

Чухліб В.Л., Губський С.О.

## Підходи до вирішення проблем практичного застосування магнітно-коерцитивного контролю при оцінці стану кранових металоконструкцій

Chuhlib V., Gubskiy S.

### Approaches to solving problems of practical application of magnetic-coercive control in the assessment of the state of crane metal structures

**Мета дослідження.** Шляхом врахування індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М підвищити достовірність паспорта магнітного контролю. **Методика досліджень.** Для врахування індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М розроблено методику. Вона базується на врахуванні індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів. Суть цього методу полягає в тому, що разом з краном і ПМК потрібно мати східчастий зразок з різними перерізами з того ж матеріалу, з якого виготовлена металоконструкція крана. При кожному магнітно-коерцитивному НК металоконструкції крана необ-хідно проводити вимірювання коерцитивної сили цього зразка і заносити їх в ПМК разом із заводським номером структуроскопа. Маючи покази коерцитивної сили на цьому зразку всіх структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М, можна зробити висновок про рівень інтенсивності намагнічування кожного структуроскопа. Далі, обчисливши різницю в інтенсивності намагнічування приладів КРМ-ЦК-2М ( $\Delta H \delta, A/cm$ ), врахувати її при обробці і аналізі вже отриманих на крані результатів магнітно-коерцитивного НК. **Результати.** Автоматизовано процес аналізу результатів магнітно-коерцитивного контролю. Показано, що не можна обмежуватися при оцінці стану металоконструкції тільки одним методом. Для більш об'єктивного результату необхідно застосовувати магнітно-коерцитивний контроль в комплексі з іншими методами контролю та розрахунковими методами. Роботи по магнітно-коерцитивному неруйнівному контролю, що вирішують існуючі проблеми, пройшли підтвердження практикою. Це дасть можливість проводити магнітно-коерцитивний контроль металоконструкцій з різними товщинами елементів, враховувати індивідуальні особливості магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М та зростання коерцитивної сили в залежності від інтенсивності навантаження металоконструкції. **Практична значимість.** Результати досліджень застосовані при аналізі зміни коерцитивної сили в розкосі шпренгельної системи крана-перевантажувача вантажопідйомністю 32 т.

**Ключові слова:** металоконструкція, неруйнівний контроль, магнітно-коерцитивний контроль, структуроскопи

**The aim of the study.** By taking into account the individual characteristics of magnetic structuroscopes such as KRM-CC-2M to increase the reliability of the passport of magnetic control. **Research methodology.** To take into account the individual characteristics of magnetic structuroscopes such as KRM-CC-2M, a method has been developed. It is based on taking into account the individual characteristics of magnetic structuroscopes. The essence of this method is that together with the crane and PMK you need to have a stepped pattern with different sections of the same material from which the metal structure of the crane. At each magneto-coercive NC of the crane it is necessary to measure the coercive force of this sample and enter them in the PMC together with the serial number of the structroscope. Having readings of the coercive force on this sample of all structuroscopes of the KRM-CC-2M type, it is possible to draw a conclusion about the level of magnetization intensity of each structroscope. Next, calculating the difference in the intensity of magnetization of the devices KRM-CC-2M ( $\Delta H \delta, A/cm$ ), take it into account when processing and analyzing the results already obtained on the crane magnetic-coercive NC. **Results.** The process of analysis of the results of magnetic coercive control is automated. It is shown that it is impossible to be limited at an estimation of a condition of a metalwork to only one method. For a more objective result, it is necessary to apply magnetic coercive control in combination with other control methods and calculation methods. Work on magnetic-coercive non-destructive testing, which solve existing problems, has been confirmed in practice. This will make it possible to conduct magnetic-coercive control of metal structures with different thicknesses of elements, take into account the individual characteristics of magnetic structuroscopes such as KRM-CC-2M and increase the coercive force depending on the load intensity of the metal structure. **Practical significance.** The results of the research are used in the analysis of the change of coercive force in the bevel of the sprung system of the crane-loader with a capacity of 32 tons.

