

УДК 681.326.74.06

Човнюк Ю.В., к.т.н.^{1,2}; Діктерук М.Г., к.т.н.²;

Комоцька С.Ю., асистент²

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування

² Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЬ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЗМІВ ПІДЙОМУ ВАНТАЖУ КРАНІВ ЯК ОБ'ЄКТІВ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ

Анотація. Запропонована аналітична модель зміни технічного стану механізмів підйому вантажу кранів як об'єктів дослідження (ОД) неперервного типу. Отримане рівняння, яке зв'язує елементи множини змінних технічного стану (ТС) ОД з елементами множин: змінних умов експлуатації, входних впливів та внутрішніх змінних станів. Змістовний опис вказаної взаємодії між елементами реалізований за допомогою графу причинно-наслідкових зв'язків. Розроблений та досліджений формальний опис узагальненого процесу зміни ТС й ОД.

Ключові слова: модель, технічний стан, механізм підйому вантажу, крани, неперервний тип, об'єкт.

Аннотация. Предложена аналитическая модель изменения технического состояния механизмов подъема груза кранов как объектов исследования и диагностирования (ОД) непрерывного типа. Получено уравнение, которое связывает элементы множества переменных технического состояния (ТС) ОД с элементами множеств: переменных условий эксплуатации, входных воздействий и внутренних переменных состояний. Содержательное описание указанного взаимодействия между элементами реализовано с помощью графа причинно-следственных связей. Разработано и исследовано формальное описание обобщенного процесса изменения ТС и ОД.

Ключевые слова: модель, техническое состояние, механизм подъема груза, краны, непрерывный тип, объект.

Annotation. The analytical model for changing of the technical state of mechanisms for getting up of load of load by hoisting cranes is offered. These objects of research and diagnosing (ORD) are of continuous type. The equation is got which binds the elements of technical state (TS) of ORD variables with the such elements as: variables of external type, variables of entrance influences and internal variables of states' environments. The content description of mentioned above cooperation

between the elements is realized by means of graph's of reason-result connections. The formal specification of the generalized process of change of TS and ORD, as well, is worked out and investigational.

Key words: model, technical state, mechanism of getting up of load, cranes, continuous type, object.

Постановка проблеми.

Технічний стан (ТС) механізмів підйому вантажу кранів (у подальшому об'єктів діагностування – ОД) з плином часу змінюється. Причинами цього у загальному випадку є організована взаємодія ОД із «зовнішнім середовищем» чи робочі входні впливи й неорганізована взаємодія об'єкту з середовищем, а також умови експлуатації ОД. Ці ж фактори обумовлюють стан об'єкту чи течію процесу функціонування ОД.

Технічний стан ОД та їх стан досить повно можуть бути описані скінченною сукупністю V (на прийнятому чи заданому рівні деталізації об'єкту) метричних величин. Розіб'ємо множину V на дві підмножини Π та H , які не перетинаються між собою. Елементами множини Π є змінні технічного стану ОД, а елементами H – змінні стану ОД. Множина H представляється у вигляді об'єднання трьох підмножин, що не перетинаються: входних впливів X , внутрішніх змінних станів S та вихідних впливів Y .

Граф причинно-наслідкових зв'язків між множинами змінних умов експлуатації B показаний на рис.1. Граф ілюструє перетворення входних впливів X у вихідні Y через внутрішні змінні стану S . Змінні умови експлуатації справляють випадкові впливи на змінні стану, а останні, у свою чергу, є причинами зміни деяких змінних середовища, що характеризують безпосередню взаємодію ОД з середовищем. Крім розглянутих зв'язків, об'єктивно існує контур причинно-наслідкових зв'язків між елементами множин Π та S , а для ОД зі зворотними зв'язками – між елементами Π та SUY .

