

УДК 62.629. 369

© О.О. Налобіна, д.т.н.

Національний університет водного господарства та природокористування

В.Л. Мартинюк, к.т.н., В.С. Пуць, к.т.н.

Луцький національний технічний університет

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО КРАНА

У статті запропоновано методику встановлення функціонально-конструктивних елементів з найменшою надійністю для автомобільного крана, яка базується на основах системного аналізу технічних систем.

НАДІЙНІСТЬ, КРАН АВТОМОБІЛЬНИЙ, ЙМОВІРНІСТЬ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, МЕТОД, МЕТОДОЛОГІЯ, РУЙНУВАННЯ

Постановка проблеми. Важливою та актуальною проблемою сучасного машинознавства є підвищення якості та надійності машин. Забезпечення надійності потребує вирішення ряду науково-практичних задач :

– розробка та апробація удосконаленої методики прогнозування показників надійності, яка б дозволила зменшити ступінь невизначеності та ризиків неповного врахування факторів зовнішнього впливу на розвиток і прояв дефектів;

– виявлення місць найбільш ймовірного прояву дефектів конструкції.

Вирішення даних задач потребує здійснення системного аналізу процесу експлуатації. Основою для проведення системного аналізу є експериментальні дані, отримані за допомогою сучасних методів діагностичного контролю прояву дефектів, зокрема, з використанням методу неруйнівного контролю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню проблем забезпечення і підвищення довговічності, надійності і безпеки експлуатації зварних кранових металоконструкцій присвятили свої дослідження такі видатні вчені, як Волков Д.П. [1], Вонсовський С.В. [2], Дубов А.А. [3], Соколов С.А., [4], Котельников В.С. [5], Шишков Н.А. [6], Невзоров Л.А. [7] і багато інших. У роботах наголошується, що зварні несучі металоконструкції вантажопідіймальних кранів, не зважаючи на значні конструктивні та

інші відмежування (зовнішній вигляд, принцип дії, область застосування), мають між собою багато спільного:

- являють собою складні зварні конструкції з трубчастого, пустотілого прямокутного або кутового прокату;

- виготовляються переважно з маловуглецевих і низьколегованих сталей;

- використовують в якості основних стикові і кутові зварні з'єднання;

- мають ряд сильно навантажених вузлів, в яких за певних умов (динамічні навантаження і т.п.) можуть виникати небезпечні локальні зони концентрації напружень з проходженням місцевої пластичної деформації.

Роботи Кузнєцова В.В. [8], Біргера І.Н. [9], Горохова Є.В. [10], Маковського А.М. [11], Фролова П.Т. [12] присвячені дослідженню вантажопідійомних кранів, які відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки, тому їх технічний стан в процесі експлуатації періодично піддається контролю із застосуванням оглядів і обстежень. Авторами встановлено, що обстеження конструкцій в процесі експлуатації проводиться з метою отримання необхідних даних для оцінки технічного стану та прийняття проектних рішень з ремонту, реконструкції або рішень щодо продовження терміну служби об'єкта. Необхідність у таких обстеженнях виникає при тривалих термінах експлуатації.

Аналіз відомих досліджень виявив, що підвищення ефективності роботи кранів залежить суттєво від якості їх конструкції. Якість крана, у значній мірі, визначається його надійністю. Зі збільшенням надійності крана зростає час між ремонтами. Чим вища надійність, тим менше часу витрачається на його обслуговування. Надійність крана закладається на стадіях проектування та виготовлення, проявляється у процесі його експлуатації. Надійність не є сталою величиною на протязі строку експлуатації. Деталі спрацьовуються, що веде до зменшення надійності конструкції.

Надійність – складна властивість крана, яка складається з безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності. На даний час зустрічаються різні за своєю методологічною основою методики оцінювання та прогнозування вище згаданих критеріїв надійності. За даними таких досліджень складають звіти, які можуть використовуватись різними установами, що використовують автомобільні крани, з метою оцінки відповідності надійності автомобільних кранів встановленим нормам і тенденції їхніх змін.