**Keywords:** metal construction, non-destructive testing, magnetic coercive control, structuroscopes

**Вступ.** Більше 85 % вантажопідйомних кранів відпрацювали свій нормативний термін. Одним із основних лімітуючих елементів - металоконструкція крана. При оцінці стану металоконструкцій кранів, які відпрацювали свій нормативний термін, недопустимо обмежуватися лише візуальним контролем. Рішення про продовження

експлуатації цих кранів повинно прийматися об'єктивно. Наразі продовжують розвиватися цілий ряд методів неруйнівного контролю (НК), які дають можливість підвищити об'єктивність визначення стану металоконструкцій досліджуваних кранів. Серед них перспективними є, наприклад, метод інфрачервоної емісії, акустико-емісійний

метод НК, метод магнітної пам'яті металу, метод визначення механічних властивостей металу по твердості, магнітно-коерцитивний метод НК. Нажаль, кожен з цих методів має свої недоліки, що ускладнюють використання їх на практиці.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Застосування магнітно-коерцитивного НК для контролю стану кранових металоконструкцій в Україні стало можливим після введення в дію нормативних документів МВ 0.00-7.01-05 [1] та ОМД 00120253.001-2005 [2] (вказано про дозвіл використання МВ 0.00-7.01-05 при експертному обстеженні мостових кранів). Дані документи стали основою для нормативно-обґрунтованого використання магнітно-коерцитивного НК при технічному діагностуванні кранових металоконструкцій. На той момент був важливий сам факт введення в дію, що компенсувало істотні недопрацювання (недоліки) даних методик [1, 2].

Минуло вже 15 років і існуючі проблеми магнітно-коерцитивного НК поступово знаходять своє рішення. Наприклад, в роботі [3, 4] були запропоновані залежності коерцитивної сили від пошкодження металу з урахуванням інтенсивності напружень, що діють в небезпечному вузлі. Також був розроблений алгоритм, що дозволяє застосовувати дані, отримані для лабораторних зразків при діагностуванні реальних кранових металоконструкцій.

В 2012 році введено в дію ОМД 22460848.003-2012 [5]. В даному нормативному документі вказується на обов'язкове проведення магнітно-коерцитивного НК при проведенні експертного обстеження несучих елементів металоконструкцій порталних кранів, які відпрацювали нормативний термін.

При активному практичному застосуванні магнітно-коерцитивного НК для вирішення питання оцінки напружено-деформованого стану та залишкового ресурсу металоконструкцій вантажопідіймних машин почали розкриватися питання не тільки науково-дослідного характеру (недостатня кількість експериментальних даних для різних сталей, про коректність порівняння даних при різних температурах (важливо для діагностики металургійних кранів), вплив мікроструктури і нормованих допусків хімічного складу сталі на одержуваний результат) але і прикладного.

Наприклад, однією з прикладних невирішених і досі на нормативному рівні проблем є заниження результатів магнітного контролю структуроскопом типу КРМ-ЦК-2М при вимірюванні коерцитивної сили зі збільшенням товщини контрольованого металу. Причиною є недоліки в алгоритмі роботи структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М. Хоча з цим явищем стикаються багато фахівців в своїй практиці магнітно-коерцитивного НК, є спроби вирішити да-

ну проблему, але по сьогоднішній день проблема існує і на нормативному рівні досі не вирішена. В роботах [1, 6] пропонується ввести деякий поправочний коефіцієнт і з допомогою перерахунків враховувати вплив товщини на покази коерцитивної сили. Але, використання даних перерахунків пропонують для всіх кранових сталей, наприклад: від Ст3 (з порівняно малими початковим значеннями коерцитивної сили  $H_C^0=1,7$  А/см) до сталі 10ХСНД (з порівняно великими значеннями початковим значеннями коерцитивної сили  $H_C^0=4,0$  А/см). При цьому, значення поправочного коефіцієнта не змінюється. Також не враховується структура металу, допуски в хімічних складах сталей. І тому отримані результати перерахунку будуть не об'єктивними, і як наслідок, призвести до значних похибок при оцінці стану металу контрольованої конструкції за параметром коерцитивна сила.