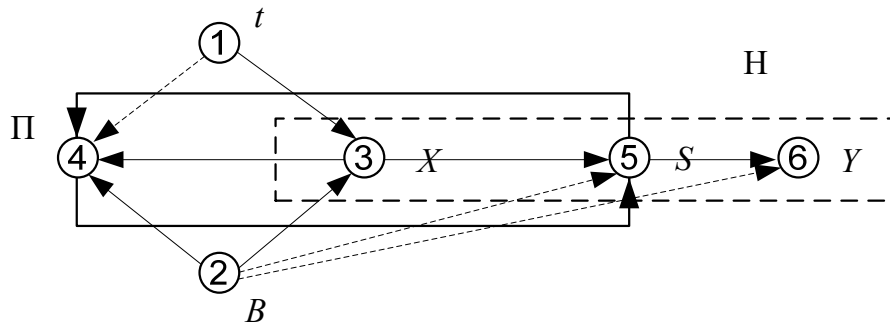


Рисунок 1– Граф причинно-наслідкових зв'язків між змінними моделі

Аналіз публікацій по темі дослідження.

Теорія графів та сфери їх застосування викладені у роботах [1-6]. Проте аналітичні моделі зміни технічного стану ОД, змістовний опис взаємозв'язків між елементами множин Π з елементами множин B, X, S , подані на рис.1, а також формальний опис узагальненого процесу зміни ТС й ОД відсутні. Дане дослідження проведене задля того, щоб створити адекватну модель зміни ТС й ОД як об'єктів неперервного типу.

Мета роботи полягає у отриманні аналітичної моделі зміни технічного стану ОД. Іншими словами, отримання рівняння, яке пов'яже елементи множини Π з елементами множин B, X, S . Змістовний опис взаємозв'язків між елементами вказаних множин ілюструється рис.1. Нижче розробляється й досліджується формальний опис узагальненого процесу зміни ТС й ОД.

Виклад основного змісту дослідження.

1. Розробка моделі зміни ТС

Для зручності аналізу впорядкуємо певним чином елементи множин Π, B, X, S . Кожному елементу цих множин надамо порядковий номер. У результаті вказані множини можна розглядати як багатовимірні вектори, а саме: $\vec{d} - n$ - вектор змінних технічного стану ОД, $\vec{b} - m$ - вектор змінних умов експлуатації; $\vec{x} - r$ - вектор зовнішніх впливів та $\vec{s} - k$ - вектор внутрішніх змінних стану ОД.

У загальному випадку елементи вектора \vec{d} знаходяться під одночасним впливом зі сторони елементів \vec{b}, \vec{x} та \vec{s} . Структура цього впливу може бути як завгодно складною. Припустимо, що структура цієї взаємодії лінійна, тобто приймається гіпотеза суперпозиції відносно впливів \vec{b}, \vec{x} та \vec{s} . Це обмеження дозволяє вести розробку моделі, користуючись композиційним принципом.

Припустимо також, що ОД функціонує безперервно на відрізку часу $[0, t_{\text{ц}}]$, де $t_{\text{ц}}$ - момент часу проведення профілактичного впливу. Після отримання моделі зміни ТС на відрізку $[0, t_{\text{ц}}]$ буде проаналізований випадок порушення гіпотези безперервності функціонування ОД.

Розглянемо дугу [2, 4] граф-моделі причинно-наслідкових зв'язків на рис.1. Поставимо проміжну задачу отримання аналітичного виразу, який пов'яже елементи $d_i(t)$ вектору \vec{d} з елементами $b_j(t), j = \overline{(1, m)}$. Зрозуміло, що першим членом цього виразу буде

модуль $\vec{d}(0)$ вектору номінальних значень змінних ТС. Відомо, що модель повинна відображати процес «накопичення» (будівля, ефекти втомлення тощо) взаємодії $\vec{d}(t)$ з елементами $b_j(t)$; крім того, у неї повинні входити кількісні характеристики цієї взаємодії. Враховуючи наведене вище й використовуючи гіпотезу суперпозиції, шуканий вираз можна подати у виді:

$$\vec{d}_b(t) = \vec{d}_0 + \overline{\Delta_b} \vec{d}(t);$$

$$\overline{\Delta_b} \vec{d}(t) = \left(\int_0^t \vec{b}^T(\tau) \cdot \vec{W}_1^b d\tau, \dots, \int_0^t \vec{b}^T(\tau) \cdot \vec{W}_n^b d\tau \right)^T, \quad i = \overline{(1, n)}, \quad (1)$$

де $\vec{W}_i^b - m$ - вектор коефіцієнтів, які характеризують вплив $\vec{b}(t)$ на $d_i(t)$, $t \in [0, t_{ц}]$.

