

УДК 536.6+624.014.2

doi:10.31650/2707-3068-2023-27-84-93

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОГРАФІЧНОЇ ДЕФЕКТОСКОПІЇ ДЛЯ СТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ЇХ РЕАЛЬНОГО СТАНУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Клименко Є.В., д.т.н., професор

klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4502-8504

Попаденко А.О., магістр,

popadenko@donnaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5615-7117

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Колесніченко С.В., д.т.н., доцент

svk.mk15@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5087-8354

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Анотація. У статті наведені результати дослідження особливостей застосування термографічної дефектоскопії для сталевих будівельних конструкцій з урахуванням їх реального стану в умовах експлуатації. Завданням дослідження є підвищити ефективність використання методу активної термографії для обстеження експлуатованих сталевих конструкцій з урахуванням їх реального стану в умовах експлуатації. Суттєвою проблемою при термографічній дефектоскопії сталевих конструкцій є властивість металів віддзеркалювати інфрачервоне випромінювання. Разом з вищезазначеними аспектами, також дуже важливу роль має і спосіб термічного збудження (нагрівання) обстежуваної ділянки конструкції. Автори роблять висновки про те, що термографічна дефектоскопія повинна здійснюватися в контексті з усіма факторами, які можуть впливати на точність та ефективність роботи відповідного обладнання.

Ключові слова: сталеві конструкції, тріщина, термографія, інфрачервона камера, неруйнівний контроль, інфрачервона емісія, тепловий градієнт.

Вступ. Важливість дотримання безпеки експлуатації будівельних конструкцій включає в себе багато аспектів. По-перше, це може стати чинником аварії, яка може вимагати значних витрат на ремонт і відновлення сталевих конструкцій, а також на лікування постраждалих працівників. По-друге, це може призвести до значних збитків у виробничому процесі, оскільки зниження продуктивності і збільшення часу простою обладнання можуть призвести до втрати прибутку. Крім того, недотримання правил безпеки може відбитися на репутації компанії, що може мати наслідки для її діяльності та розвитку.

ДСТУ Б В.2.6-210:2016 "Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються" [1] є державним стандартом, який регулює вимоги до оцінки технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. Стандарт визначає вимоги до проведення оцінки технічного стану сталевих конструкцій з використанням неруйнівних методів, зокрема дефектоскопії. Основною метою проведення дефектоскопії є виявлення візуально непомітних дефектів та пошук ризикових зон на поверхні конструкції, які можуть спричинити загрозу безпеці людей або привести до непередбачуваної руйнівної поведінки конструкції.

Для проведення оцінки технічного стану сталевих конструкцій стандарт [1] рекомендує використовувати різноманітні методи дефектоскопії, такі як візуальний огляд, магнітно-порошкова дефектоскопія, термографічна дефектоскопія, ультразвукова дефектоскопія, радіографія, електромагнітна дефектоскопія та інші.

Термографічна дефектоскопія є одним із перспективних методів неруйнівної дефектоскопії сталевих конструкцій. Вона полягає в замірі температури поверхні конструкції за допомогою інфрачервоних камер та виявленні аномалій температури, що можуть вказувати на наявність дефектів. Перевагами термографічної дефектоскопії перед іншими методами є можливість виявлення дефектів у важкодоступних місцях, відсутність контакту з

поверхнею конструкції, що дозволяє уникнути пошкоджень або забруднень на поверхні, та можливість проведення досліджень в режимі реального часу.

Аналіз досліджень і публікацій. За останні десятиліття була проведена значна кількість досліджень з використання термографії для неруйнівної дефектоскопії будівельних конструкцій. Зокрема Петра Багавац, Ловре Крстулович-Опара та Желько Домазет досліджували застосування термографії з використанням швидкісної трансформації Фур'є (FFT) для дефектоскопії сталевих конструкцій [2]. Вони описали методику отримання термографічних зображень та виконання FFT для визначення місць дефектів у сталевих конструкціях. Дослідження проводилися на зразках з різними типами дефектів: корозією, тріщинами та зварними швами. Автори досліджень показали, що методика, що базується на FFT, дозволяє з високою точністю визначати місця дефектів у сталевих конструкціях.