В [7, 8, 9] запропоновано рішення проблеми пов'язаною з недостатньою роздільною здатністю структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М, але методика все ще не включена ні в один з нормативних документів. Пропонується застосовувати методику приведення всіх результатів магнітно-коерцитивного НК на різних товщинах до однієї з використанням паспортизованих зразків із змінним перерізом з відомими механічними властивостями та хімічним складом металу, мікроструктурою та значеннями коерцитивної сили в кожному перерізі зразка. Більш того весь процес аналізу вимірювань коерцитивної сили (в т.ч. з різними товщинами елементів) з кінцевим висновком прогнозування залишкового ресурсу металоконструкції досліджуваного крана був автоматизований і виконується комп'ютерною програмою Metall [9, 10]. У цій програмній оболонці реалізуються наступні функції:

- 1) перерахунок, що враховує різну товщину елементів контрольованої металоконструкції;
- 2) побудова кривих, які наочно відображають розподіл коерцитивної сили по поверхні контрольованої металоконструкції;
- 3) розрахунок залишкового ресурсу металоконструкції вантажопідіймального крана;
- 4) отримані результати формуються в звітну документацію для подальшого виведення на друк.

В роботі [11] була порушена ще одна проблема, яка є наслідком недоліків структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М, але рішення не було наведено. Суть проблеми можливо показати на прикладі. Були проведені вимірювання коерцитивної сили східчастих зразків металу з різних сталей зі змінним перерізом різними структуроскопами типу КРМ-ЦК-2М (фото 1). Вимірювання коерцитивної сили східчастого зразка металу зі сталі 09Г2С наведені в табл. 1, рис. 1.

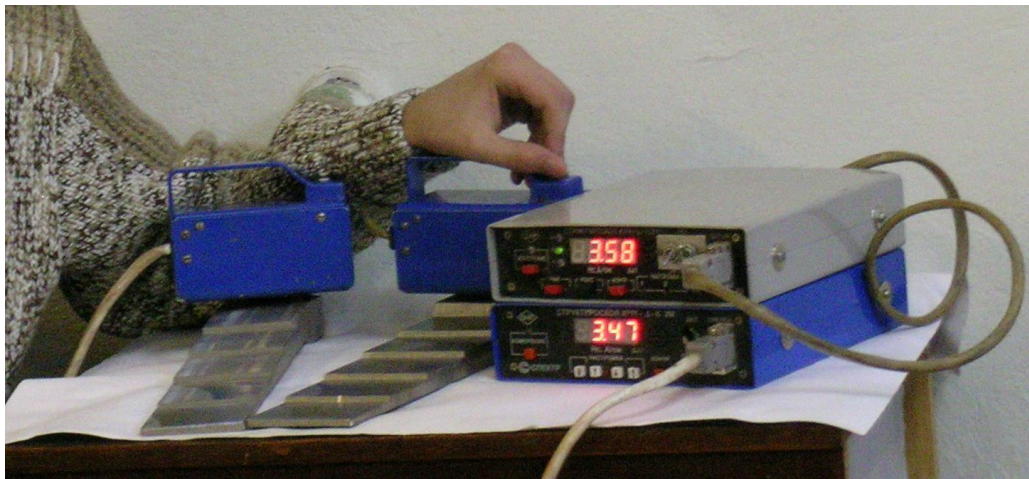


Фото 1. Виміри коерцитивної сили східчастих зразків металу з різних сталей зі змінним перерізом різними структуроскопами типу КРМ-ЦК-2М

Таблиця 1. Результати вимірів коерцитивної сили зразка металу зі сталі 09Г2С зі змінним перерізом різними структуроскопами типу КРМ-ЦК-2М

| Заводський № структуроскопа | Товщина металу d, мм |      |      |      |      |
|-----------------------------|----------------------|------|------|------|------|
|                             | 6                    | 8    | 10   | 12   | 16   |
| 504                         | 4,70                 | 4,14 | 3,68 | 3,34 | 3,02 |
| 674                         | 4,40                 | 3,90 | 3,40 | 3,10 | 2,90 |
| 834                         | 4,20                 | 3,60 | 3,10 | 2,90 | 2,70 |
| 532                         | 4,05                 | 3,62 | 3,26 | 3,06 | 2,88 |

