно від режиму їх експлуатації. У дослідженні Волянюка та Горбатюка [10] розглядається комплексний метод розрахунку механізмів вантажо-підіймальних машин, що враховує вплив динамічних навантажень на вузли конструкції. Автори акцентують увагу на тому, що підхід до оцінки довговічності кранів повинен базуватися не лише на емпіричних залежностях, але й на чисельних методах аналізу. У дослідженні Шведа Ю. В. [11] вказується на значну розбіжність у прогнозах пошкоджуваності мостових кранів залежно від застосованої математичної моделі. Автор підкреслює необхідність врахування реальних умов експлуатації, включаючи циклічні навантаження та конструктивні особливості з'єднань.

Аналіз сучасних досліджень у галузі прогнозування пошкоджуваності мостових кранів свідчить про важливість комплексного підходу, що враховує як циклічні навантаження, так і конструктивні особливості з'єднань. Автори роботи [12] акцентують увагу на впливі змінних амплітудних навантажень на втомну міцність зварних конструкцій, підкреслюючи необхідність моделювання реальних умов експлуатації для точного прогнозування довговічності. H. Guo, X. Tong [13] розробили модель довговічності підкранових балок із врахуванням умов експлуатації. Вони встановили, що температурний фактор та перевантаження навіть в 10 % суттєво впливають на розвиток втомних тріщин у балках підкранових шляхів. Bo Wu із співавторами [14] застосовують ймовірнісну механіку руйнування для оцінки надійності конструкцій під циклічними навантаженнями, що дозволяє врахувати статистичні характеристики навантажень та властивостей матеріалу. Загалом, ці дослідження підкреслюють необхідність інтеграції детального аналізу конструктивних особливостей та реальних експлуатаційних умов для підвищення точності прогнозування пошкоджуваності та забезпечення надійності мостових кранів.

Узагальнюючи аналіз зазначених джерел, можна зробити висновок про те, що для адекватного прогнозування технічного стану кранів необхідно поєднувати статистичні моделі з фізичними характеристиками матеріалу та умовами експлуатації, що дозволить підвищити точність оцінки їх залишкового ресурсу. Таким чином, проблема забезпечення несучої здатності вузлів з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів залишається невирішеною, що обумовлює необхідність розробки нових підходів до їх діагностування та підсилення.

Мета роботи

Метою роботи було підвищення несучої здатності вузлів з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів шляхом вдосконалення методик їхнього діагностування та розроблення конструктивних способів підсилення при ремонті, що дозволить збільшити запас міцності за опором багатоцикловій втомі та підвищити безпеку експлуатації вантажопідйомного обладнання. Для досягнення мети вирішено такі завдання: встановлено вплив параметрів мостових кранів на ймовірність пошкодження вузлів з'єднання; досліджено напружений стан при різних навантаженнях і створено його моделі; вивчено вплив конструктивних параметрів на несучу здатність з'єднань; проаналізовано залежність параметрів тріщиностійкості від характеристик тріщин; розроблено способи підвищення міцності вузлів стикових і поверхових конструкцій; експериментально перевірено запропоновані конструктивні рішення.

Об'єктом дослідження були вузли з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів стикової та поверхової конструкції, процеси зародження та розвитку тріщин під дією циклічних навантажень і пружні динамічні поля, які вони спричиняють при цьому в деформівному твердому тілі. Предметом дослідження були закономірності впливу конструктивних параметрів вузлів з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів на їхню несучу здатність.

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8

Матеріал і методика досліджень

Для розрахунку вузлів на опір втомі з кутовими швами методом кінцевих елементів був адаптований метод hot spot stress до прийнятих на Україні норм. Результатом розрахунків є максимальні ефективні напруження, які можна подати як добуток діючих напружень σ_i на ефективний коефіцієнт концентрації напружень K. При симетричних циклах коефіцієнт запасу міцності

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K \cdot \sigma_i} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{max}}, \qquad (1)$$

де σ_{max} – ефективні напруження, σ_{-1} – границя витривалості.

Розрахунок напружено-деформованого стану поверхової конструкції проводили з використанням підмоделей. Коефіцієнти інтенсивності напружень визначали, використовуючи метод переміщень.