Л. Олівейра, А. Медейрос [3] опублікували статтю, в якій розглядають можливість використання інфрачервоної термографії для виявлення сталевих арматурних стержнів в залізобетонних конструкціях. За допомогою інфрачервоної термографії, автори змогли виявити всі наявні сталеві стержні на поверхні залізобетонної плити, а також розрізнити їхні типи та розташування. Автори зазначають, що інфрачервона термографія може бути корисна для виявлення різних дефектів в залізобетонних конструкціях, таких як тріщини та що вона може бути використана як додатковий метод для визначення стану залізобетонних конструкцій. У цілому, стаття підтверджує можливість використання інфрачервоної термографії для неруйнівного виявлення сталевих арматурних стержнів в залізобетонних конструкціях, а також її потенціал для виявлення дефектів та визначення стану залізобетонних конструкцій.

Гжегож Псуї та Барбара Шиманік провели дослідження застосування методів неруйнівної дефектоскопії, зокрема електромагнітної та інфрачервоної термографії, для моніторингу втомної деградації сталевих конструкцій [4]. Вони розглядали застосування цих методів для виявлення пошкоджень, що виникають внаслідок втоми матеріалу, зокрема тріщин, на поверхні сталевих елементів будівель. У статті розглянуто теоретичний аспект методів та їх застосування для визначення кількості циклів навантаження до появи тріщин. Результати досліджень показали, що комбінація електромагнітної та інфрачервоної термографії є ефективним інструментом для виявлення початкових стадій втомної деградації сталевих конструкцій. Особлива увага в статті приділена порівнянню результатів, отриманих за допомогою різних методів, та їх можливостей для прогнозування та контролю за станом сталевих конструкцій.

Також японські вчені Йошіакі Нішіна, Юічі Йошінага та Дайсуке Іманіші присвятили статтю розробці технології дистанційної інспекції втомних тріщин в сталевих конструкціях за допомогою інфрачервоної термографії [5]. У статті описано дослідження, що проводилися на зразках сталевих пластин, на яких штучно створювалися втомні тріщини. Було досліджено залежність температурних полів від глибини тріщини та від того, чи знаходиться тріщина на поверхні зразка або в середині. Було розроблено алгоритм обробки даних термографічних зображень, який дозволяє точно визначити місце розташування втомної тріщини та її глибину. Автори стверджують, що запропонована технологія може бути використана для дистанційної інспекції втомних тріщин в сталевих конструкціях на реальних об'єктах.

Постановка завдання. Неруйнівний термографічний контроль - це метод контролю технічного стану сталевих конструкцій, який використовує інфрачервону термографію для виявлення дефектів та пошкоджень в матеріалі конструкцій. Термографічний контроль заснований на вимірюванні теплового випромінювання, яке випромінюється з поверхні об'єкта. Кожен об'єкт має тепловий слід, який можна знімати за допомогою теплової камери.

За допомогою цього методу можна виявити зміни температури на поверхні матеріалу, які можуть свідчити про наявність дефектів, таких як тріщини, руйнування, корозія, нерівномірність товщини тощо. Термографія базується на тому, що різні матеріали мають різну теплопровідність, тому зміни температури на їх поверхні можуть вказувати на присутність дефектів.

Умовно розрізняють пасивний тепловий неруйнівний контроль (ПТНК), активний (АТНК) та комбіновані способи термографічного контролю [6].

В сталевих виробах, що перебувають під дією зовнішнього навантаження, деформація спричиняє зміну температури, яка може бути виявлена за допомогою пасивного теплового неруйнівного контролю. Також, дефекти в сталі, такі як тріщини, корозійні пошкодження, місця зварювання та інші, також можуть змінювати тепловий слід під час дії динамічних навантажень, що робить пасивний термографічний контроль корисним інструментом для виявлення дефектів у сталевих конструкціях. Пасивний термографічний контроль може допомогти виявити термічні аномалії, які свідчать про наявність дефектів у сталевих конструкціях, що забезпечує можливість їхнього вчасного виявлення та запобігання подальшому руйнуванню. Дефектоскопія сталевих конструкцій методом активної термографії полягає в застосуванні термічного навантаження (нагрівання об'єкта дослідження) для виявлення дефектів та аномалій в структурі. Цей метод базується на виявленні теплових змін, що виникають під час переходу структури від одного термічного режиму до іншого. В ході процедури теплове зображення об'єкта знімається за допомогою інфрачервоної камери, після чого виконується обробка зображення та аналіз отриманих даних для виявлення потенційних дефектів та пошкоджень.