Для забезпечення надійності потрібен ряд заходів, які дозволяють більш ефективно продовжити строк служби кранів. Дана задача повинна вирішуватись декількома шляхами:

- розробка надійних конструкційних елементів;
- розробка методології оцінки надійності, що базується на системному аналізі процесу експлуатації кранів.

Саме другий напрямок обрано нами за **мету роботи**, яку сформульовано наступним чином:

Мета дослідження: базуючись на методологічних підходах системного аналізу та результатах експертиз, виконаних із використанням методу неруйнівного контролю, виявити функціонально-конструктивні елементи з найменшою надійністю для автомобільного крана.

Результати дослідження. Крани – обладнання підвищеної небезпеки. Автомобільні крани, у порівнянні з іншими, мають високу ступінь ризику. У даній роботі пропонується системний підхід до створення ситуаційної моделі виявлення найбільш небезпечних вузлів і надаються результати оцінювання втрати роботоzдатності.

Розглянемо складну технічну систему – «Автомобільний кран».

З метою проведення аналізу типових відмов і оцінювання їхнього впливу на втрату роботоzдатності крана проведемо декомпозицію досліджуваної системи. Виділимо основні блоки автомобільного крана. Зауважимо при цьому, що для спрощення декомпозиційної моделі ми врахували лише ті структурні блоки, де злами було зафіксовано найчастіше (рис. 1). Аналіз активності декомпозиційних блоків проводимо за наступними показниками:

- $P_i t$ – ймовірність безвідмовної роботи блоку;
- $Q_i(t)$ – ймовірність відмов.

Розрахунок даних характеристик виконували на базі статистичних даних, зібраних на протязі трьох років на державному підприємстві «Рівненський експертно-технічний центр Держпраці» (випробувальна лабораторія діагностики та неруйнівного контролю).

Ймовірність відмов для кожної складової блоку 1 – «Рамні конструкції» (рис. 1):

1. Відмови через тріщини в опорній рамі:

$$Q_{11} t = n_{11} / n_{заг1} = 9 / 11 = 0,82 ,$$

де n_{11} – кількість одиниць техніки, у яких виявлено тріщини в опорній рамі, $n_{заг1}$ – загальна кількість одиниць техніки, у яких виявлено дефект чи пошкодження в блоці №1 «Рамні конструкції»