Для виконання експериментальної частини була розроблена система збирання аналогової інформації від восьми різних джерел, що дозволяє записувати й обробляти дані на персональному комп'ютері.

Для моделювання умов навантаження металоконструкцій застосовані стандартні методики випробувань на втому і тріщиностійкість. Для визначення початку макроруйнування при експлуатаційному навантаженні використано метод АЕ, за критерій обрана сума амплітуд сигналів.

Математичне оброблення результатів експериментів здійснювали з використанням стандартних математичних методів і сучасних пакетів математичних програм.

Результати досліджень

Руйнування вузлів з'єднання в експлуатації має характер втоми і відбувається внаслідок недостатнього запасу міцності матеріалу за опором багатоцикловій втомі.

За результатами складання розподілів пошкоджень встановлено, що їх розгляд без розділення в одній сукупності дає лише узагальнену оцінку. Кількість пошкоджень інтенсивно працюючих кранів значно перевищує узагальнену оцінку. Для ймовірності пошкодження запропоновано використовувати логіт-модель:

$$y = \frac{e^A}{1+e^A}, \qquad (2)$$

де $A = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_4 \cdot X_4$;

X_1= (*Q*-5)/45 – вантажопідйомність; X_2= (*L*-16)/32 – проліт; X_3= *(INT-1)/3* – інтенсивність експлуатації; X_4= (*T*-12)/36 – строк експлуатації на момент обстеження в кодованому масштабі.

Оброблення даних пасивного експерименту дозволило встановити закономірності впливу статистично значущих параметрів мостових кранів на ймовірність пошкодження. Рівняння полінома має вигляд:

- для стикової конструкції

$A=-4{,}57-0{,}855\cdot X_1+4\cdot X_3+2{,}05\cdot X_4$;

- для поверхової конструкції

$A=-3{,}25+6{,}12\cdot X_3$.

Після проведення підтверджувального експерименту було отримано значення критерію R^2: для стикової конструкції $R^2 = 0{,}92$; для поверхової – $R^2 = 0{,}90$.

Розрахунок напружено-деформованого стану вузла стикової конструкції при дії поперечного навантаження підтвердив наявність трьох максимумів напружень (рис. 1): на нижній крайці поясу кінцевої балки – розрахункова зона 1, верхній крайці – 3 і в місці закінчення шва – 2. Максимуми напружень 1 та 3 розрахункових зон (σ_1 і σ_3) зв'язані співвідношенням $\sigma_3 \approx 0{,}9 \cdot \sigma_1$, тому далі розглядаємо розрахункові зони 1 і 2.

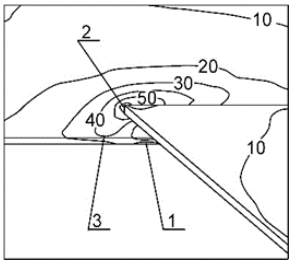


Рисунок 1. Ізолінії еквівалентних напружень ($\sigma_{екв}$, МПа) при дії на вузол з'єднання поперечного навантаження N=60 кН: 1, 2, 3 – розрахункові зони

Для встановлення впливу конструктивних параметрів на несучу здатність вузла з'єднання стикової конструкції розроблена модель напруженого стану, що враховує дію поперечного навантаження. Максимальні ефективні напруження:

$$\sigma_{max\ i} = K_i \cdot \varphi \cdot \sigma_i, \qquad (3)$$

де $K_i = \alpha_i + \alpha_i^{из} \cdot c_i$ – коефіцієнт впливу сумарних напружень розтягання-стискання й місцевого згинання в і-й розрахунковій зоні;

α_i, $\alpha_i^{из}$ (приймаємо $\alpha_i = \alpha_i^{из}$) – теоретичні коефіцієнти концентрації напружень у розрахунковій зоні при розтяганні й місцевому згині;

c_i – коефіцієнт місцевого згину елемента;

$\varphi = \varphi_Б \cdot \varphi_1 \cdot \varphi_2$ – коефіцієнт розподілення силових факторів між елементами балки; $\varphi_Б$ – частина навантаження, що припадає на верхній пояс без врахування косинця; φ_1 – коефіцієнт, який залежить від катета косинця; φ_2 – коефіцієнт, який залежить від товщини стінки кінцевої балки (за наявності підсилення);

σ_i – напруження, які отримано при розв'язанні плоскої задачі про дію сили $N_П = \varphi_Б \cdot N$ на клин або прямокутну пластину;

N – поперечне навантаження, що діє на реборду ходового колеса.