Під час попередніх досліджень було встановлено що використання активного теплового неруйнівного контролю для оцінки технічного стану експлуатованих сталевих будівельних конструкцій є можливим та доцільним як самостійно так і в комплексі з іншими методами неруйнівного контролю технічного стану сталевих конструкцій [7].

Завданням дослідження є підвищити ефективність використання методу активної термографії для обстеження експлуатованих сталевих конструкцій з урахуванням їх реального стану в умовах експлуатації. Визначити оптимальну методику та регламент проведення обстеження за допомогою даного методу. Ідентифікувати можливі труднощі, що виникатимуть при застосуванні цього методу, та розробити рекомендації з подолання виявлених проблем. Результати цієї роботи можуть бути корисними для практичного застосування методів термографічного неруйнівного контролю в будівельній галузі.

Основний матеріал. Активна термографія з використанням нагрівання та охолодження сталевих виробів базується на фізичній принципі дифузії тепла. При підігріванні поверхні сталевого виробу відбувається поглинання тепла, яке потім поширюється вздовж матеріалу. Це призводить до зміни температури на поверхні та глибині виробу (рис. 1, а). Якщо на поверхні або в товщі виробу є дефект або пошкодження, то поширення тепла може бути відмінним від однорідних ділянок, що призводить до зміни температури в цих областях (рис. 1, б).

Далі, після підігрівання поверхні, її охолоджують і фіксують зображення теплового поля в реальному часі. Якщо на поверхні або в товщі конструкції є дефект або пошкодження, то в цій області швидкість охолодження буде відрізнятися від інших ділянок, що призведе до зміни температурного профілю.

Отримання даних з активної термографії з використанням нагрівання та охолодження вимагає досить складних процесів обробки і аналізу зображень температурних полів. Вони можуть бути оброблені за допомогою різних математичних методів, таких як Фур'є-аналіз, методи головних компонент, кластерний аналіз та інші, щоб отримати інформацію про розподіл температур та виявити можливі дефекти або пошкодження в сталевому виробі.

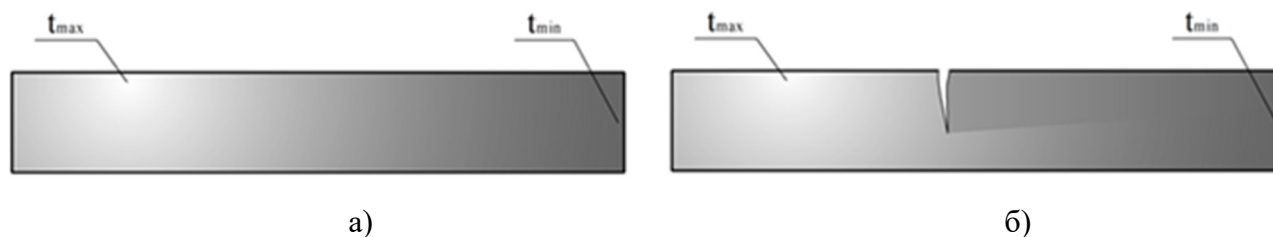


Рис. 1. Умовна діаграма розповсюдження тепла в товщі металу при нагріванні ділянки поверхні сталевій конструкції а) ділянка без дефектів та пошкоджень, б) ділянка з пошкодженням у вигляді тріщини в товщі металу

Розповсюдження тепла в товщі сталевій конструкції залежить від кількох факторів, таких як товщина конструкції, властивості матеріалу, температура навколишнього середовища та умови обробки поверхні. Загалом, тепло передається від області з вищою температурою до області з меншою температурою. Тепло поширюється в сталевій конструкції від точки з більш високою температурою до точки з меншою температурою, згідно з законом Фур'є. Коли в конструкції з'являється дефект або пошкодження, таке як тріщина, процес розповсюдження тепла може змінитися. Теплопровідність матеріалу в області тріщини може бути меншою, ніж в інших областях конструкції, через що тепло буде розповсюджуватися інакше.