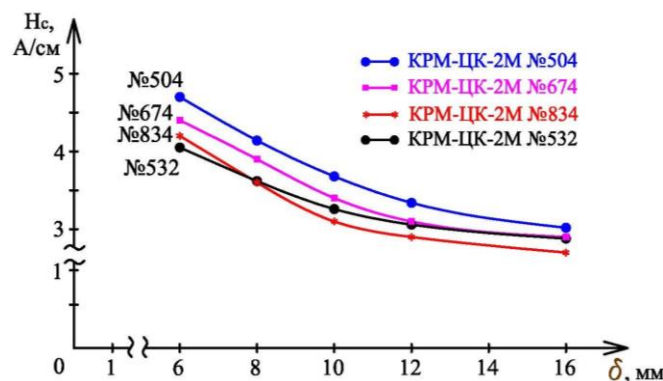


Рисунок 1. Залежність показань коерцитивної сили від товщини контрольованого металу зразка зі сталі 09Г2С різними структуроскопами типу КРМ-ЦК-2М

Як видно з таблиці 1 та рисунка 1 різниця результатів магнітно-коерцитивного контролю на одній товщині зразка зі змінним перерізом різними структуроскопами типу КРМ-ЦК-2М складає 13-16%.

Для моніторингу зміни напружено-деформованого стану металоконструкції крана потрібно проводити регулярно магнітно-коерцитивний контроль його металоконструкції і результати заносити в паспорт магнітного контролю (ПМК) [1]. Тоді за зміною коерцитивної сили протягом деякого часу можливо відстежити динаміку розвитку напружено-деформованого стану металоконструкції крана і спрогнозувати її залишковий ресурс. Але, якщо внаслідок значної різниці в показаннях різних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М, якими можуть бути проведені заміри протягом терміну служби крана, результати вимірів можуть

бути під сумнівом, що значно знижує або навіть зводить нанівець користь і достовірність ПМК.

**Мета дослідження.** Шляхом врахування індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М підвищити достовірність паспорта магнітного контролю.

**Матеріали досліджень.** Для врахування індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М розроблено методику. Вона базується на врахуванні індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів. Суть цього методу полягає в тому, що разом з краном і ПМК потрібно мати східчастий зразок з різними перерізами з того ж матеріалу, з якого виготовлена металоконструкція крана. При кожному магнітно-коерцитивному НК металоконструкції крана необхідно проводити вимірювання коерцитивної сили цього зразка і заносити їх в ПМК разом із заводсь-

ким номером структуроскопа. Маючи покази коерцитивної сили на цьому зразку всіх структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М, можна зробити висновок про рівень інтенсивності намагнічування кожного структуроскопа. Далі, обчисливши різницю в інтенсивності намагнічування приладів КРМ-ЦК-2М ( $\Delta H_{C\delta}$ , А/см), врахувати її при обробці і аналізі вже отриманих на крані результатів магнітно-коерцитивного НК.

В разі відсутності з ПМК східчастого зразка - необхідно вибрати не навантажену зону(-и) металоконструкції, в якій раніше проводилися заміри коерцитивної сили. Тоді, провівши виміри коерцитивної сили в цих зонах, можна (в деякій мірі) порівняти інтенсивності намагнічування (роздільну здатність) структуроскопа типу КРМ-ЦК-2М, якими проводився магнітно-коерцитивний НК на даній металоконструкції.

Якщо необхідно проводити магнітно-коерцитивний НК на товщинах, які відсутні на східчастому зразку, то потрібно провести апроксимацію вимірювань коерцитивної сили двома приладами на цьому ж зразку і, отримавши функції кривих, наступними математичними розрахунками обчислити потрібну величину  $\Delta H_{C\delta}$  (А/см).

