

МЕТОД, МОДЕЛЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЦІННОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ БЕЗПЕКИ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Полярус О. В., Лебединський А. В., Чепусенко Є. О.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Збільшення термінів експлуатації технічних залежить від безпеки їхньої роботи та впливу на навколишнє середовище. Рішення має прийматись на основі аналізу інформації, що отримують з багатьох датчиків різного типу. У статті подано метод визначення цінності вимірювальної інформації для безпеки мостових споруд, який ґрунтується на теорії статистичних рішень. Доведено, що під час розроблення інформаційних технологій на великих мостах та інших подібних технічних об'єктах потрібно, з одного боку, для дотримання умов безпеки мінімізувати середній ризик, а з іншого боку, вибрати інформацію, цінність якої перевищує деякий допустимий норму, що є різною для мостових споруд і залежить від оснащеності її датчиками, інформаційних технологій, що будуть використовуватись, і ще від багатьох факторів, які властиві мосту та умовам його експлуатації. Метод, модель та інформаційна технологія, які розроблені для мостової споруди, можна застосовувати також для інших технічних об'єктів.*

***Ключові слова:** прогин, мостова споруда, цінність вимірювальної інформації, інформаційна технологія, безпекові рішення.*

Вступ

Безпека великих технічних об'єктів є пріоритетним напрямом розвитку промисловості, а інформаційні технології, що її забезпечують, мають відповідати сучасним вимогам. Як приклад розглянемо безпеку мостових споруд (МС), кількість яких тільки в Україні перевищує 28400 [1]. Створення умов функціонування МС є важливим завданням безпеки інфраструктури держави. З часом під дією інтенсивних транспортних навантажень, а також під впливом внутрішніх напружень у конструкції і різноманітних атмосферних факторів міст втрачає міцність. Можливі і непередбачені впливи, що обумовлені розливами палива, аваріями автомобілів тощо. У таких умовах в елементах конструкції мосту з'являються різноманітні дефекти, наприклад, тріщини, а матеріал (бетон, метал) внаслідок старіння змінює свої структурні властивості. Близько 14 % бетонних мостів на дорогах України потребують негайного капітального ремонту або реконструкції, більше ніж 46 % мостів не відповідають вимогам сучасних норм як за габаритом, так і за вантажопідйомністю [2].

В інших країнах, наприклад у США, у звіті Американського товариства інженерів-будівельників зазначено, що 2013 року в США було 607380 мостів з середнім терміном експлуатації 42 роки. Річна вартість

ремонтів та технічного обслуговування мостів складає 12 мільярдів доларів США [3]. У мережі автомобільних доріг Європи існує більше 1 мільйона мостів, середній термін експлуатації яких також є великим. Виникає задача вибору: підтримувати старий міст в експлуатаційному стані чи побудувати новий. З одного боку, це економічна задача, а з іншого, – задача безпеки. Від рішення щодо продовження термінів експлуатації мосту залежить безпека руху транспорту та людей. Рішення щодо подальшої експлуатації мосту приймається на основі інформації про його стан, яку отримують за допомогою вимірювальних інформаційних систем [4].

Детально фундаментальні проблеми безпеки МС з огляду на результати вимірювань розглянуто в [5].

Аналіз публікацій

У багатьох країнах побудовані системи управління великими мостами, що вирішують як завдання моніторингу мостів в інтересах безпеки, так і завдання логістики. В основі сучасних систем управління лежать інформаційні технології, що використовують бази даних та поточні результати вимірювань. Навіть окремі великі мости мають розгалужену мережу контактних датчиків, з яких до вимірювальної інформаційної системи мосту надходить інформація про зна-

чення різних параметрів щодо стану МС. Головним недоліком контактних методів вимірювання є їхня висока вартість та тривалість здійснення робіт.