Для кожної області, де відбувається теплопередача, існує відповідне диференціальне рівняння теплопередачі. Розуміння динаміки розповсюдження тепла в сталевих будівельних конструкціях дозволяє визначити розміри дефектів та оцінити їх серйозність. Термографія дозволяє визначити температурний розподіл на поверхні ділянки сталевій конструкції, так званий тепловий градієнт (рис. 2, а). Цей розподіл температур є результатом розповсюдження тепла в товщі металу. У сталевій конструкції з тріщиною тепло буде розповсюджуватись по-іншому, ніж у конструкції без дефектів. Теплові картини, отримані під час термографії, можуть вказувати на наявність тріщин або інших дефектів, так як вони можуть знижувати теплопровідність матеріалу і тим самим викликати різницю в температурі між дефектом та навколишнім матеріалом і на тепловому градієнті такої ділянки буде помітна "ступінчастість" (рис. 2, б).

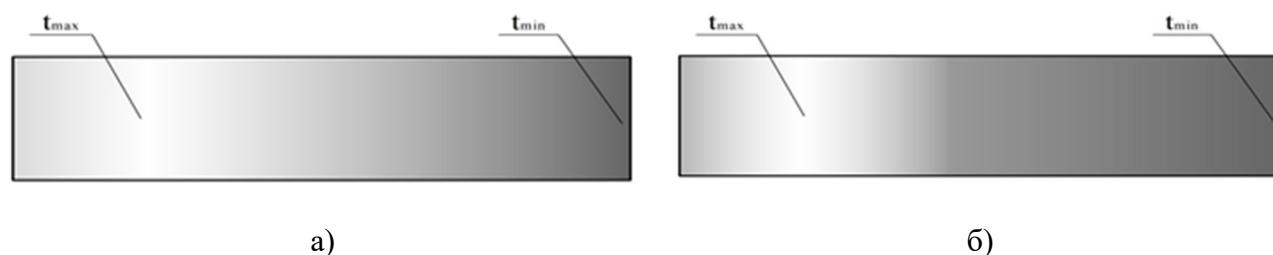


Рис. 2. Умовний тепловий градієнт на поверхні ділянки сталевій конструкції а) ділянка без дефектів та пошкоджень, б) ділянка з пошкодженням у вигляді тріщини в товщі металу

Фактори які впливають на точність результатів обстеження отриманих за допомогою використання методики активної термографії, а отже й ті що впливають на достовірність обстеження технічного стану будівельної конструкції в цілому можна розділити на 2 основні групи: внутрішні та зовнішні.

Внутрішні фактори впливу на точність зумовлені властивостями матеріалу будівельної конструкції, її формою, станом поверхні і захисного покриття. Зовнішні фактори зумовлені оточуючими умовами (як кліматичними так і техногенними) на місці проведення робіт з термографічної дефектоскопії, особливостями роботи термографічного обладнання, необхідна відповідна кваліфікація персоналу бо проведення активної термографії вимагає від

спеціалістів високої кваліфікації та досвіду, адже інтерпретація результатів може бути досить складною і вимагає глибоких знань фізики теплопередачі.

Відомою проблемою при термографічній дефектоскопії сталевих конструкцій є властивість металів віддзеркалювати інфрачервоне випромінювання. Це призводить до того, що метали можуть відбивати до 95% інфрачервоного випромінювання, яке надходить на їх поверхню. Коефіцієнт інфрачервоного випромінювання (або коефіцієнт емісії) матеріалу відображає його здатність випромінювати енергію в інфрачервоному діапазоні, порівняно з чорним тілом, яке випромінює всю отриману енергію. Коефіцієнт емісії знаходиться в діапазоні від 0 до 1, де 0 вказує на повну відсутність випромінювання, а 1 - на максимальне випромінювання, як у чорного тіла. Діапазон коефіцієнтів інфрачервоної емісії для різних видів сталевих конструкцій зазвичай коливається в межах від 0,4 до 0,9 в залежності від типу та стану поверхні сталі. Однак, можуть бути випадки, коли коефіцієнти інфрачервоної емісії сталевих конструкцій можуть відрізнятися від зазначеного діапазону, залежно від складу сплаву, обробки та інших факторів. Ця властивість металів може викликати виникнення віддзеркалень високотемпературних (рис. 3, а) та навіть низькотемпературних (рис 3, б) (в залежності від встановленого теплового режиму) об'єктів що потрапили до поля зору інфрачервоної камери і, як наслідок, виникнення “фальшивих” дефектів на зображеннях, що отримані за допомогою таких камер.