Метод врахування індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М на практиці застосовано при аналізі зміни коерцитивної сили в розкосі шпренгельної системи крана-перевантажувача (вантажопідйомність 32 т, 1975 р. виготовлення) (фото 2, рисунок 2) протягом трьох років. Перші два магнітно-коерцитивні НК металоконструкції крана-перевантажувача були проведені структуроскопом типу КРМ-ЦК-2М зав. № 834, а останній структуроскопом типу КРМ-ЦК-2М зав. № 542 (таблиця 2).



Фото 2. Частина загального вигляду крана-перевантажувача вантажопідйомністю 32 т, виготовленого в 1975 р.

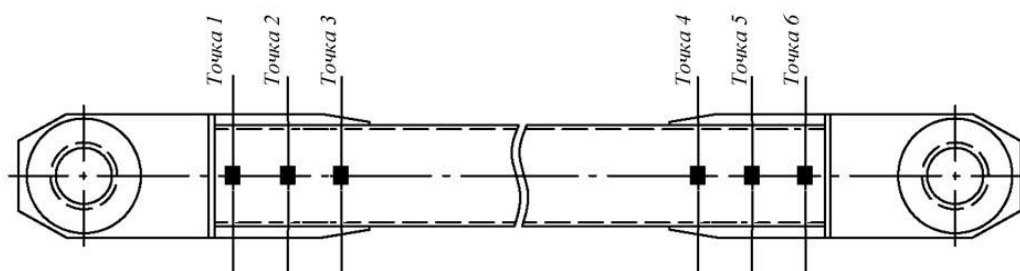


Рисунок 2. Схема точок проведення магнітно-коерцитивного НК по довжині розкосу крана-перевантажувача (матеріал Сталь 20, товщина 12 мм)

Таблиця 2. Результати магнітно-коерцитивного НК по довжині розкосу крана-перевантажувача протягом трьох років (матеріал Сталь 20, товщина 12 мм), періодичність контролю 1 рік

| № контролю | Заводський № структуроскопа | Значення коерцитивної сили $H_c$ (А/см) |         |         |         |         |         |
|------------|-----------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
|            |                             | Точка 1                                 | Точка 2 | Точка 3 | Точка 4 | Точка 5 | Точка 6 |
| 1          | 834                         | 4,50                                    | 3,00    | 3,10    | 3,30    | 3,10    | 4,80    |
| 2          | 834                         | 4,70                                    | 3,30    | 3,30    | 3,50    | 3,30    | 5,00    |
| 3          | 542                         | 4,16                                    | 2,71    | 2,76    | 2,92    | 2,60    | 4,48    |

Аналізуючи таблицю 2 видно, що значення коерцитивної сили при контролю №3 різко впали. Провівши дослідження, було зроблено висновок, що дане падіння викликано різною роздільною здатністю структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М зав. № 834 і 542 (різною інтенсивністю намагнічування). Кожен раз, при проведенні магнітно-коерцитивного НК, для приведення результатів коерцитивної си-

ли, отриманих на різних товщинах елементів металоконструкції крана-перевантажувача до однієї товщини, використовувався один і той же східчастий зразок з різними перетинами (ПЕЗ № 681). Результати магнітно-коерцитивного НК цього зразка структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М зав. № 834 і 542 наведені на рисунку 3.

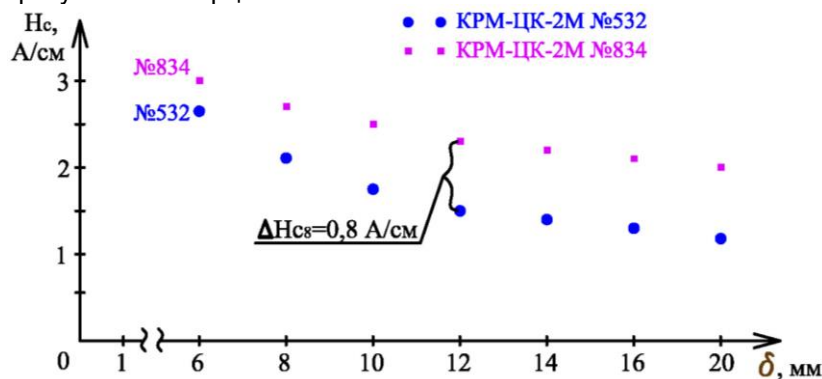


Рисунок 3. Результати магнітно-коерцитивного НК ПЕЗ № 681 з різними перерізами зі Сталі 20

З рисунку 3 видно, що на кожній товщині перерізу східчастого зразка ( $\delta$ , мм) показання коерцитивної сили ( $H_c$ , А / см) структуроскопа типу КРМ-ЦК-2М зав. № 834 на деяку величину коерцитивної сили  $\Delta H_{C\delta}$  більше структуроскопа типу КРМ-ЦК-2М зав. № 542.