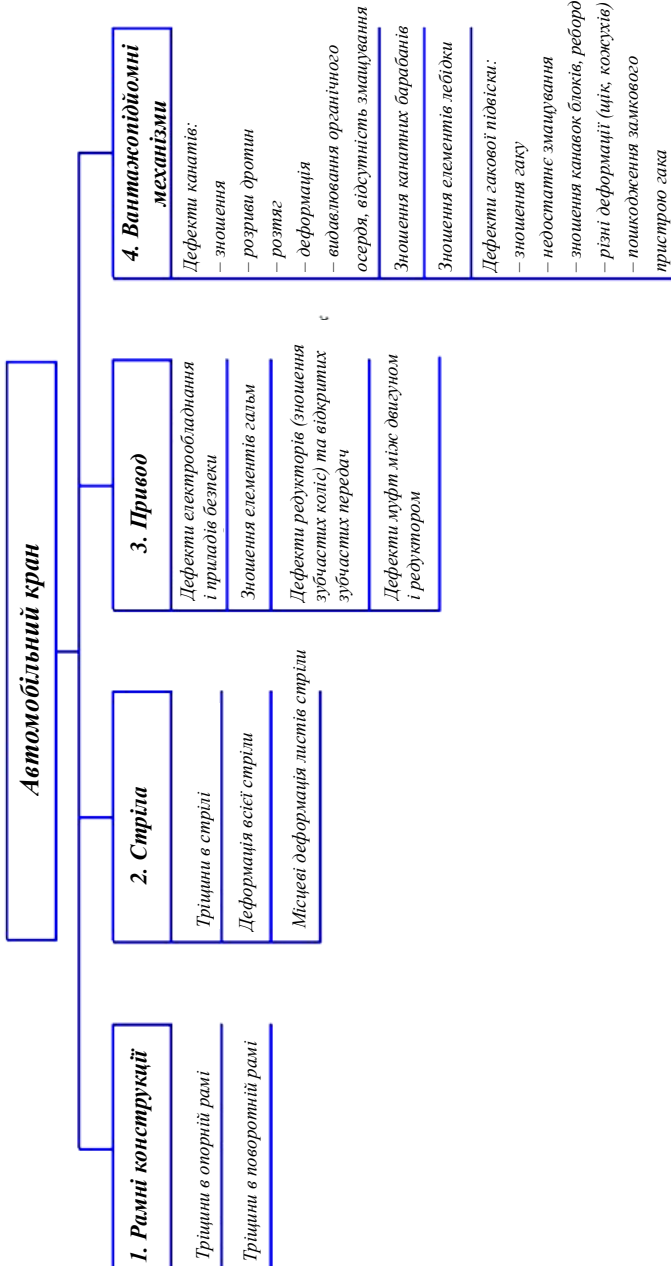


Рис. 1 – Декомпозиційна модель автомобільного крана

2. Відмови поворотної рами через появу тріщин:

$$Q_{12} t = n_{12} / n_{заг1} = 2 / 11 = 0,18 ,$$

де n_{12} – кількість одиниць техніки, у яких виявлено тріщини в поворотній рамі.

Ймовірність безвідмовної роботи кожної складової блоку 1:

3. Робота без відмов в опорній рамі:

$$P_{11} t = 1 - Q_{11} t = 1 - 0,82 = 0,18 .$$

4. Робота без відмов в поворотній рамі:

$$P_{12} t = 1 - Q_{12} t = 1 - 0,18 = 0,82 .$$

5. Загальна ймовірність безвідмовної роботи блоку 1:

$$P_{заг} t = P_{11} t \cdot P_{12} t = 0,18 \cdot 0,82 = 0,15 .$$

6. Загальна ймовірність відмови у роботі блоку 1:

$$Q_{заг} t = 1 - P_{заг} t = 1 - 0,15 = 0,85 .$$

Аналогічний розрахунок проведено для блоків 2, 3 та 4. Отримані результати наведено в таблиці.

Таблиця – Результати теоретичних розрахунків

Для блоку 1			
Показник	Роки		
	2013	2014	2015
1	2	3	4
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	11	3	8
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг} t$	0,85	0,87	0,89
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг} t$	0,15	0,13	0,11
Для блоку 2			
Показник	Роки		
	2013	2014	2015
1	2	3	4
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	37	46	28
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг} t$	0,85	0,86	0,85
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг} t$	0,15	0,14	0,15

Продовження таблиці

1	2	3	4
Для блоку 3			
	2013	2014	2015
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	83	104	66
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг} t$	0,7	0,7	0,7
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг} t$	0,3	0,3	0,3
Для блоку 4			
	2013	2014	2015
Кількість одиниць техніки у яких виявлено дефект чи поломку, $n_{заг}$	119	149	92
Загальна ймовірність відмови, $Q_{заг} t$	0,77	0,77	0,77
Загальна ймовірність безвідмовної роботи, $P_{заг} t$	0,23	0,23	0,23

Очевидно, що відмова окремого елемента не завжди є кінцевою подією. Виразимо ймовірність появи пікової події через ймовірність кінцевих подій. Подамо графічно дану залежність (рис. 2) у вигляді дерева відмов.

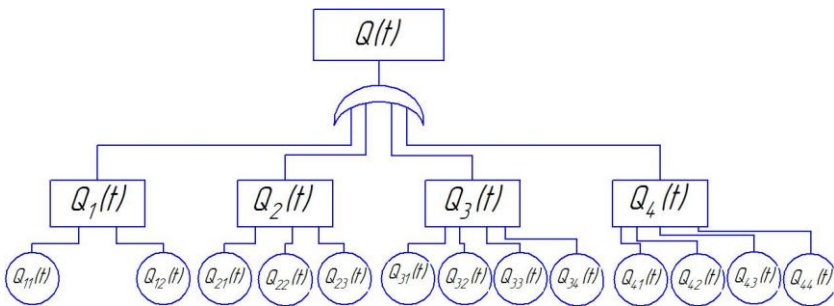


Рис. 2 – Дерево відмов автомобільного крана

Дана модель – «дерево» дає можливість формалізувати подальші дослідження, а саме оцінити вплив кожного декомпозиційного блоку на формування показника $Q t$.