Рис. 3. Віддзеркалені інфрачервоні зображення а) лампа розжарювання, б) оператор та інфрачервона камера

Боротися із явищем відбитого інфрачервоного випромінювання при проведенні термографічної дефектоскопії сталевих конструкцій можна декількома шляхами, оптимальний метод обирається виходячи з геометричних параметрів конструкції, її матеріалу та стану поверхні. Найпоширенішим є метод нанесення на проблемні ділянки сталевих конструкцій спеціального термостійкого покриття, що матиме високий коефіцієнт інфрачервоної емісії, наприклад термостійких емалей, до складу яких входить двоокис титану або оксид хрому. Такі емалі у вигляді аерозолів дозволяють швидко нанести на конструкцію шар покриття що буде мати тісний контакт з поверхнею металу та мати коефіцієнт інфрачервоної емісії на рівні 0,95-0,97. До недоліків такого метода можна віднести необхідність використання засобів індивідуального захисту при нанесенні таких покриттів, необхідність просихання покриття після нанесення (близько 15-20 хвилин), вогнебезпечність таких покриттів під час нанесення та висихання а також неможливість використання таких покриттів в деяких випадках.

Іншим дієвим методом уникнути інфрачервоних відображень на поверхні сталевих конструкцій та зменшити вплив зовнішнього середовища під час термографічної дефектоскопії є використання спеціальної захисної бленди для інфрачервоної камери. Бленда для інфрачервоної камери - це спеціальний адаптер, що використовується для зменшення впливу факторів зовнішнього середовища на якість отриманих зображень. Основна функція бленди полягає в зменшенні паразитного випромінювання з навколишнього середовища, що може впливати на якість зображення. Бленда складається з двох частин: адаптера що

кріпиться безпосередньо до інфрачервоної камери та трубчатого пристосування прикріпленого до адаптера. Принцип дії бленди полягає в тому, що вона обмежує поле зору інфрачервоної камери, що дещо зменшує площу ділянки конструкції яку можна обстежити за один кадр, але цей недолік нівелюється тим що така бленда при правильному використанні дозволяє майже повністю позбутися впливу зовнішніх чинників на процес отримання термічних зображень. Ефективність використання бленди для інфрачервоної камери знижується коли оптична вісь об'єктива камери не розташована перпендикулярно до поверхні обстежуваної конструкції. Чим більше відхилення оптичної осі інфрачервоної камери від кута 90° тим менша буде ефективність застосування бленди, оскільки подібно до видимого світла кут відбивання інфрачервоного випромінювання дорівнює куту під яким це випромінювання падає на поверхню, таким чином при дотриманні перпендикулярності завдяки бленді зовнішнє “паразитне” випромінювання не буде попадати в поле зору камери і не створить відблисків. Під час проведення теоретичних та експериментальних досліджень було розроблено конструкцію системи для неруйнівного контролю технічного стану металевих конструкцій методом активної термографії [8] (рис. 4) яка включає інфрачервону камеру, пристрій для встановлення ІЧ камери, теплопоглинаючу бленду, рівень, гнучку стойку, лазерний вказівник, плоский дзеркальний рефлектор, уловлювач віддзеркаленого лазерного випромінювання та постійні магніти кріплення гнучкої стойки та плоского дзеркального рефлектора, які встановлюються на обстежувану металеву конструкцію. Розроблена конструкція дефектоскопу дозволяє дотримуватися перпендикулярності оптичної осі інфрачервоної камери по відношенню до обстежуваної конструкції а також витримувати оптимальну відстань від обстежуваної конструкції до об'єктива приладу.