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8

Результати розрахунку вузла методом кінцевих елементів для крана Q = 10 тон вказують (табл. 1), що катет косинця не має очікуваного впливу на величину напружень.

Таблиця 1 – Результати розрахунків параметрів моделі вузла з'єднання стикової конструкції

Катет косинця, мм	300	430	600
c_1	0,38	0,45	0,46
φ_1	1,17	1,31	1,66
α_1	1,28		
$K_1 \cdot \varphi_1$	2,03	2,43	3,1
K_2	7,8	8	8,6

Це пояснюється перерозподілом навантажень між елементами кінцевої балки. Вирішальний вплив має наявність у зоні дії максимальних напружень кутового шва напускного з'єднання. Підсилення стінок кінцевих балок дозволяє зменшити напруження у верхньому поясі в 1,8 раза (при підсиленні стінки товщиною 6 мм листом 14 мм).

$$\varphi_2 = 0,056 \cdot \left(\frac{\delta_{YC}}{\delta} \right)^2 - 0,43 \cdot \frac{\delta_{YC}}{\delta} + 1,37, \qquad (4)$$

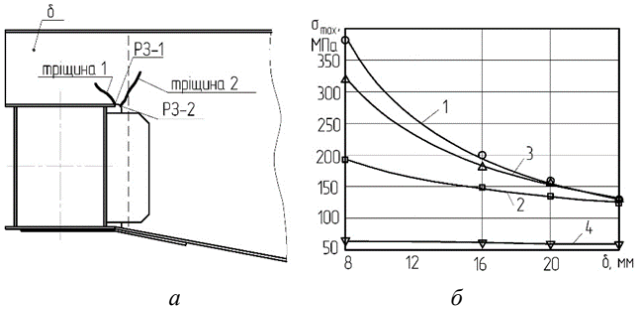
де δ, δ_{YC} – товщина стінки до та після підсилення відповідно.

Адекватність моделі перевірена при тензометруванні крана (Q = 10 т, L = 32 м, режим роботи – важкий) на ВАТ «Запорізький абразивний комбінат».

Розрахунок поверхової конструкції (рис. 2) виявив наявність великих напружень від дії поперечного навантаження (N = 81 кН) на початку шва, що з'єднує стінку головної балки з поясом кінцевої (розрахункова зона РЗ-1) (рис. 4): $\sigma_{max1} = 3,1/\delta$, МПа; і в зоні радіусного переходу (РЗ-2): $\sigma_{max2} = 28,4/\delta^{0,397}$, МПа. Від дії вертикального навантаження (P=270 кН) напруження для зазначених зон склали відповідно:

$$\sigma_{max3} = 6,34/\delta^{0,813}; \ \sigma_{max4} = 42,6/\delta^{0,085}, \qquad (5)$$

де δ – товщина стінки, м.



а *б*

Рисунок 2. Модель напруженого стану поверхової конструкції: *а* – розрахункові зони; *б* – залежність максимальних ефективних напружень від товщини стінки головної балки при дії поперечного навантаження (1, 2 для РЗ-1 та РЗ-2 відповідно) та вертикального навантаження (3, 4 для РЗ-1 та РЗ-2 відповідно)

Обговорення

За результатами моделювання встановлено, що для стикової конструкції коефіцієнти інтенсивності напружень не є постійними за товщиною поясу, що пов'язано з місцевим згином. Інтерес становить максимальне значення еквівалентного коефіцієнта інтенсивності напружень $K_{ЭКВ}$ (1, 2 рис. 3), тому що воно визначає момент початку розвитку тріщини, а також значення, що відповідає середній швидкості зростання тріщини $\overline{K}$ (3, 4 рис. 3), що так само відповідає дійсному об'єму зони пластичного деформування.

