

УДК 621.86.078

Мартовицький Л.М., к.т.н.; Сочава А.І., к.т.н.; Глушко В.І., к.т.н.
Запорізький національний технічний університет

КРИТИЧНИЙ СТАН КРАНОВИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ

***Анотація.** Пропонуються способи діагностування критичних пошкоджень елементів кранових металоконструкцій, а також рекомендується пристрій запобігання аварійному руйнуванню металоконструкцій вантажопідійомних кранів.*

***Аннотация.** Предлагаются способы диагностирования критических поврежденных элементов крановых металлоконструкций, а также рекомендуется устройство предотвращения аварийного разрушения металлоконструкций грузоподъемных кранов.*

***Abstract.** The ways of diagnosing critical damage elements of crane steel structures, as well as the recommended device to prevent accidental destruction of the metal structures of cranes.*

У сучасному виробництві існує прогресуючий дефіцит нових вантажопідійомних кранів, тимчасово подолати який можливо шляхом подовження строків служби експлуатуємих кранів. Безпечна експлуатація вантажопідійомних машин знаходиться у прямому зв'язку від технічного стану їх металоконструкцій. Тривала інтенсивна робота кранів по переміщенню вантажів викликає циклічні напруження в металоконструкціях, які в сукупності із дією навколишнього середовища (високі та низькі температури, вологість, абразивне та агресивне середовище та ін.) знижують працездатність конструкції та призводять до появи та накопиченню втомних пошкоджень, в основному у вигляді тріщин, що нерідко призводить до аварійних руйнувань кранів. Розробка надійних способів та приладів ранньої діагностики пошкоджень та попередження аварійних руйнувань металоконструкцій, особливо таких, що відпрацювали нормативний термін, останнім часом набуває пріоритетної актуальності.

Накопичені напруження разом з експлуатаційними призводять до виникнення тріщин в критичних точках металоконструкцій. Перенапружене місце прагне набути стану з мінімальною потенційною енергією. Надлишок накопиченої енергії деформації металу вивільняється у вигляді роботи тріщиноутворення (диспергування). Тобто, перенапружені ділянки металоконструкцій наче б то «самолікуються». Виникнення тріщин в металі, будучи корисною справою з точки зору зниження загального енергетичного стану

несучих металоконструкцій, призводить до зниження несучої здатності або до повної втрати (руйнування) її такими конструкціями.

При експлуатації впродовж терміну служби важкозавантажених кранів необхідно знати фактичний технічний стан металоконструкції та її елементів (балок, стрижнів). Краще, якщо ця інформація буде надходити безперервно, особливо в заключних фазах експлуатації – «життя» конструкції. Тобто, для того щоб здійснювати постійний моніторинг технічного стану кранових металоконструкцій потрібні практичні та надійні методи контролю технічного стану металоконструкцій, які б сповіщали про настання критичного стану металоконструкцій та попереджали небезпеку аварій при їх подальшій експлуатації, або дозволяли б уникнути аварійного руйнування крана при втомному розриві несучих елементів металоконструкції після повного вичерпання її ресурсу.

Критичним станом кранової металоконструкції у проектно-розрахунковому значенні є втрата нею несучої здатності, перш за все по міцності, жорсткості та стійкості. Критичний стан металоконструкцій важких кранів в більшості визначає їх втомна міцність та витривалість. В експлуатаційному значенні критичним станом металоконструкції будь-якого крана слід вважати наявність в елементах металоконструкцій пошкоджень у вигляді тріщин та виникнення зверхнормативної пружної або пластичної деформації в елементах або у всій металоконструкції, як того вимагають «Правила...» [5].

Розроблено багато різних методів підвищення несучої здатності металоконструкцій кранів та підсилення її елементів, але всі вони не запобігають аварійному руйнуванню конструкцій в критичному стані. В більшості своїй кранові металоконструкції в реальних виробничих умовах експлуатації доводяться до стану із занормативним терміном роботи, що нерідко призводить до руйнування кранів. При цьому відсутні запобіжні заходи, які б могли усунути катастрофу.

Будь-який захід подовження ресурсу роботи крана тісно пов'язаний з раннім та достовірним діагностуванням стану металоконструкції та із заходами, запобігаючими катастрофічним руйнуванням її. Було б добре, якби крани були оснащені надійними засобами безперервного моніторингу технічного стану металоконструкцій та засобами запобігання надкритичному руйнуванню розтягнутих зон. Розробки у вказаному напрямку рекомендуються до уваги фахівців.