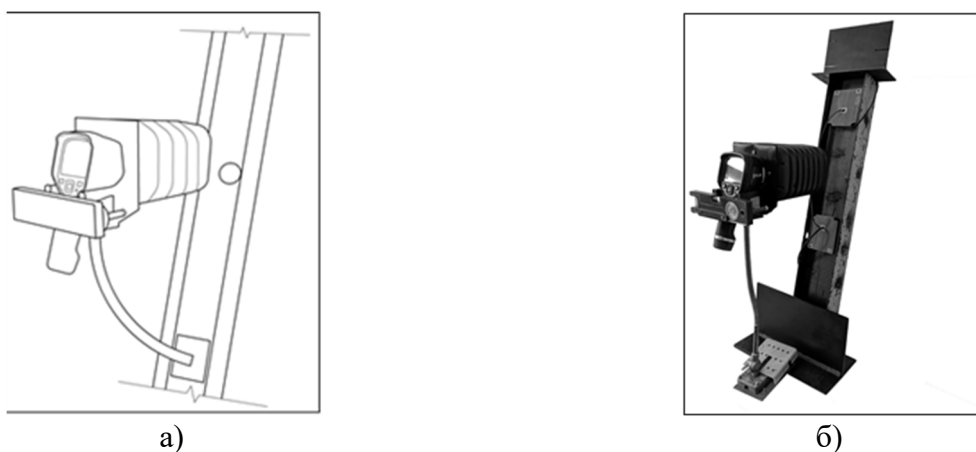


Рис. 4. Дефектоскоп інфрачервоний мобільний а) ескіз, б) фото прототипу

Разом з вищезазначеними аспектами, також дуже важливу роль має і спосіб термічного збудження (нагрівання) обстежуваної ділянки конструкції. Під час проведення експериментальних досліджень було застосовано декілька видів нагрівання досліджуваної ділянки, а саме: нагрівання електричною дугою, нагрівання потоком повітря, контактний нагрів, нагрів інфрачервоним випромінюванням. При нагріві від електричної дуги теплова пляма на поверхні ділянки досліджуваної конструкції була мала а тепловий градієнт (рис. 5) був дуже контрастним що не давало змогу чітко виділяти дефекти на термограмах

При нагріванні обстежуваної конструкції за допомогою струменя гарячого повітря важливу роль грає стан поверхні досліджуваної конструкції. Оскільки при використанні такого виду нагрівання виникає потік гарячого повітря що рухається вздовж поверхні конструкції всі виступаючі елементи рельєфу поверхні починають нагріватися більше оскільки вони чинять опір потоку повітря що рухається вздовж них в таких місцях відбувається локальне зниження швидкості потоку і виникають зони перегріву які можливо сприйняти за дефекти або пошкодження (рис. 6). Контактний нагрів сталевих будівельних конструкцій з урахуванням їх реального стану в умовах експлуатації потребує значних

зусиль при підготовці поверхні, оскільки для реалізації переваг цього метода потрібен щільний контакт поверхні нагрівача безпосередньо з металом обстежуваної конструкції. За підсумками експериментальних досліджень були зроблені висновки про те що вищезазначений метод нагріву мало підходить для термографічної дефектоскопії експлуатованих сталевих будівельних конструкцій.

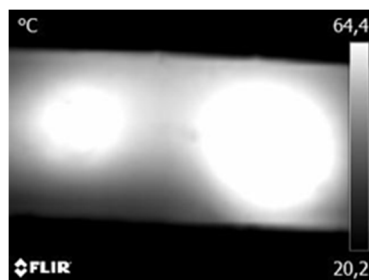


Рис. 5. Термограма зразку сталевій будівельній конструкції після нагрівання її за допомогою електричної дуги



Рис. 6. Термограма зони локального перегріву викликаного карманом що утворився через відшарування шару фарби від поверхні сталевій конструкції

Найоптимальнішим виявився метод інфрачервоний нагріву досліджуваної ділянки сталевій конструкції за допомогою керамічних інфрачервоних нагрівачів, які закріплюються на малій відстані (1-2 см) від поверхні конструкції за допомогою постійних магнітів.

Використання такої системи нагріву дозволяє точно локалізувати місце нагріву і контролювати розмір теплової плями на поверхні досліджуваної конструкції за допомогою зміни розміру та потужності керамічних нагрівачів. Поєднання оптимального розміру теплової плями та контрасту теплового градієнту що виникають внаслідок нагрівання за допомогою керамічних нагрівачів дозволяє виявити більшість дефектів та пошкоджень що притаманні для експлуатованих сталевих будівельних конструкцій. Під час досліджень було розроблено конструкцію мобільного інфрачервоного нагрівача [9] (Рис. 7), який включає керамічний плоский інфрачервоний випромінювач, каркас з кришкою та ручками для встановлення інфрачервоного нагрівача, виносний датчик електронного терморегулятора, постійні магніти, що закріплені на каркасі і виносному датчику і дозволяють кріпити нагрівач до обстежуваної металевої конструкції.