Оцінку динаміки зміни визначених показників надійності наведено у вигляді графічних залежностей (рис. 3 – 5).

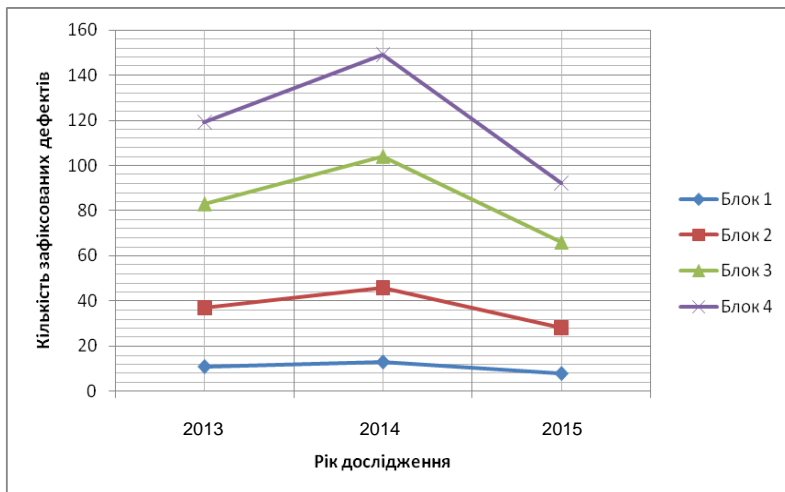


Рис. 3 – Динаміка виникнення дефектів (зламів) конструкції автомобільного крану

Збільшення кількості зафіксованих дефектів у 2014 році, наведених на рис. 3, пояснюються незначним збільшенням кількості досліджених кранів у цьому році. У 2013 і 2015 роках кількість об'єктів дослідження була однаковою.