2М зав. № 542 на деякій товщині зразка  $\delta$  (мм) додати  $\Delta H_{C\delta}$  на відповідній товщині ПЕЗ № 681 (рисунку 3). У наведеному прикладі товщина разкосу крана-перевантажувача 12 мм, тобто  $\Delta H_{C12} = 0,8$  А / см.

Щоб провести аналіз зміни коерцитивної сили в елементах металоконструкції крана-перевантажувача за три роки потрібно врахувати різницю  $\Delta H_{C\delta}$ . Для цього необхідно до результатів магнітно-коерцитивного НК металоконструкції крана-перевантажувача структуроскопа типу КРМ-ЦК-

Аналіз зміни коерцитивної сили по довжині розкосу крана-перевантажувача за три роки проводився за показами структуроскопа типу КРМ-ЦК-2М зав. № 834. Тому потрібно збільшити результати магнітно-коерцитивного НК № 3 на  $\Delta H_{C12}$ , (таблиця 3)

Таблиця 3. Приведені результати магнітно-коерцитивного НК по довжині розкосу крана-перевантажувача 2010 г. (матеріал Сталь 20, товщина 12 мм)

| № контролю | Заводський № структуроскопа | Значення коерцитивної сили $H_c$ (А/см) з врахуванням $\Delta H_{C12}$ |         |         |         |         |         |
|------------|-----------------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|
|            |                             | Точка 1  | Точка 2 | Точка 3 | Точка 4 | Точка 5 | Точка 6 |
| 3          | 542                         | 4,96   | 3,51    | 3,56    | 3,72    | 3,60    | 5,28    |

В результаті в таблиці 4 наведено приріст коерцитивної сили за три контролю (періодичністю в один рік) в розкосі крана-перевантажувача.

Таблиця 4. Приріст коерцитивної сили за три контролю (періодичністю в один рік) в розкосі крана-перевантажувача

| Інтервал контролів | Приріст коерцитивної сили $H_c$ (А/см) |         |         |         |         |         |
|--------------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|
|                    | Точка 1                                | Точка 2 | Точка 3 | Точка 4 | Точка 5 | Точка 6 |
| № 1 - № 2          | 0,20                                   | 0,30    | 0,20    | 0,20    | 0,20    | 0,20    |
| № 2 - № 3          | 0,26                                   | 0,21    | 0,26    | 0,22    | 0,30    | 0,28    |



Приріст коерцитивної сили в інтервалі проведення магнітно-коерцитивних контролів № 1 - № 2 (таблиця 4) характерний для важкого режиму роботи, а в № 2 - № 3 характерний для досить важкого режиму роботи.

Реальний режим навантаження металоконструкції крана-перевантажувача - середній. Але інтенсивність і величина навантаження розкосів шпренгельної системи характерна для досить важкого режиму роботи, тому що більшу частину навантажень в підтримці консолі при виїзді на неї вантажного візка беруть на себе розкоси. Розкоси були введені в конструкцію (шляхом реконструкції) після аварій, які траплялися з кранами-перевантажувачами цього типу. Наприклад, аварія крана-перевантажувача в травні 2006 р. на Ясинівському коксохімічному комбінаті [12].

Ресурс досліджуваного розкосу становить три роки до переходу металу в зону критичної експлуатації.