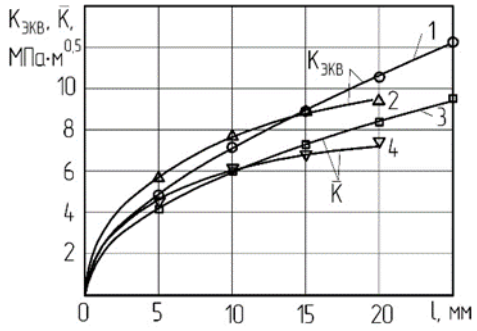


Рисунок 3. Залежність еквівалентних і середніх коефіцієнтів інтенсивності напружень від довжини трі-щини при дії поперечного навантаження: 1, 3 – розрахункова зона 3; 2, 4 – розрахункова зона 1

Запропоновано конструктивні способи підвищення несучої здатності вузлів з'єднання стикової конструкції (рис. 3).

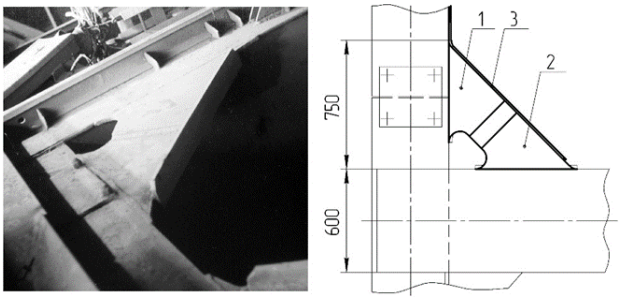


Рисунок 3. Запропонована конструкція вузла з'єднання головних і кінцевих балок: 1, 2 – косинці; 3 – обичайка

Запропоновані конструктивні способи підвищення несучої здатності, які включають наступні вимоги: кутові шви з'єднання косинця з поясами замінити стиковими, спряження косинців з поясами виконати по радіусу та збільшити катет косинця. Для цього деталі 1 и 2 приварюють до поясів балок стиковими швами, а потім між собою напускними. При цьому не потрібна підгонка до поясів, і не виникають значні напруження від усадки в стикових швах. Встановлено, що максимальні напруження з урахуванням концентрації складають: для випадку непідкріпленого косинця – 65 МПа; косинця, підкріпленого обичайкою – 80 МПа.

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8

Для поверхової конструкції встановлено, що збільшення товщини стінки не завжди дозволяє знизити напруження до рівня границі витривалості. Отримано залежність напружень на початку таврового шва, що з'єднує компенсаторну накладку зі стінкою кінцевої балки, від довжини тріщини (*l*, мм) при дії поперечного навантаження: $\sigma_{max5} = 1{,}28 \cdot l + 180$. Поява тріщин у шві компенсаторної накладки спостерігалася при несвоєчасному ремонті вузла на багатьох кранах.

Розрахунки показують, що в діапазоні 0,002<*l*<0,045 м: K_I мало залежить від довжини тріщини; монотонно зростає тільки K_{II} при дії вертикального навантаження; інші коефіцієнти інтенсивності напружень, досягаючи максимуму, в кінці діапазону спадають (рис. 5). Такий характер залежності можна пояснити тим, що при наявності високого градієнта напружень зона впливу концентратора буде невеликою.

Таким чином, на підставі аналізу було запропоновано конструктивні способи підвищення несучої здатності вузлів з'єднання поверхової конструкції (рис. 6). Пояси балок необхідно з'єднати косинцем у формі трапеції, встановлення нової компенсаторної накладки, що приварена до поясів головної балки, виконати виріз у місцях перетину поясу кінцевої головної балки зі стінкою.

Встановлено, що при використанні косинця, накладки та вирізу разом максимальні ефективні напруження в зоні вирізу становлять σ_{max} = 60 МПа (рис. 7).