Наступний етап розробки моделі пов'язуємо з формалізацією оператора дуги [3, 4] вихідного графа. Суттєва особливість цього етапу полягає у тому, що вектор $\vec{x}(t)$ залежить від вектору $\vec{b}(t)$. Якщо у цій залежності також використати гіпотезу суперпозиції, тоді збурюючим впливом на $\vec{d}_x(t)$ буде вектор $\vec{x}(t) + \vec{N}_b(t)$, й результат дії цього збурення можна подати у виді:

$$\vec{d}_x(t) = \vec{d}_0 + \overline{\Delta_x} \vec{d}(t);$$

$$\overline{\Delta_x} \vec{d}(t) = \int_0^t \left[\vec{x}(\tau) + \vec{N}_b(\tau) \right]^T \cdot \vec{W}_i^x d\tau, \quad (2)$$

де $\vec{W}_i^x - r$ -вектор коефіцієнтів впливу $\vec{x}(t)$ на $d_i(t)$, $t \in [0, t_{ц}]$; $\vec{N}_b(t)$ -вектор, який характеризує адитивний вплив $\vec{b}(t)$ на $\vec{x}(t)$.

При формуванні оператора дуги [5, 4] необхідно врахувати те, що, по-перше, вектор $\vec{s}(t)$ детермінований вектором $\vec{x}(t)$ чи $\vec{x}(t) + \vec{N}_b(t)$, по-друге, оператор A дуги [3, 5] залежить від поточного ТС чи $\vec{d}(t)$ (існує об'єктивний зворотній зв'язок), тобто $A = A[\vec{d}(t)]$. Врахування цих двох особливостей й прийняті вище обмеження визначають вид шуканого виразу:

$$\vec{d}_s(t) = \vec{d}_0 + \overline{\Delta_s} \vec{d}(t);$$

$$\overline{\Delta_s d_i}(t) = \int_0^t \left\{ A \left[\vec{d}(t) \right] \cdot \left[\vec{x}(\tau) + \vec{N}_b(\tau) \right] \right\}^T \cdot \vec{W}_i^s d\tau, \quad (3)$$

де $\vec{W}_i^s - k$ - вектор коефіцієнтів впливу $\vec{s}(t)$ на $d_i(t)$, $i = \overline{(1, n)}$, $t \in [0, t_{ц}]$.

На основі гіпотези суперпозиції об'єднаємо вирази (1), (2) та (3), у результаті чого отримаємо шукану узагальнену модель зміни поточного стану ОД:

$$\vec{d}(t) = \vec{d}_0 + \overline{\Delta_b d}(t) + \overline{\Delta_x d}(t) + \overline{\Delta_s d}(t). \quad (4)$$

2. Аналіз моделі зміни ТС

При розробці моделі (4) приймаємо припущення про безперервність функціонування ОД на $[0, t_{ц}]$. Для деяких об'єктів (наприклад, металоконструкції крану або тросової системи механізму підйому вантажу) це положення дійсно має місце. Існує великий клас ОД, котрі тільки частину часу з відрізка $[0, t_{ц}]$ використовуються за призначенням, а іншу частину знаходяться у режимі зберігання. (До речі, вантажопідйомні крани відносяться саме до таких ОД). Позначимо тривалість i -го випадку використання ОД за призначенням відрізком часу $[t_i^n, t_i^k]$, тоді відрізок часу i -го випадку знаходження ОД у режимі зберігання може бути поданий у виді $[t_i^k, t_{i+1}^n]$, $i = \overline{(1, N)}$; при цьому $t_1^n = 0$ й $t_N^k = t_{ц}$, N - число випадків використання ОД за призначенням на відрізку $[0, t_{ц}]$. Довжини відрізків часу зберігання й використання можуть суттєво відрізнитись одна від одної. Для прикладу, на рис.2. наведений варіант рівномірного чергування цих відрізків на $[0, t_{ц}]$.