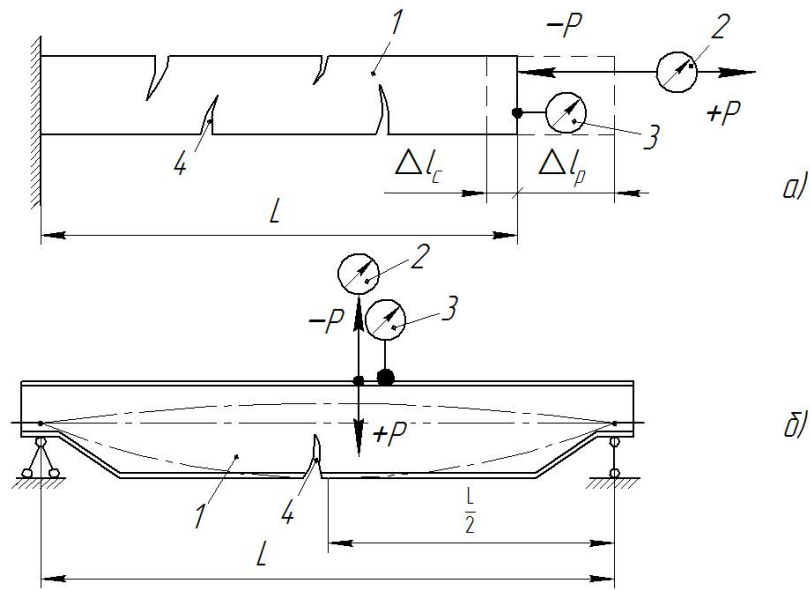
В пропонуємому методі діагностуємий елемент металоконструкції (без його демонтажу та руйнування) навантажують випробувальними або експлуатаційними навантаженнями, що викликають пружний розтяг (стиск) стрижневих (рис.1,а) або пружний згин балочних конструкцій (рис.1,б). При навантаженнях вимірюють

величини навантажень та відповідні деформації елементів [1]. Різниця в жорсткостях при розтягу та стиску (як відношення сили до деформації) свідчить про наявність пошкоджень в елементі. Чим більше ця різниця, тим більше пошкодження (тріщина) та тим сильніший її вплив на несучу здатність елемента. Найбільшу небезпеку створюють пошкодження, які розміщені перпендикулярно до вектору розтягуючих експлуатаційних навантажень. Такі умови характерні для розтягнутих стрижнів фермених конструкцій та нижніх поясів і припоясних зон коробчастих кранових балок. В цьому випадку при стиску елемента тріщини закриваються, та в роботу включається повний перетин елемента. Тріщини, напрям яких співпадає з вектором зовнішнього навантаження, не створюють вирішального впливу на працездатність та живучість елемента.

Статичні випробування на розтяг та стиск зразків без тріщин та з поперечними тріщинами, пошкоджуваними 10% та 30% поперечного перетину зразків, проведені на розривній машині з реєстрацією сили і деформації (рис.2,а). Динамічні випробування зразків з тріщинами проводилися на пульсаторі з поступовим нарощуванням амплітуди пульсуючої сили до моменту повного руйнування зразка по тріщині (рис.2,б). Параметри сили та деформації зразків фіксувались за допомогою осцилографа. Характерна осцилограма представлена на рис.2,б, де видно поступове збільшення різниці амплітуд розтягу та стиску зразка. Амплітуди навантажень зберігають симетрію при розтягу та стиску зразка з пошкодженням. Жорсткості зразка при деформаціях розтягу та стиску можна вирахувати та по їх різниці оцінити рівень пошкоджень.