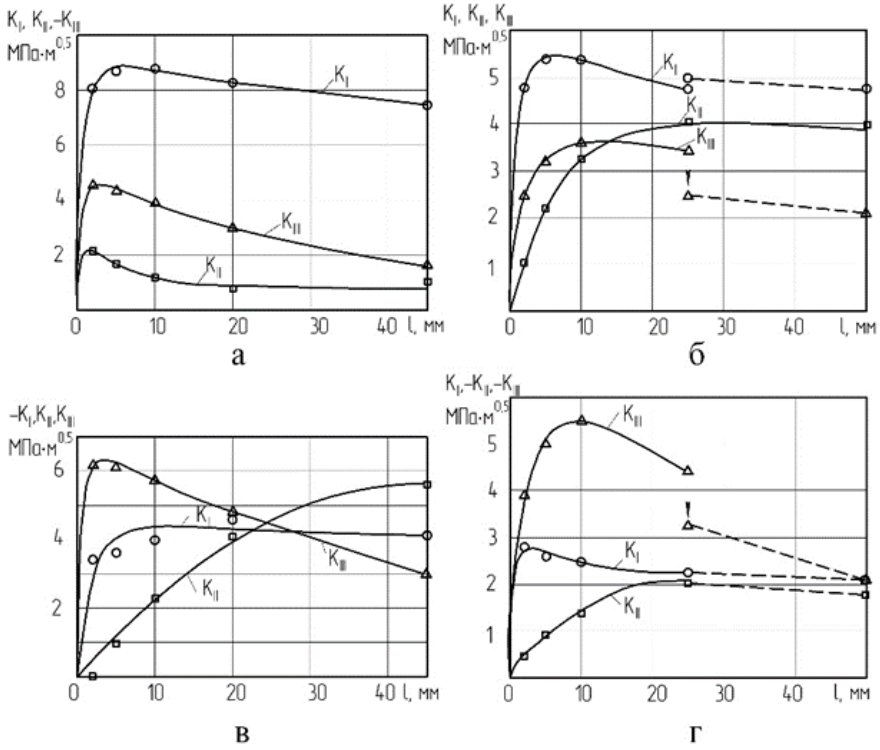


Рисунок 5. Залежності коефіцієнтів інтенсивності напружень від довжини тріщини (пунктиром показано значення при відриві діафрагми від стінки): *а, б* – поперечне навантаження, тріщини 1 і 2 відповідно; *в, г* – вертикальне навантаження, тріщини 1 і 2 відповідно

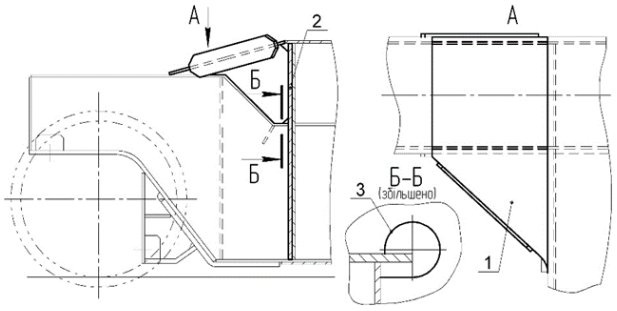


Рисунок 6. Конструктивні способи підвищення несучої здатності вузла з'єднання головних і кінцевих балок поверхової конструкції: 1 – косинець; 2 – нова компенсаторна накладка; 3 – виріз

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8

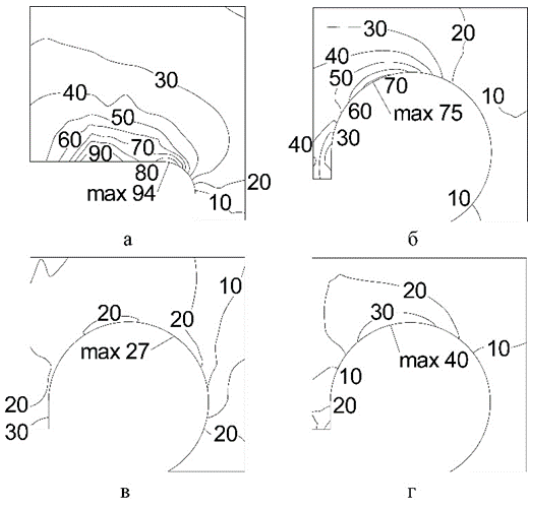


Рисунок 7. Ізолінії еквівалентних напружень ($\sigma_{екв}$, МПа) при дії на вузол з'єднання поперечного N=81 кН:(*а, б, г*) та вертикального P=210 кН (в) навантажень: *а* – підсилення косинець; *б* – виріз; в, *г* – косинець, накладка та виріз

При дії вертикального навантаження виріз дозволяє суттєво знизити напруження. Крім того, максимуми напружень у цьому випадку при дії поперечного та вертикального навантажень знаходяться в різних місцях (рис. 7*в, г*).