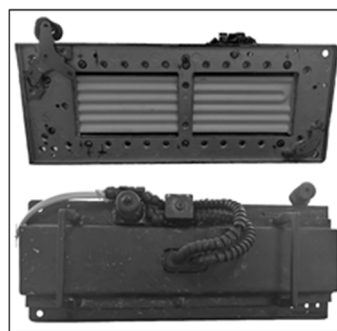
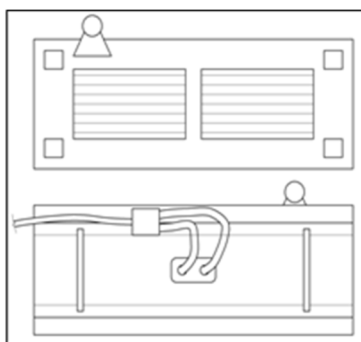


Рис. 7. Мобільний інфрачервоний нагрівач а) ескіз, б) фото прототипу

Висновки. Активна термографія є потужним інструментом для дефектоскопії сталевих будівельних конструкцій, який дозволяє виявляти невидимі дефекти: тріщини, корозійні пошкодження та інші аномалії, які можуть призвести до небезпеки руйнування сталевих будівельних конструкцій.

Найбільш значним аспектом що може впливати на якість термографічної дефектоскопії є характеристика інфрачервоної емісії досліджуваної ділянки конструкції. Покращити ситуацію може нанесення спеціального термостійкого теплопоглинаючого покриття, яке може значно підвищити показник інфрачервоної емісії. Також вирішити проблему низької інфрачервоної емісії та інфрачервоних віддзеркалень може застосування інфрачервоної бленди. Для полегшення використання бленди була розроблена спеціальна установка.

Іншою, не менш важливою частиною роботи, з термографічної дефектоскопії є вибір методу та місця нагріву конструкції. На основі проведених досліджень було встановлено, що оптимальним був метод інфрачервоного нагріву. Для підвищення ефективності нагріву було розроблено мобільні інфрачервоні нагрівачі які допомогли точно локалізувати місце нагріву та обрати оптимальні режими нагріву.

Наразі ведеться розробка та підготовка до патентування інфрачервоного екрану який дасть змогу при його розміщені на поверхні сталевій конструкції підвищити її інфрачервону емісію без використання спеціальних теплопоглинаючих покриттів. Подальші дослідження також планується проводити в напрямку покращення програмного забезпечення що використовується для обробки результатів отриманих під час термографічних досліджень експлуатованих сталевих будівельних конструкцій а також автоматизації пошуку дефектів та пошкоджень на термограмах.

Література

1. ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються», Мінрегіон України, Київ 2016.
2. Petra Bagavac, Lovre Krstulović-Opara, Željko Domazet, “Infrared Thermography of Steel Structure by FFT”, Materials Today: Proceedings Volume 12, Part 2, 2019, Pages 298-303, DOI: 10.1016/j.matpr.2019.03.127.
3. Oliveira, L.C., Medeiros, A., Mazer, W., Matoski, A., Rachadel, A. C., “The infrared thermography potential for steel detection in reinforced concrete structures”, 9th International Conference on Concrete Under Severe Conditions-environment & Loading, Unisinos University, Porto Alegre/RS – Brazil – June, 2019.
4. Grzegorz Psuj, Barbara Szymanik, “Fatigue Monitoring of Steel Structures using Electromagnetic and Infrared Thermography Inspection Methods”, XVIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET’15, Kołobrzeg, Poland June 7th–10th, 2015.
5. Yoshiaki Nishina, Youichi Yoshinaga, Daisuke Imanishi, Development of remote inspection technology of fatigue cracks in steel structures using infrared-thermography, The Proceedings of Mechanical Engineering Congress Japan, September 2011, DOI: 10.1299/jsmemecj.2011._G030012-1.
6. European Standart EN 16714-1 Non-destructive testing – Thermographic testing – Part 1: General principles.
7. Kolesnichenko Sergiy, Popadenko Andrii, Selyutyn Yurii, “Detection of Dangerous Defects and Damages of Steel Building Structures by Active Thermography”, Materials Science Forum – Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 2021, Vol. 1038 -539c. – С. 417-423.
8. С.В. Колесніченко, А. О. Попаденко, Система для одностороннього неруйнівного контролю технічного стану металевих конструкцій методом активної термографії, патент на винахід № 125273, зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.02.2022.
9. С.В. Колесніченко, А. О. Попаденко, Нагрівач інфрачервоний мобільний, патент на винахід №126314, зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 14.09.2022.