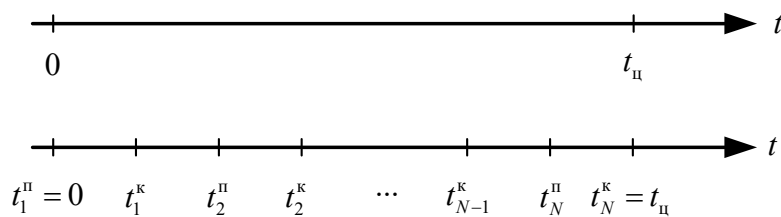


Рисунок 2 – Приклад рівномірного режиму експлуатації ОД

Загальний вид моделі (4) для ОД з циклічним режимом експлуатації не змінюється. Але при цьому зміст виразів (1) – (3)

певним чином трансформуються. Елементи векторів $\overline{\Delta_x d}(t)$ й $\overline{\Delta_s d}(t)$ у виразах (2) і (3) будуть мати вид:

$$\overline{\Delta_x d}_i(t) = \begin{cases} \Delta_x d_{ij}(t) = \Delta_x d_i(t_{j-1}^k) + \int_{t_j^n}^t [\vec{x}(\tau) + \vec{N}_B(\tau)]^T \vec{W}_i^x d\tau, \\ \text{якщо } t \in [t_j^n, t_j^k]; \\ 0, \text{ якщо } t \in [t_j^k, t_{j+1}^n], j = \overline{(1, N)}. \end{cases} \quad (5)$$

$$\overline{\Delta_s d}_i(t) = \begin{cases} \Delta_s d_i(t_{j-1}^k) + \int_{t_j^n}^t A[\vec{d}(t)] \cdot [\vec{x}(\tau) + \vec{N}_B(\tau)]^T \vec{W}_i^s d\tau, \\ \text{якщо } t \in [t_j^n, t_j^k]; \\ 0, \text{ якщо } t \in [t_j^k, t_{j+1}^n], j = \overline{(1, N)}. \end{cases} \quad (6)$$

Вектор змінних умов експлуатації характеризується тією особливістю, що певна частина його елементів $\vec{b}_*(t)$ продовжує справляти вплив на ТС об'єкту, навіть якщо ОД знаходиться в умовах зберігання. Тому вираз для $\Delta_B d_i(t)$ у формулі (1) перетворюється у наступний:

$$\overline{\Delta_B d}_i(t) = \begin{cases} \Delta_B d_{ij}(t) = \Delta_B d_i(t_{j-1}^k) + \int_{t_j^n}^t \vec{b}^T(\tau) \cdot \vec{W}_i^B d\tau, \\ \text{якщо } t \in [t_j^n, t_j^k]; \\ \Delta_B d_{ij}(t) = \Delta_B d_i(t_j^k) + \int_{t_j^k}^t \vec{b}_*^T(\tau) \cdot \vec{W}_i^B d\tau, \\ \text{якщо } t \in [t_j^k, t_{j+1}^n], j = \overline{(1, N)}. \end{cases} \quad (7)$$

Згідно виразу (3) між $\vec{d}(t)$ й $\vec{s}(t)$ існує зворотній зв'язок. За своєю фізичною сутністю він зазвичай позитивний. Погіршення ТС об'єкту призводить до більш жорстких з позицій надійності режимів

функціонування ОД, що, у свою чергу, може розглядатись як додатковий вплив на елементи вектору $\vec{d}(t)$. Крім того, у технічних системах, які працюють по замкненому циклу (вантажопідйомні крани та механізми, САУ, адаптивні системи), вхідний вплив $\vec{x}(t)$ організується у відповідності з деяким екстремальним значенням критерію, який залежить від $\vec{b}(t)$ й $\vec{d}(t)$. Наприклад, $\vec{x}(t) = F \left\{ \vec{y} \left[\vec{b}(t), \vec{d}(t), t \right] - \vec{y}_T(t) \right\}$, де $\vec{y}_T(t)$ - вектор необхідних вихідних впливів ОД.