Висновки

На підставі аналізу статистичних даних щодо пошкодження вузлів з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів розроблено логіт-модель ймовірності пошкодження залежно від вантажопідйомності, прольоту, інтенсивності та строку експлуатації. Встановлено, що для стикової конструкції найбільш значущими факторами є інтенсивність експлуатації та строк експлуатації, тоді як для поверхової конструкції домінуючим є лише інтенсивність.

Розроблено моделі напруженого стану вузлів з'єднання головних і кінцевих балок стикової та поверхової конструкцій при дії вертикального й поперечного навантажень. Виявлено наявність трьох розрахункових зон у стиковій конструкції з максимальними значеннями ефективних напружень. Доведено, що катет косинця не має очікуваного впливу на величину напру-жень через перерозподіл навантажень між елементами кінцевої балки.

Встановлено, що підсилення стінок кінцевих балок дозволяє зменшити напруження у верхньому поясі в 1,8 раза, при підсиленні стінки товщиною 6 мм листом 14 мм. Отримано математичну залежність коефіцієнта підсилення φ_2 від товщини стінки до та після підсилення, що дозволяє оптимізувати конструктивні параметри вузлів з'єднання.

Досліджено вплив довжини й положення тріщини на параметри тріщиностійкості та напружений стан конструкції. Виявлено, що коефіцієнти інтенсивності напружень не є постійними за товщиною поясу внаслідок місцевого згину. Встановлено, що в діапазоні довжин тріщин 0,002…0,045 м коефіцієнт інтенсивності напружень K_I мало залежить від довжини тріщини, а монотонно зростає лише K_{II} при дії вертикального навантаження.

Розроблено та обґрунтовано конструктивні способи підвищення несучої здатності вузлів з'єднання головних і кінцевих балок мостових кранів. Для стикової конструкції запропоновано замінити кутові шви з'єднання косинця з поясами на стикові, для поверхової конструкції – використання косинця у формі трапеції, встановлення нової компенсаторної накладки та виконання вирізу в місцях перетину поясу кінцевої зі стінкою головної балки.

Експериментально підтверджено ефективність запропонованих конструктивних рішень. При використанні комплексного підходу (косинець, накладка та виріз) для поверхової конструкції максимальні ефективні напруження в зоні вирізу становлять 60 МПа, що забезпечує достатній запас міцності за опором багатоцикловій втомі. Крім того, максимуми напружень при дії поперечного та вертикального навантажень знаходяться в різних місцях, що знижує ймовірність одночасного критичного навантаження обох зон.

Список літератури

1. Стрельбіцький В. В. Експериментальне дослідження впливу напрацювання на тріщиностійкість сталей мостових кранів / В. В. Стрельбіцький // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 4, Т. 1. – С. 138–142.

2. Немчук О. О. Особливості діагностування технічного стану сталей портового перевантажувального обладнання / О. О. Немчук // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2017. – № 6, Т. 53. – С. 116–118.

3. Prediction of Remaining Fatigue Life of In-Service Bridge Cranes / Y. Li, A. Jin, Y. Dai and others // Applied Sciences. – 2023. – № 13 (22): 12250. https://doi.org/10.3390/app132212250.

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8

4. Przybyłek G. Method of assessing the teclmical condition and failure of overhead cranes designed to work in difficult conditions / G. Przybyłek, J. Więckowski // Case Studies in Construction Materials. – 2022. – Vol. 16: e00811. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00811.

5. Failure probability analysis of overhead crane bridge girders within uncertain design parameters / T.V. Hai, N.H. Thu, H.D. Tuan and others // Journal of Science and Technology in Civil Engineering. – 2020. – Vol. 14 (3). – P. 125–135. https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(3)-11.

6. Mei X. Bi-Probability Fatigue Life Prediction for Bridge Crane Structures / X. Mei, D.S. Dong, Y.Y. Teng // Advanced Materials Research. – 2012. – Vol. 482–484. – P. 736–740. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.736.

7. Kumar S. Probabilistic assessment of fatigue life in welded steel structures considering joint configurations and operational loads / S. Kumar, R. Singh // International Journal of Structural Integrity. – 2022. – Vol. 13 (4). – P. 567–583. DOI: 10.1108/IJSI-07-2022-0057.