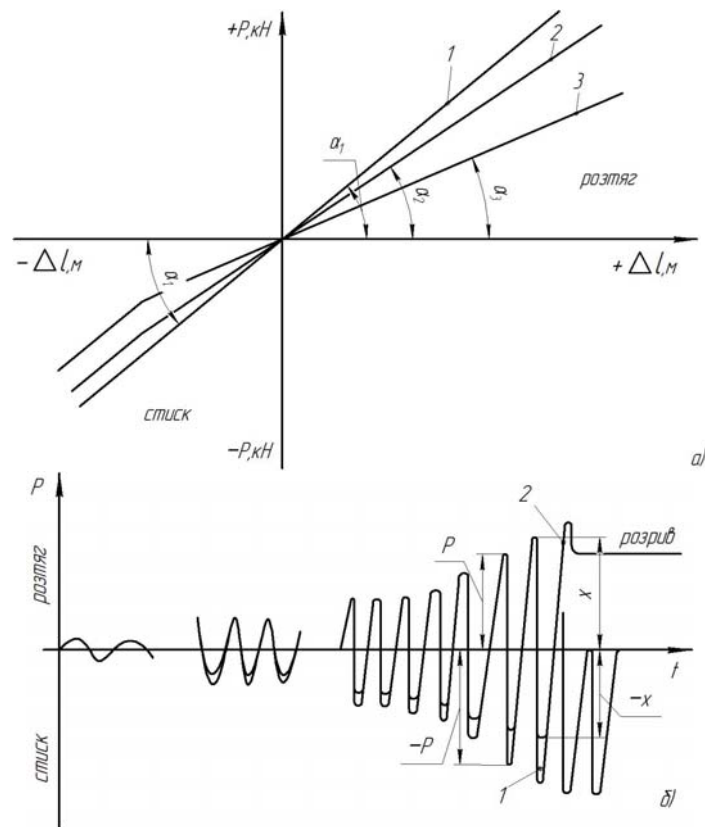
В реальних умовах діагностування металоконструкцій збурення їх коливань можливо здійснювати експлуатаційними нестационарними навантаженнями або за допомогою вібратора. Бажано мати вібратор із змінним вектором сили. Величина несиметричності амплітуд коливань на осцилограмі буде свідчити про рівень пошкоджень конструкції. Точність виміру залежить від точності реєстрації вібрацій металоконструкцій та чутливості вібровимірної апаратури. Динаміка розвитку пошкоджень може бути врахована при послідовному записі та співставленні вібропаспортів конструкції на протязі всього терміну її експлуатації. Запропонована методика дозволить обґрунтовано діагностувати стан металоконструкції та попередити аварійне її руйнування.

Цей метод можливо використовувати для діагностування всієї конструкції, тобто, використовувати як інтегральний метод, так і для діагностування окремих елементів металоконструкції.



а) стрижня ферми; б) прогінної балки

Рисунок 1 – Схеми діагностування елементів металокопструкцій з пошкодженнями



а) при статичному навантаженні; б) при динамічному навантаженні
 Рисунок 2 – Діаграми деформацій елементів металокопструкцій

Пропонується до розгляду фахівців датчик залишкового ресурсу елементів металоконструкції (рис.3).

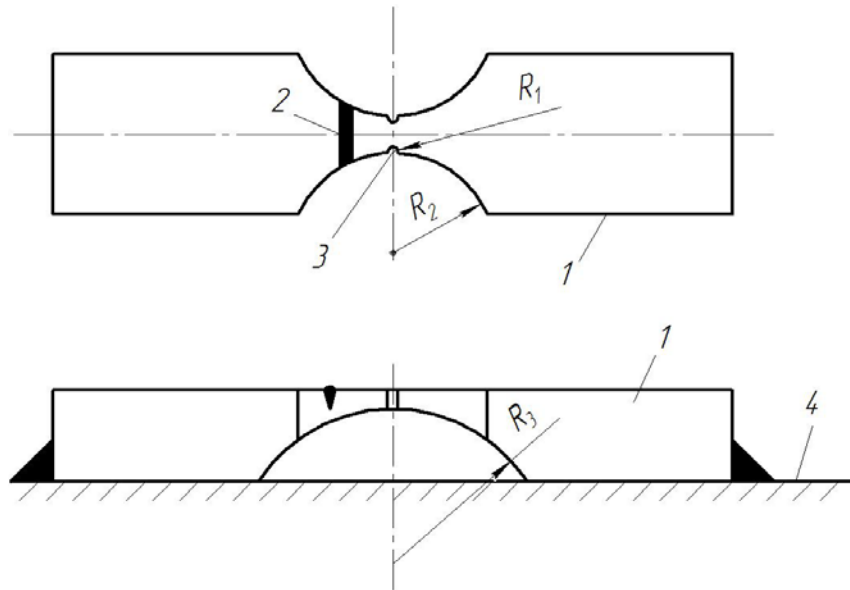
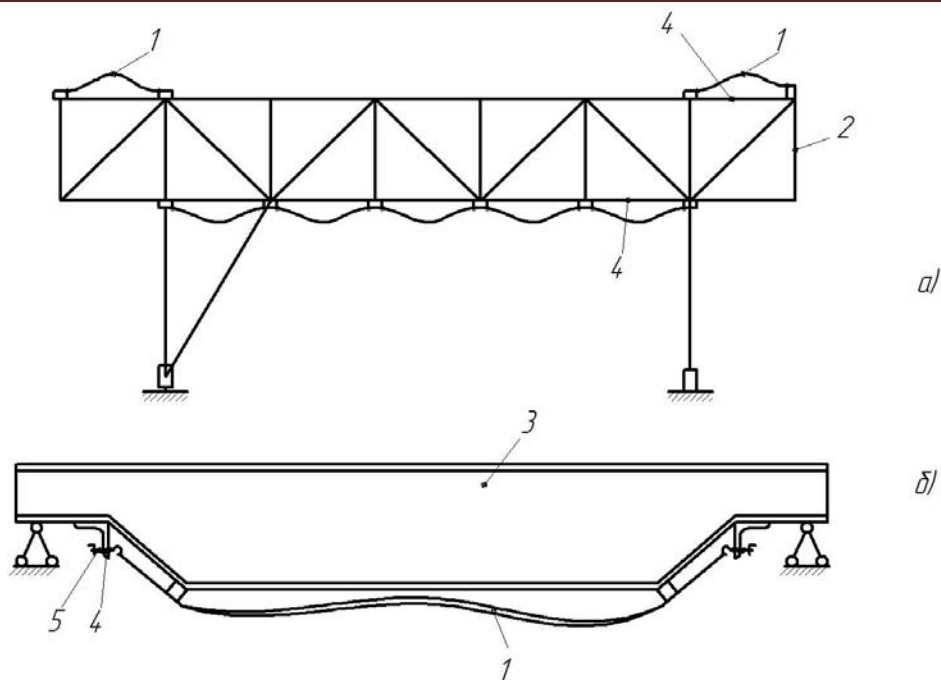