Методи дистанційного вимірювання параметрів МС активно розвиваються і впроваджуються в окремих країнах світу (США, Італія, Китай, Японія тощо). Роботи здійснюються в декількох напрямках: по-перше, в напрямі використання радарних малогабаритних систем [5] міліметрового та оптичного діапазонів електромагнітних хвиль для аналізу деформацій та прогинів елементів МС, зокрема силових тросів (stay-cables), що підтримують споруди. Для цього використовують фазові інтерферометри з великою розрізняювальною здатністю. Зазначені системи вимірюють динамічні властивості мостових споруд у локальних точках; по-друге, в напрямі застосування опто-механічних систем технічного зору [6, 7] з наступним обробленням зображень за розробленими алгоритмами, що дозволяє здійснювати аналіз динаміки конструкцій МС в розподілених областях. Ці методи не визначають важливий для практичної діяльності коефіцієнт динамічності споруд; по-третє, в напрямі застосування алгоритмів оброблення GPS-даних з фільтрацією Р. Калмана для отримання аналізу коефіцієнта динамічності МС [8]. Активно розвиваються технології обслуговування мостів з огляду на умови безпеки [9]. Авторами розроблені методи дистанційного оцінювання коефіцієнта динамічності МС, який є узагальненим параметром, що визначає стан споруди [10]. Аналіз коефіцієнта динамічності передбачає вимірювання прогину МС.

Динамічні прогини мостових споруд містять багато діагностичної інформації про стан МС. Виникає необхідність щодо виявлення закономірностей між типом поведінки прогинів у просторі та часі і станом конкретної мостової споруди. Якщо в мостовій конструкції є, наприклад, тріщини або розрив арматури в бетоні, то тип коливань елементів конструкції зміниться, але в цьому випадку майже неможливо надати загальні рекомендації для всіх мостів важко. Отже, виникає необхідність створення бази даних параметрів коливань МС і її аналіз в процесі експлуатації, що надасть можливість у майбутньому здійснити цілеспрямовану діагностику мостів.

Останнім часом у світі розроблені технології нового покоління, зокрема інтелектуальні

мостові споруди [11]. Це нові технології будівництва та обслуговування мостів з використанням інтелектуальних інформаційних технологій, зокрема хмарних [12], віртуальних та інтернет-технологій. Аналіз новітніх технологій здійснено в [13].

Традиційні контактні та неконтактні (дистанційні) методи дозволяють визначити локальний коефіцієнт динамічності МС у точці мосту, яка визначена нормативними документами. Згідно з цим підходом дефекти МС, що знаходяться у віддалених місцях від цієї точки, не впливають на зазначений КД, який може відповідати вимогам, хоча технічний стан МС щодо вимог безпеки є незадовільним. Отже, виникає необхідність вимірювання КД на всій поверхні споруди, тобто визначення глобального КД, хоча такого поняття не існує.

Авторами розроблені методи дистанційного визначення прогинів мостової споруди, що змінюються згодом, тобто динамічних прогинів [14]. Ці методи передбачають встановлення на нижній поверхні МС пасивних металевих відбивачів (пластин) і аналізу розподілу напруженості електромагнітного поля на будь-якій зручній для оператора відстані від зазначеної поверхні. Таким чином, цей метод дає можливість оцінити динамічні прогини МС в місцях розміщення пасивних випромінювачів, що істотно покращує можливість для здійснення діагностики стану всієї поверхні МС. Його доцільно застосовувати для мостів, що не обладнані сучасними вимірювальними інформаційними системами (ВІС). На мостах, що проектуються або будуються, безпосередньо на їхню поверхню можуть встановлюватись відповідні новітні датчики, що обладнані елементами інформаційних технологій.

Останнім часом програми моделювання мостової інтегрованої інформації здійснюють на спільній платформі [15]. Отже, ВІС, які обслуговують визначену МС, отримують велику кількість даних, які потрібно обробляти в реальному масштабі часу. Це викликає необхідність створення ефективних алгоритмів оброблення даних з використанням технології data mining. Похибки вимірювання та деякі інші причини знижують достовірність даних, таким чином, на їх підставі необхідно прийняти важливі для безпеки рішення. Отже, доцільно використовувати меншу кількість даних, які мають найбільшу цінність щодо теорії інформації..