References

1. DSTU B.2.6-210:2016 "Assessment of the technical condition of steel structures in service", Ministry of Regional Development of Ukraine, Kyiv 2016.
2. Petra Bagavac, Lovre Krstulović-Opara, Željko Domazet, "Infrared Thermography of Steel Structure by FFT", *Materials Today: Proceedings Volume 12, Part 2*, 2019, Pages 298-303, DOI: 10.1016/j.matpr.2019.03.127.
3. Oliveira, L.C., Medeiros, A., Mazer, W., Matoski, A., Rachadel, A. C., "The infrared thermography potential for steel detection in reinforced concrete structures", 9th International Conference on Concrete Under Severe Conditions-environment & Loading, Unisinos University, Porto Alegre/RS – Brazil – June, 2019.
4. Grzegorz Psuj, Barbara Szymanik, "Fatigue Monitoring of Steel Structures using Electromagnetic and Infrared Thermography Inspection Methods", XVIII International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET'15, Kołobrzeg, Poland June 7th–10th, 2015.
5. Yoshiaki Nishina, Youichi Yoshinaga, Daisuke Imanishi, Development of remote inspection technology of fatigue cracks in steel structures using infrared-thermography, The Proceedings of Mechanical Engineering Congress Japan, September 2011, DOI: 10.1299/jsmemecj.2011_G030012-1.
6. European Standart EN 16714-1 Non-destructive testing – Thermographic testing – Part 1: General principles.
7. Kolesnichenko Sergiy, Popadenko Andrii, Selyutyn Yurii, "Detection of Dangerous Defects and Damages of Steel Building Structures by Active Thermography", *Materials Science Forum – Trans Tech Publications Ltd, Switzerland*, 2021, Vol. 1038 -539c. – C. 417-423.
8. S.V. Kolesnichenko, A.O. Popadenko, "System for one-sided non-destructive testing of the technical condition of metal structures using active thermography", patent for invention No. 125273, registered in the State Register of Patents of Ukraine for utility models on February 10, 2022.
9. S.V. Kolesnichenko, A.O. Popadenko, Portable infrared heater, invention patent №126314, registered in the State Register of Patents of Ukraine for utility models on September 14, 2022.

PECULIARITIES OF THE APPLICATION OF THERMOGRAPHIC DEFECTOSCOPY FOR STEEL BUILDING STRUCTURES TAKING INTO ACCOUNT THEIR REAL STATE UNDER OPERATION CONDITIONS

Klimenko E.V., ScD, Professor

klimenkoew57@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4502-8504

Popadenko A.O., Master Student,

Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture

popadenko@donnaba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-5615-7117

Kolesnichenko S.V., ScD, Associate Professor

svk.mk15@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5087-8354

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Annotation. The article presents the results of a study of the features of the use of thermographic flaw detection for steel building structures, taking into account their actual state under operating conditions. Since these structures are subjected to significant loads, they are subject to failure, including cracking, corrosion, rupture, and other damage. Compliance with the safe operation of steel structures is essential to ensure the safety of personnel and the normal production process. Compliance with safety rules should be regular and systematic, including periodic inspections and diagnosing the condition of steel structures. Thermographic flaw detection methods consists in measuring the surface temperature of a structure using infrared cameras and detecting temperature anomalies that may indicate the presence of defects. The objective of the study is to

increase the efficiency of using the active thermography method for examining operated steel structures. Identify possible difficulties that will arise in the application of this method, and develop recommendations to overcome the identified problems. The most significant aspect that can affect the quality of thermographic flaw detection is a characteristic of infrared emission of the investigated structure's part. The low value of this indicator leads to an increase in the amount of false data, which in turn reduces the reliability of the obtained results. Another equally important part of the work of an engineer in thermographic flaw detection is the choice of the method and place of heating the structure, which depends on specific cases and inspection tasks. Eventually, active thermography may be useful and effective method for flaw detection of steel building structures. However, its application must be carried out in the context of all factors that may affect the accuracy and efficiency of the equipment concerned.

Keywords: steel structures, crack, thermography, infrared camera, non-destructive testing, infrared emission, thermal gradient.