Рисунок 3 – Датчик для визначення залишкового ресурсу зварної металоконструкції

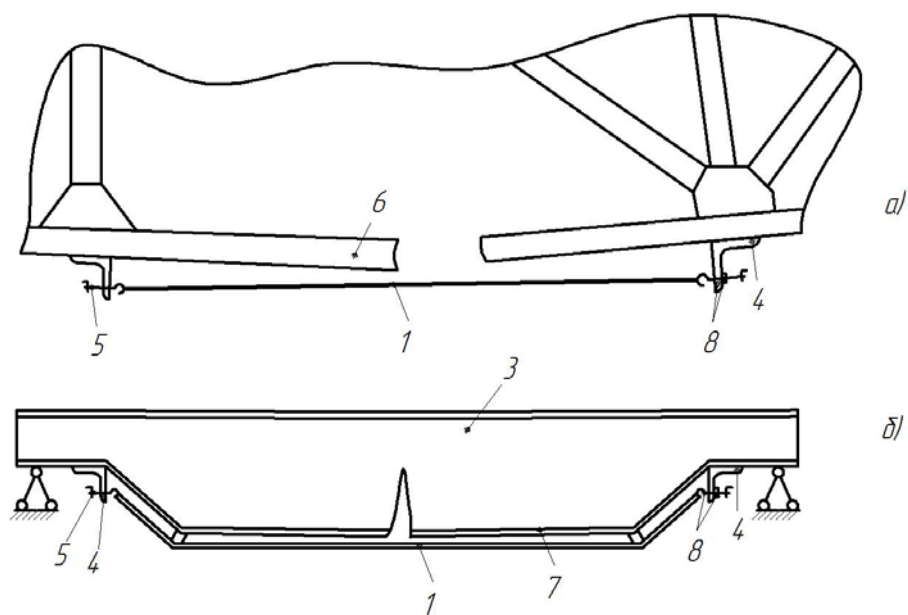
Датчик відноситься до техніки діагностування пошкоджень та визначення залишкового ресурсу зварних металоконструкцій. Мета розробки – підвищення точності шляхом врахування концентрації напружень зварного шва. На поверхню металоконструкції 4 (рис.3) на відстані від зварного з'єднання в зоні найменшої втомної міцності приварюють датчик 1 пошкоджень так, щоб не знижувати довговічність з'єднання. Датчик 1 сприймає той же спектр навантажень, що і зварне з'єднання. В датчику виконують зварний шов 2 та концентратори напружень 3, забезпечуючи його довговічність рівною або меншою ніж довговічність зварного з'єднання металоконструкції.

При експлуатації конструкції реєструють момент руйнування датчика, по якому судять про залишковий ресурс зварної конструкції.

Зважаючи на те, що важкі крани у більшості своїй експлуатують до повного вичерпання ресурсу металоконструкції, пристрої, які запобігають руйнуванню металоконструкцій, набувають особливої важливості.