Мета та постановка завдання

Метою статті є розроблення методу, моделі та інформаційної технології визначення цінності вимірювальної інформації про прогини мостових споруд для створення безпеки їх експлуатації.

Цінність вимірювальної інформації для безпеки експлуатації мостових споруд

Загальні підходи до цінності вимірювальної інформації подані в [16]. Економічні аспекти цінності інформації проаналізовані в [17]. У статті цінність інформації розглядається як важлива складова безпеки функціонування МС. Згідно з [18] цінність інформації визначається максимальною користю, яку забезпечує інформація, що зводиться до мінімізації середніх втрат $R_0(H_x)$, де

$$H_x = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log_2 p(x) dx \quad (1)$$

є інформаційною невизначеністю неперервного випадкового прогину x МС з розподілом його ймовірності $p(x)$. Невизначеність H_x до вимірювання прогину x залежить від виду апіорного розподілу щільності ймовірностей $p_{pr}(x)$, а після його вимірювання – від виду апостеріорного розподілу $p_{ps}(x)$. Червоним кольором на рисунку 1 зображено розподіл $p_{pr}(x)$, а синім кольором – такий самий розподіл для $p_{ps}(x)$.

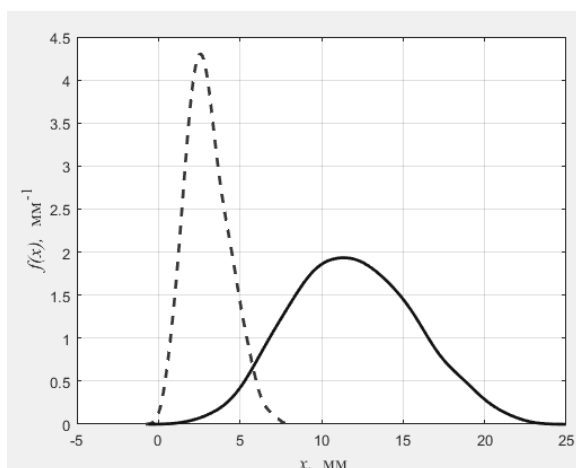


Рис. 1. Приклад апіорного (суцільна крива) та апостеріорного (штрихова крива) розподілів щільності ймовірностей прогину x мостової споруди

Під час вимірювання отримуємо деяку інформацію I , і тоді мінімальні середні втрати визначаються за формулою [18]:

$$\Delta R_0 = R_0(H_x) - R_0(H_x - I). \quad (2)$$

Для визначення ΔR_0 використовуються термодинамічні потенціали, і в загальному випадку аналіз (2) є ускладненим. Скористаємось фактом, який неодноразово продемонстровано в [18]: залежність мінімального середнього штрафу $R_0(H_x)$ є близькою до квадратичної залежності типу

$$R_0(H_x) = \mu H_x^2. \quad (3)$$

Коефіцієнт μ в конкретній задачі має розмірність $[\text{bit}^{-1}]$. Він вибирається таким, щоб був зручним для розрахунків, оскільки нас цікавить не величина мінімальних середніх втрат ΔR_0 , яка називається кількісною мірою цінності інформації [18], а заходи, що передбачають максимізацію ΔR_0 . Крім того, вибір квадратичної залежності є доцільним, але не є визначальним. Можливе використання інших степенів для визначення $R_0(H_x)$, наприклад:

$$R_0(H_x) = H_x. \quad (4)$$

Отже, мінімальні середні втрати ΔR_0 дорівнюють різниці невизначеності H_x до і після вимірювання. Ці невизначеності позначимо як H_x^{pr} і H_x^{ps} . Згідно з виразами (1), (2) та (4)

$$\Delta R_0 = H_x^{ps} - H_x^{pr} = - \int_{-\infty}^{\infty} p_{ps}(x) \cdot \log_2 p_{ps}(x) dx + \int_{-\infty}^{\infty} p_{pr}(x) \cdot \log_2 p_{pr}(x) dx. \quad (5)$$

ΔR_0 не залежить від математичного очікування прогинів x для розподілів $p_{pr}(x)$ та $p_{ps}(x)$, але залежить від дисперсії випадкових прогинів. Якщо в процесі вимірювання можна зменшити дисперсію прогину x , що відповідала апіорному розподілу, то отримуємо деяку інформацію про цей прогин. Цінність інформації є прагматичною мірою з точки зору досягнення мети, яка поставлена

дослідником. З точки зору безпеки функціонування МС метою інформаційних технологій є визначення режиму роботи мосту. Інформація, що дозволяє це зробити, є цінною.