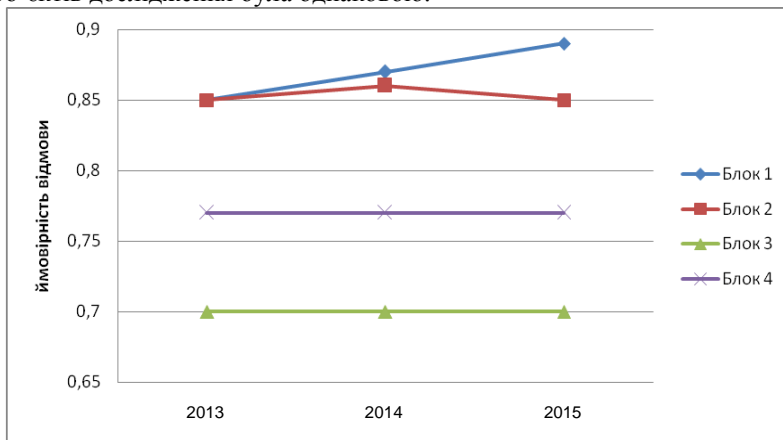


Рис. 4 – Динаміка ймовірності відмов автомобільного крану

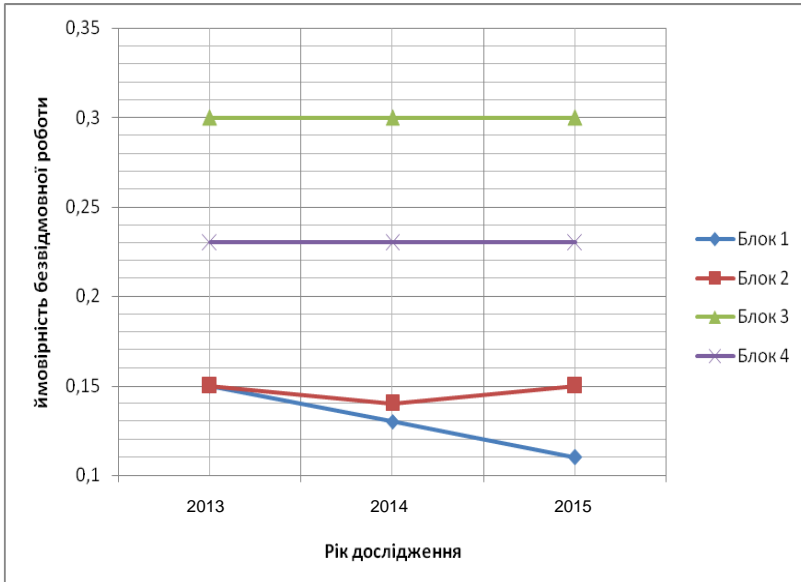


Рис. 5 – Динаміка ймовірності безвідмовної роботи автомобільного крану

Наведені вище результати досліджень дозволили виявити основні вузли, де найчастіше є прояв дефектів і оцінити надійність за показниками ймовірності відмов і безвідмовної роботи.

Висновки.

1. З метою удосконалення проведення прогнозування надійності автомобільних кранів потрібно аналізувати функціонування окремих конструктивних елементів, базуючись на основах системного аналізу як це запропоновано у роботі.

2. Базуючись на даних експертних оцінок встановлено, що кран автомобільний втрачає свою роботоздатність найчастіше через вихід з ладу вантажопідійомних механізмів.

Література

1. Волков Д.П. Строительные машины [Текст] / Д.П. Волков, С.А. Евтюков. – СПб, [Изд-во ДНК], 2002. – 376 с.
2. Вонсовский С.В. Ферромагнетизм. [Текст] / С.В. Вонсовский, Я.С. Шур. – М.Л.: [ГИТЛ], 1948. – 816 с.

3. Дубов А.А. Метод магнитной памяти (ММП) металла и приборы контроля. [Текст]: Учеб. пособ. / А.А. Дубов, Ал.А. Дубов, С.М. Колокольников. – М.: [Изд-во ЗАО "Тиссо"], 2003. – 320с.
4. Соколов С.А. Прочность и долговечность металлических конструкций ПТМ. [Текст] / С.А. Соколов, Г.П. Карзов. – Л.: [ЛПИ], 1989. – 88 с.
5. V.S. Kotelnikov, Eremin A., Zaretsky A.A., Short A.A. The concept of residual life assessment of metal structures of cranes, exhaust standard period // Occupational safety in the industry. 2000. - №10. - P. 41-46.
6. Сборник нормативных и справочных документов по безопасной эксплуатации грузоподъемных машин [Текст]: в 2т. / В.С. Котельников, Н.А. Шишков, А.М. Горлин. – М.: НПО ОБТ, 1995. – 378 с.
7. Невзоров Л.А. Устройство и эксплуатация грузоподъемных кранов: учебник для нач. проф. образования / Л.А. Невзоров, Ю.И. Гудков, М.Д. Полосин. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 448 с.
8. Металлические конструкции [Текст]: в 3 т / под. общей ред. В.В. Кузнецова [ЦНИИ проект - стальнойконструкция им. М.П. Мельникова]. - М.: Изд-во АСВ, 1998. – Т.1: Общая часть. [Справочник проектировщика] / под ред. В.В. Кузнецова. – 2004. – 576 с.
9. Биргер И.А. Техническая диагностика. [Текст] / И.А. Биргер. – М.: [Машиностроение], 1978. – 240 с.
10. Горохов Е.В. Повышение долговечности металлических конструкций мостовых кранов. [Текст] / Е.В. Горохов, Н.Т. Карпенко. – Киев-Донецк: Вища шк., 1986. –145 с.
11. Маковский А.М. Диагностирование грузоподъемных кранов при автоматизированном учете их технического состояния [Текст] /А.М. Маковский, И.А. Лукьянов, К.Н. Редько, Б.П. Кожевников, Е.Е. Куренной, А.А. Русинов, П.С. Скрипник // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2002. – № 4. – С. 6-8.
12. Фролов П.Т. Эксплуатация и испытания строительных машин [Текст] / П.Т. Фролов, И.В. Петров, М.С. Балаховский, В.П. Сергеев, В.Д. Мартынов. – М.: Высш. шк., 1970. – 392 с.
13. Перегрудов Ф.И. Основы системного анализа / Ф.И. Перегрудов, Ф.П. Тарасенко. – Томск, Изд-во «НТЛ», 2001. – 396 с.