Для таких об'єктів вирази (2) і (3) певним чином трансформуються. Аналіз цих виразів призводить до висновку про те, що замкнені режими функціонування є причиною додаткового впливу, що призводить до зміни змінних ТС.

На рис.1. пунктирними лініями зображені дуги [2, 5], [5, 2], [2, 6], [6, 2]. Це умовне позначення випадкового взаємного впливу середовища, внутрішніх й вихідних змінних один на одного. Звичайно, врахування цієї взаємодії уточнює модель (4), але рівень її складності також зростає.

Актуальність розробки моделей зміни ТС обумовлена, з однієї сторони, діагностичними задачами щодо визначення фактичного ТС ОД, а з другої – неможливістю прямого вимірювання змінних ТС. Ці фактори, які знаходяться у протиріччі, ставлять проблему опосередкованої оцінки змінних ТС. Одним з можливих методів розв'язку цієї проблеми можна вважати розробку моделі зміни ТС.

Висновки

1. Задача реалізації процесу побудови досить повної моделі зміни ТС конкретного ОД (вантажопідйомного механізму крану) пов'язана зі значними труднощами. Труднощі пояснюються перш за все великими розмірностями векторів $\vec{d}(t)$, $\vec{b}(t)$, $\vec{x}(t)$ й $\vec{s}(t)$, необхідністю складних експериментальних досліджень щодо оцінки елементів векторів \vec{W}_i^b , \vec{W}_i^x , \vec{W}_i^s , причому ці величини також можуть бути функціями часу, і необхідністю розробки моделі функціонування ОД (отримання явного виразу для оператора А).
2. Якщо модель зміни ТС побудована, тоді її використання за призначенням (наприклад, для оцінки ТС чи його прогнозування) пов'язане з необхідністю безперервного вимірювання причин, які визначають процес зміни ТС, тобто елементів векторів $\vec{b}(t)$, $\vec{x}(t)$ й $\vec{s}(t)$.

3. Запропонована у даному дослідженні узагальнена модель зміни ТС вантажопідйомних механізмів кранів як об'єктів неперервного типу має, на думку авторів роботи, певне теоретичне значення й може бути у подальшому покладена у основу теорії діагностування подібних технічних (складних) систем. Наприклад, якщо при розв'язуванні такої фундаментальної задачі технічної діагностики, як вибір множини параметрів ОД, необхідних для достатньо повної оцінки його ТС, за основу дослідження прийняти модель (4), тоді ця задача може бути розв'язана у результаті визначення величин:

$$q_i = d[d_i(t)] / dt = d[\Delta_b d_i(t)] / dt + \tag{8}$$

$$+ d[\Delta_x d_i(t)] / dt + d[\Delta_s d_i(t)] / dt$$

та їх використання при аналізі співвідношень залежності на множині П.

ЛІТЕРАТУРА

1. Оре О. Графы и их применение./ О.Оре. - М.: Мир, 1965.-174 с.
2. Басакер Р. Конечные графы и сети./ Р. Басакер, Т. Саати. - М.: Наука, 1974. – 220 с.
3. Берж К. Теория графов и ее применения./ К. Берж. – М.: ИЛ, 1962. – 300 с.
4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера./ В.П. Сигорский. – Киев: Техника, 1975. – 800 с.
5. Харари Ф. Теория графов./ Ф. Харари. – М.: Мир, 1973 - 365 с.
6. Белов В.В. Теория графов./ В.В. Белов, Е.М. Воробьев, В.Е. Шаталов. – М.: Высшая школа, 1976. – 430 с.