Нормальний режим роботи D_1 МС у визначеній точці записується розподілом щільності ймовірностей прогину $p(x/D_1)$, а аномальний D_2 – розподілом $p(x/D_2)$ (рис. 2). Ці розподіли подібні до гауссівських і отримані на основі експериментальних досліджень на фізичній моделі мосту [19].

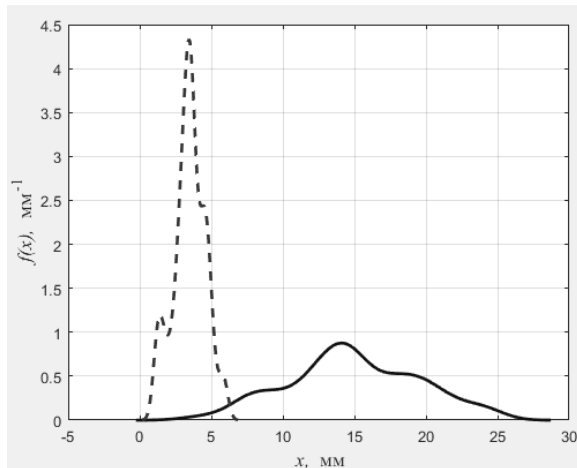


Рис. 2. Щільність розподілу прогину МС у визначеній точці за нормального $p(x/D_1)$ (штрихова лінія) та аномального $p(x/D_2)$ (суцільна лінія) режимів роботи фізичної моделі мосту

Графіки розподілу щільності ймовірностей прогину можна отримати в процесі оброблення експериментальних даних або моделювання одного з параметрів МС з огляду на похибки вимірювання. Приклади моделювання наведено в [20]. Чим більшою є похибка вимірювання, тим більшою є ширина кривих. Для побудови кривих щільності розподілу спочатку треба на основі статистичного моделювання побудувати гістограми, а потім їх апроксимувати нормальним розподілом.

Інформація потрібна для прийняття рішення. Позначимо можливі рішення як гіпотези [21] H_{ij} ($i, j=1,2$). Перший індекс i позначає прийняте рішення, а другий індекс j – реальний стан МС. Отже, гіпотези мають такий зміст: H_{11} – МС за прогином x у визначеній точці є справним, працює в нормальному режимі, отже, приймається рішення про справність об'єкта, H_{22} – МС за параметром x є несправним або вимушений під дією

зовнішніх факторів працювати в аномальному режимі, таким чином, система приймає рішення про аномальний режим роботи, H_{12} – МС працює в аномальному режимі, але вимірювальна інформаційна система цього не помічає, отже, приймається рішення про нормальний режим його роботи (пропуск аномального режиму), H_{21} – МС є справним, працює в нормальному режимі, але приймається рішення про його несправність або аномальний режим роботи (хибна тривога). Для аналізу ймовірності зазначених ситуацій вибирається поріг прийняття рішення x_0 на осі прогинів x .

Ймовірності неправильних рішень [20]:

$$\begin{aligned} P(H_{21}) &= P(D_1) \cdot P(x > x_0 / D_1) = \\ &= P_1 \int_{x_0}^{\infty} p(x / D_1) dx, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P(H_{12}) &= P(D_2) \cdot P(x < x_0 / D_2) = \\ &= P_2 \int_{-\infty}^{x_0} p(x / D_2) dx, \end{aligned} \quad (7)$$

де $P_1 = P(D_1)$, $P_2 = P(D_2)$ – апіорні ймовірності діагнозів D_1 та D_2 . Якщо є висока ймовірність хибної тривоги $P(H_{21})$, то це може призвести до небажаного вилучення МС з експлуатації або його частини, незважаючи на нормальну його роботу, що сприяє економічним втратам. Гіршою є ситуація, коли високою є ймовірність пропуску дефекту $P(H_{12})$. Наслідком цього може бути техногенна аварія, можливість якої не була завчасно визначена. Таким чином, можна мінімізувати $P(H_{12})$, але тоді істотно збільшиться $P(H_{21})$, що також є небажаним чинником.