**Висновки.** З приведених в цій роботі досліджень слідує, що:

- нормативна база по магнітно-коерцитивному контролю в Україні має істотні недоопрацювання, які впливають на об'єктивність і точність висновків по оцінці стану металоконструкцій;

- для врахування індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М розроблена методика. Вона базується на врахуванні

індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів;

- базуючись на результатах магнітно-коерцитивного моніторингу металоконструкції крана-перевантажувача спрогнозовано ресурс розкосу крана-перевантажувача, з врахування індивідуальних особливостей магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М;

- автоматизовано процес аналізу результатів магнітно-коерцитивного контролю. Аж до розрахунку залишкового ресурсу (Metall [10]);

- не можна обмежуватися при оцінці стану металоконструкції тільки одним методом. Для більш об'єктивного результату необхідно застосовувати магнітно-коерцитивний НК в комплексі з іншими методами контролю та розрахунковими методами (методи кінцевих елементів, граничних станів, накопичених ушкоджень).

Роботи по магнітно-коерцитивному НК, що вирішують існуючі проблеми та пройшли підтвердження практикою необхідно нормативно легалізувати. Це дасть можливість проводити магнітно-коерцитивний НК металоконструкцій з різними товщинами елементів, враховувати індивідуальні особливості магнітних структуроскопів типу КРМ-ЦК-2М та зростання коерцитивної сили в залежності від інтенсивності навантаження металоконструкції.

#### Бібліографічний опис

1. МВ 0.00–7.01–05. Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено–деформованого стану металоконструкцій підйомних споруд та визначення їх залишкового ресурсу // 2005. – 58 с.
2. ОМД 00120253.001–2005. Методика проведення експертного обстеження (технічного діагностування) кранів мостового типу. – Київ.: Держнаглядохоронпраці України, 2005. – 157 с.
3. Starikov, M., Beljatynskij, A., Prentkovskis, O., & Klimenko, I.. The use of magnetic coercivity method to diagnose crane metalware / Transport, 26(3), 2011 - 255-262. <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.622138>.
4. M. A. Starikov, Yu. A. Nikiforov Residual life assessment for the metallic structures of hoisting machines / Published in Strength of Materials 2012. Materials Science // Strength of Materials 44(1), 2012 - 108–113. <https://doi.org/10.1007/s11223-012-9355-8>.
5. ОМД 22460848.003-2012. Крани порталні. Крани перевантажувачі. Експертне обстеження.
6. Boris Popov, Sergei Evdokimov, Olga Leonova, Yury Sokolov The method of magnetic coercimetry and its application to assess the residual life of lifting equipment / XXII International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment" (FORM-2019) // Volume 97, 2019 – 1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706016>.
7. Губский С. А. Метод анализа замеров коэрцитивной силы при технической диагностике металлоконструкций кранов с разными толщинами элементов / С. А. Губский, В. А. Попов, Н. Ф. Хорло // 6-а Національна науково-технічна конференція «Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2009 : збірник доповідей – К., 2009. – С. 170-176.
8. Патент на корисну модель № 77319 Україна, МПК (2013.01) G01N 27/00. Експериментальний зразок для калібрування структуроскопа / О. В. Григоров, А. О. Окунь, С. О. Губський, В. А. Попов, М. Ф. Хорло. – № u 2012 08911 ; заявка 19.07.2012 ; опубл. 11.02.2013, Бюл. №3.
9. Integrated Approach to Determine Operational Integrity of Crane Metal Structure / Gubskiy, S., Yepifanov, V., Chukhlib, V., Basova, Y., Okun, A., Ivanova, M. and Panamariova, O. // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. – Hungary, 2019. – 64(4) – 319-325. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPme.14064>.
10. Григоров О. В. Шляхи врахування впливу товщини металу на показники коерцитивної сили / О. В. Григоров, С. О. Губський, А. О. Окунь // Подъёмные сооружения. Специальная техника. – 2012. – №. – С. 20-23.
11. Попов В. А. О некоторых проблемах мониторинга напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъёмных сооружений с применением магнитной структуроскопии / В. А. Попов, В. А. Гудошник, Н. Ф. Хорло // Подъёмные сооружения. Строительная техника. – 2013.
12. Попов В. А. Исследования и практика применения магнитной структуроскопии при техническом диагностировании кранов–перегрузателей завода «Сибтяжмаш» / В. А. Гудошник, С. А. Губский, В. А. Попов, Ю. В. Чмырь // Подъёмные сооружения. Специальная техника. – Одесса, 2011. – №3. – С. 19–22.