8. Zhang M. Fatigue Reliability Assessment of Bridges Under Heavy Traffic Loading Scenario / M. Zhang, X. Wang, Y. Li // Infrastructures. – 2024. – Vol. 9 (12): 238. https://doi.org/10.3390/infrastructures9120238.

9. Fatigue life prediction under variable amplitude loading using a microplasticity-based constitutive model / F. Mozafari, P. Thamburaja, A. Srinivasa and others // International Journal of Fatigue. – 2020. – Vol. 134 (7): 105477. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105477.

10. Волянюк В.О. Розрахунок механізмів вантажопідіймальних машин / В.О. Волянюк, Є.В. Горбатюк. – Київ: КНУБА, 2021. – 164 с.

11. Швед Я.Л. Міцність і деформівність зварної прямокутної ферми при дії силових і температурних впливів: дис. ... доктора філософії: спец. 131 – Прикладна механіка; Тернопільський національний технічний університет. – Тернопіль, 2024. – 177 с. https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00001038/dissertation_shved_y.pdf.

12. Overload and variable amplitude load effects on the fatigue strength of welded joints / K. Grönlund, A. Ahola, J. Riski and others // Welding in the World. – 2024. – Vol. 68. – P. 411–425. http://dx.doi.org/10.1007/s40194-023-01642-z.

13. Guo H. Fatigue Prognosis Analysis on the Cracked Steel Crane Runway Girders Under High Temperature / H. Guo, X. Tong // International Journal of Steel Structures. – 2021. – Vol. 21. – P. 1022–1031. http://dx.doi.org/10.1007/s13296-021-00487-w.

14. A reliability assessment method for structural metallic component with inherent flaws based on finite element analysis and probabilistic fracture mechanics model / B. Wu, A. Brückner-Foit, Q. Li and others // International Journal of Fatigue.–2009. –Vol. 31(11–12). – P. 1882–1888.
https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2009.02.013.

Одержано 19.05.2025

CONSTRUCTIVE METHODS FOR INCREASING THE LOAD-BEARING CAPACITY OF CONNECTION JOINTS BETWEEN MAIN AND END GIRD-ERS OF BRIDGE CRANES

Mykhailo Sydorenko — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Elements and Hoisting and Transport Mechanisms, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: sidorenko.mik@gmail.com,* ORCID: 0000-0002-9097-9739

Vitaliy Kononov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine Elements and Hoisting and Transport Mechanisms, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: kononov1705@gmail.com,* ORCID: 0000-0002-0479-1386

Evhen Kravchenko — Postgraduate student of the Department of Machine Elements and Hoisting and Transport Mechanisms, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, ORCID: 0009-0006-2218-7621

Purpose*. To enhance the load-bearing capacity of the junction nodes between main and end beams of overhead cranes by improving diagnostic methodologies and developing structural reinforcement techniques for repair applications.*

Research methods*. The stress state of junction nodes was investigated using the finite element method with adaptation of the hot spot stress approach to Ukrainian standards. Stress-strain analysis of the overlapping structure was conducted using sub-modeling techniques. Stress intensity factors were determined through the displacement method.*

Results*. Based on statistical data analysis, a logit model was developed to determine the probability of junction*

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8

node damage depending on overhead crane parameters. It was established that for butt joint structures, the most significant factors are operation intensity (coefficient 4.0) and service life (coefficient 2.05), whereas for overlapping structures, operation intensity is the dominant factor (coefficient 6.12). Stress state models were developed for nodes under vertical and transverse loads. It was discovered that increasing the gusset plate leg length does not have the expected effect on stress magnitude due to load redistribution between end beam elements. It was determined that reinforcing end beam webs can reduce stresses in the upper flange by a factor of 1.8. Structural methods for enhancing the load-bearing capacity of butt joint and overlapping structures were proposed. Experimental verification confirmed that when using an integrated approach (gusset plate, overlay, and cut-out) for overlapping structures, the maximum effective stresses in the cut-out zone are 60 MPa.