Подібні задачі розв'язуються з використанням середнього ризику R , коли визначається відносна вага хибної тривоги C_{21} та вага пропуску дефекту C_{12} [20]:

Наприклад, якщо $C_{21} = 0.2$, $C_{12} = 0.8$, математичне очікування випадкових прогинів для нормального режиму роботи мосту $x_1 = 10$ мм та аномального $x_2 = 20$ мм, відповідні середньоквадратичні відхилення прогинів $\sigma_1 = 3$ мм, $\sigma_2 = 4$ мм, залежність $R(x_0)$ можна записати як (рис. 3).

$$R(x_0) = C_{21}P_1 \int_{x_0}^{\infty} p(x/D_1)dx + C_{12}P_2 \int_{-\infty}^{x_0} p(x/D_2)dx. \quad (8)$$

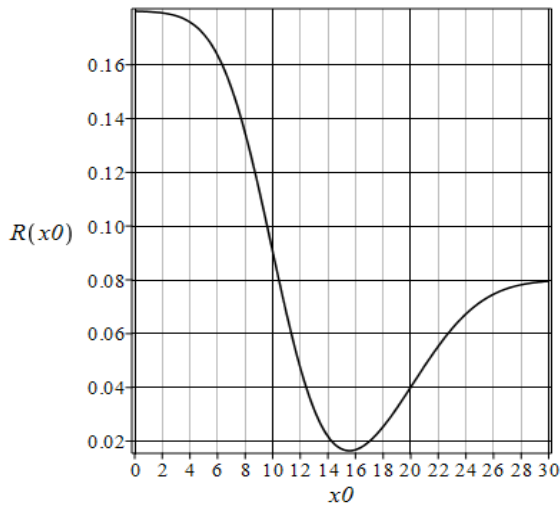


Рис. 3. Залежність середнього ризику від порогового значення прогину, за яким приймається рішення про безпеку мостової споруди, якщо $C_{21} = 0.2$, $C_{12} = 0.8$, $P_1 = 0.9$, $P_2 = 0.1$

Середній ризик R досягає мінімуму для цього прикладу, якщо $x_0 \approx 15.5$ мм. Після визначення оптимального порога x_0 можна оцінити ймовірність правильного визначення нормального режиму роботи МС за результатами вимірювання:

$$P(H_{11}) = P(x \leq x_0 / D_1) = \int_{-\infty}^{x_0} p(x/D_1)dx \quad (9)$$

або аномального режиму за такими самими результатами:

$$P(H_{22}) = P(x \geq x_0 / D_2) = \int_{x_0}^{\infty} p(x/D_2)dx. \quad (10)$$

Цінність інформації визначається за різними формулами [22], наприклад:

$$V = \frac{P_{ps} - p_{apr}}{1 - p_{apr}} = \frac{P(H_{22}) - P(D_2)}{1 - P(D_2)}, \quad (11)$$

де $p_{apr} = P(D_2)$ – ймовірність досягнення мети до отримання інформації, а $P_{ps} = P(H_{22})$ – після її отримання.

Аналіз результатів

Залежність цінності інформації V від порогового значення прогину мосту x_0 . Якщо $p_{apr} = P(D_2) = 0.1$, наведена на рис. 4.