#### Reference

1. MV 0.00–7.01–05. Metodichni vkazivki z provedennya magnitnogo kontrolyu napruzheno–deformovanogo stanu metalokonstrukcij pidjornnih sporud ta viznachennya yih zalishkovogo resursu // 2005. – 58 s.

2. OMD 00120253.001–2005. Metodika provedennya ekspertnogo obstezhennya (tehničnogo diagnostuvannya) kraniv mostovogo tipu. – Kiyiv.: Derzhnaglyadohoronpraci Ukrayini, 2005. – 157 s.
3. Starikov, M., Beljatynskij, A., Prentkovskis, O., & Klimenko, I.. The use of magnetic coercivity method to diagnose crane metalware / *Transport*, 26(3), 2011 - 255-262. <https://doi.org/10.3846/16484142.2011.622138>.
4. M. A. Starikov, Yu. A. Nikiforov Residual life assessment for the metallic structures of hoisting machines / Published in *Strength of Materials 2012. Materials Science // Strength of Materials* 44(1), 2012 - 108–113. <https://doi.org/10.1007/s11223-012-9355-8>.
5. OMD 22460848.003-2012. Krani portalni. Krani perevantazhuvachi. Ekspertne obstezhennya.
6. Boris Popov, Sergei Evdokimov, Olga Leonova, Yury Sokolov The method of magnetic coercimetry and its application to assess the residual life of lifting equipment / XXII International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2019) // Volume 97, 2019 – 1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199706016>.
7. Gubskij S. A. Metod analiza zamerov koercitivnoj sily pri tehničeskoj diagnostike metallokonstrukcij kranov s raznymi tolshinami elementov / S. A. Gubskij, V. A. Popov, N. F. Horlo // 6-a Nacionalna naukovo-tehnična konferenciya «Nerujnivnij kontrol ta tehnična diagnostika – UkrNDT-2009 : zbirnik dopovidej – K., 2009. – S. 170-176.
8. Patent na korisnu model № 77319 Ukrayina, MPK (2013.01) G01N 27/00. Eksperimentalnij zrazok dlya kalibruvannya strukturoskopa / O. V. Grigorov, A. O. Okun, S. O. Gubskij, V. A. Popov, M. F. Hor-lo. – № u 2012 08911 ; zayavka 19.07.2012 ; opubl. 11.02.2013, Byul. №3.
9. Integrated Approach to Determine Operational Integrity of Crane Metal Structure / Gubskiy, S., Yepifanov, V., Chukhlib, V., Basova, Y., Okun, A., Ivanova, M. and Panamariova, O. // *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. – Hungary, 2019. – 64(4) – 319-325. DOI: <https://doi.org/10.3311/PPme.14064>.
10. Grigorov O. V. Shlyahi vrahuvannya vplivu tovshini metalu na pokazniki koercitivnoi sily / O. V. Gri-gorov, S. O. Gubskij, A. O. Okun // *Podyomnye sooruzheniya. Specialnaya tehnika*. – 2012. – №. – S. 20-23.
11. Popov V. A. O nekotoryh problemah monitoringa napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya metal-?onstrukcij podyomnyh sooruzhenij s primeneniem magnitnoj strukturoskopii / V. A. Popov, V. A. Gudoshnik, N. F. Horlo // *Podyomnye sooruzheniya. Stroitel'naya tehnika*. – 2013.
12. Popov V. A. Issledovaniya i praktika primeneniya magnitnoj strukturoskopii pri tehničeskom diag-nostirovanii kranov–peregruzhatelej zavoda «Sibtyazhmash» / V. A. Gudoshnik, S. A. Gubskij, V. A. Po-pov, Yu. V. Chmyr // *Podemnye sooruzheniya. Specialnaya tehnika*. – Odessa, 2011. – №3. – S. 19–22.

*Стаття поступила 23.12.2020*