а) стрижневих металоконструкцій; б) балочних металоконструкцій
Рисунок 4 – Пристрій запобігання аварійним руйнуванням



а) розтягнутого стрижня; б) нижнього поясу кранової балки
Рисунок 5 – Робота запобіжного пристрою при руйнуванні

Пристрій для запобігання аварійному руйнуванню металоконструкцій вантажопідйомних кранів включає сталі канати l , що встановлені вздовж розтягнутих елементів стрижневої

металоконструкції 2 (рис.4,а) або розтягнутого нижнього поясу балки 3 (рис.4,б) за допомогою кронштейнів 4, які розміщуються у вузлах конструкції. Канати 1 встановлені з напуском, величина якого дорівнює величині пружної деформації елемента металоконструкції, та може бути відрегульованою пристроєм 5. При розриві розтягнутого стрижня 6 (рис.5,а) або розтягнутого нижнього поясу 7 (рис.5,б) канат 1 бере несучі функції розірваних елементів на себе, блокуючи приводи крана та сигналізуючи кранівнику про пошкодження за допомогою датчика 8.

Встановлення гнучких сталевих канатів в якості запобіжних елементів з напуском та поруч з розтягнутими елементами металоконструкції дозволяє експлуатувати її без порушення умов роботи навіть до руйнування розтягнутого елемента, але без аварії, так як несучі функції розірваного елемента бере на себе канат.

Вступ в роботу запобіжного каната відбувається поступово та забезпечується розрахунковим напуском, рівним пружній деформації елемента металоконструкції, та встановлюється, наприклад, регульованим пристроєм з можливістю створення натягу, що зручно і важливо при відновленні несучого елемента за допомогою його ремонту.

Встановлення канатів з напуском дозволяє досягнути того, що канати разом з металоконструкцією не працюють, тобто не втомлюються, а включаються тільки при руйнуванні елемента, що забезпечує тривалу надійну експлуатацію пристрою. Встановлювати запобіжні канати рекомендується після вичерпання металоконструкцією нормативного терміну служби.

Пристрій працює наступним чином. При нормальній експлуатації металоконструкції сталевий канат 1, встановлений вздовж розтягнутих елементів 2, 3, за допомогою будь-яких пристроїв, наприклад, кронштейнів 4, має напуск, величина якого рівна пружній деформації елемента металоконструкції. Величину напуску можна відрегулювати за допомогою пристрою 5. Сталевий канат за рахунок напуску звільнений від експлуатаційних деформацій, які витримують елементи металоконструкції під час нормальної роботи. Наявність канатів не змінює розрахункових умов експлуатації конструкції. При втомному розриві розтягнутих стрижнів 6 ферми 2 або нижнього поясу 7 балки 3 видовження елемента конструкції, яке перевищує величину пружної деформації цілого елемента, вибирає напуск каната 1 та поступово вводить його в роботу. При цьому несучі функції розірваних елементів передаються запобіжним канатам. Металоконструкція зберігає цілісність та її частини аварійно не падають на землю. Пристрій 8 за рахунок натягу запобіжних канатів може вимкнути та заблокувати приводи крана, при цьому в кабіні кранівника увімкнеться сигнал про руйнування. За рахунок натяжного пристрою 5 можна

стягнути конструкцію, відновивши її попередню геометрію. Після ремонту пошкодження, якщо це можливо, знову встановлюється заданий напуск каната. Металоконструкцію можна далі експлуатувати без ризику аварії.

Запропонований пристрій раціонально використовувати для запобігання аварійним руйнуванням різних металоконструкцій, що мають велику власну вагу та вартість, аварійні руйнування яких можуть призвести до людських жертв (вантажопідйомних кранів, мостів і ін.).

Висновки. Надійна та безаварійна робота металоконструкцій важких кранів, навіть в критичному стані, забезпечується комплексно за рахунок постійного моніторингу кількості та рівня пошкоджень розтягнутих зон елементів та запобігання їх аварійному руйнуванню.

ЛІТЕРАТУРА

1. Способ определения повреждений в элементах металлоконструкций. Л.М. Мартовицкий, А.И. Сочава, Ю.П. Кичаев, Л.В. Гальченко. А.с. SU 1562751 A1, 1990 г.
2. Способ определения остаточного ресурса сварной металлоконструкции. Ю.П. Кичаев, А.Б. Ройтман, Л.М. Мартовицкий, А.А. Лебедев. А.с. SU № 14606667 A1, 1989 г.
3. Л.М. Мартовицкий, С.Л. Рягин, М.В. Сидоренко. Оценка параметров повреждений металлоконструкций с использованием линий влияния перемещений. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. № 1, 1998, с. 31-33.
4. Пристрій для запобігання аварійному руйнуванню металоконструкцій вантажопідйомних кранів. Мартовицький Л.М., Токарев В.П., Мінаков В.М., Гальченко Л.В. Патент UA 12717 C1 кл. E 04 G23/02, 1997.
5. Правила будови та безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів / ДНАОП 0.00-1.03-02/ Харків: «Форт», 2002.