***Scientific novelty**. New data were obtained regarding the influence patterns of structural parameters of junction nodes between main and end beams of overhead cranes on their load-bearing capacity. Relationships between crack length and fracture toughness parameters were established, enabling prediction of the residual service life of junction nodes.*

***Practical value**. The developed structural methods for enhancing the load-bearing capacity of junction nodes provide sufficient safety margins against high-cycle fatigue and improve the operational safety of overhead cranes.*

***Key words**: overhead cranes, junction nodes, stress state, structural methods for load-bearing capacity enhancement, finite element method, stress intensity factors, fracture toughness.*

References

1. Strelbitskyi, V.V. (2020). Eksperymentalne doslidzhennia vplyvu napratsiuvannia na trishchynostiikist stalei mostovykh kraniv [Experimental Study of the Effect of Service Life on the Fracture Toughness of Bridge Crane Steels]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky, 4 (1), 138–142.

2. Nemchuk, O.O. (2017). Osoblyvosti diahnostuvannia tekhnichnoho stanu stalei portovoho perevantazhuvalnoho obladnannia [Peculiarities of Diagnosing the Technical Condition of Steels Used in Port Handling Equipment]. Fizyko-khimichna mekhanika materialiv, 6 (53), 116–118.

3. Li, Y., Jin, A., Dai, Y., Yang, D., Zheng, B. (2023). Prediction of Remaining Fatigue Life of In-Service Bridge Cranes. Applied Sciences, 13, 12250. https://doi.org/10.3390/app132212250.

4. Przybyłek, G., Więckowski, J. (2022). Method of assessing the technical condition and failure of overhead cranes designed to work in difficult conditions. Case Studies in Construction Materials, 16, e00811. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00811.

5. Hai, T.V., Thu, N.H., Tuan, H.D., Hiu, P.V. (2020). Failure probability analysis of overhead crane bridge girders within uncertain design parameters. Journal of Science and Technology in Civil Engineering, 14(3), 125–135. https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(3)-11.

6. Mei, X., Dong, D. S., Teng, Y. Y. (2012). Bi-Probability Fatigue Life Prediction for Bridge Crane Structures. Advanced Materials Research, 482–484, 736–740.
https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.736.

7. Kumar, S., Singh, R. (2022). Probabilistic assessment of fatigue life in welded steel structures considering joint configurations and operational loads. International Journal of Structural Integrity, 13(4), 567–583. https://doi.org/10.1108/IJSI-07-2022-0057.

8. Zhang, M., Wang, X., Li, Y. (2024). Fatigue Reliability Assessment of Bridges Under Heavy Traffic Loading Scenario. Infrastructures, 9(12), 238. https://doi.org/10.3390/infrastructures9120238.

9. Mozafari, F., Thamburaja, P., Srinivasa, A., Abdullah, S. (2020). Fatigue life prediction under variable amplitude loading using a microplasticity-based constitutive model. International Journal of Fatigue, 134(7), 105477. https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.105477.

10. Volianiuk, V. O., Horbatiuk, Ye. V. (2021). Rozrakhunok mekhanizmiv vantazhopidiimalnykh mashyn [Calculation of Hoisting Machinery Mechanisms]. Kyiv: KNUBA. 164 p.

11. Shved, Y.V. (2019). Strength and Deformability of a Welded Rectangular Truss under Mechanical and Thermal Loads. Ternopil. 177 p. https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00001038/dissertation_shved_y.pdf.

12. Grönlund, K., Ahola, A., Riski, J., Pesonen, T., Lipiäinen, K., Björk, T. (2024). Overload and variable amplitude load effects on the fatigue strength of welded joints. Welding in the World, 68, 411–425. http://dx.doi.org/10.1007/s40194-023-01642-z.

13. Guo, H., Tong, X. (2021). Fatigue Prognosis Analysis on the Cracked Steel Crane Runway Girders Under High Temperature. International Journal of Steel Structures, 21, 1022–1031. https://doi.org/10.1007/s13296-021-00487-w.

14. Wu, B., Brückner-Foit, A., Li, Q., Chen, L., Fu, J., Zhang, C. (2009). A reliability assessment method for structural metallic component with inherent flaws based on finite element analysis and probabilistic fracture mechanics model. International Journal of Fatigue, 31(11–12), 1882–1888. https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2009.02.013.

© Михайло Сидоренко, Віталій Кононов, Євген Кравченко, 2025
DOI 10.15588/1607-6885-2025-2-8