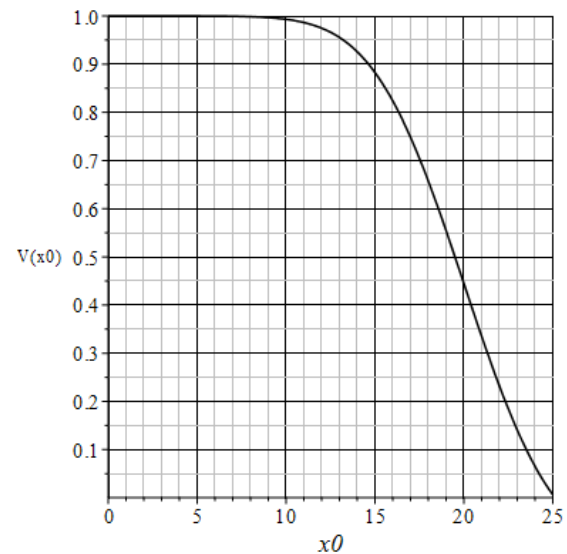


Рис. 4. Залежність цінності інформації від порогового значення прогину, за яким приймається рішення про безпеку мостової споруди

З рис. 4 випливає, що максимальна цінність інформації, яка близька до одиниці, досягається для заданих параметрів, якщо $x_0 \leq 10$ мм, хоча середній ризик для таких значень x_0 приймає великі значення, як порівняти з мінімальним (рисунок 3). За мінімального значення середнього ризику ($x_0 \approx 15.5$ мм) цінність інформації не є максимальною ($V \approx 0.85$). Отже, під час розроблення інформаційних технологій на великих мостах потрібно, з одного боку, для дотримання умов безпеки мінімізувати середній ризик $R(x_0)$, а з іншого боку, вибрати найбільш цінну інформацію $V(x_0)$. Це приклад задачі, що може розв'язуватись через оптимізацію функціонала, що містить функції $R(x_0)$ і $V(x_0)$ за умови належного виборі вагових коефіцієнтів перед зазначеними функціями. Вимоги безпеки є більш важливими, ніж цінність інформації, хоча остання також впливає на безпеку експлуатації мостів. Головною рекомендацією є мінімізація середнього ри-

зику $R(x_0)$ за умови, що $V(x_0) \geq V_a$, де V_a є допустимим мінімальним значенням цінності інформації, важливим для інформаційних технологій. Обґрунтування порогового значення V_a є складним завданням, і воно має враховувати тип мостової споруди, оснащеність її датчиками, інформаційні технології, що будуть використовуватись, інші фактори, які властиві мосту та умовам його експлуатації. Воно також має враховувати ранжування мостів за різними групами [23]. Для прикладу, що розглядається, наприклад, $V_a = 0.8$ є порогом, що задовольняє критерію мінімуму середнього ризику і є прийнятним для безпеки експлуатації мостів. Аналогічні дослідження можуть бути здійснені для багатьох точок мосту, в яких вимірюється прогин контактними або дистанційними методами, хоча можна обмежитись тільки тими точками, де прогин мосту найбільший. Такі точки не обов'язково будуть збігатися з точками, що рекомендовані в нормативній документації.

Недоліком цього способу є можливість визначення цінності інформації тільки для одного параметра МС, що вимірюється. Якщо кількість вимірюваних параметрів дорівнює m , то мінімальні середні втрати для одного i -го параметра становлять

$$\Delta R_{0i} = R_0(H_{x_i}) - R_0(H_{x_i} - I_i). \quad (12)$$

Розмірність всіх ΔR_{0i} є однаковою, тобто можна здійснити підсумовування. Тоді цінність всієї інформації для МС можна визначити за формулою

$$\Delta R = \sum_{i=1}^m c_i \cdot \Delta R_{0i}, \quad (13)$$

де c_i – ваговий коефіцієнт, що є важливим для безпеки ТСО i -го параметра, водночас $\sum_{i=1}^m c_i = 1$. Коефіцієнти c_i мають визначатися фахівцями експертної групи.

Для цієї інформаційної технології було створено графічний інтерфейс користувача, який залежно від вибраного експерименту (експериментальні дані прогину МС у вибраній точці за різних видів динамічного навантаження) будує його графік у верхній частині вікна ліворуч натисканням кнопки «Вибрати». Також натисканням цієї кнопки будується

ся графік розподілу щільності ймовірності прогинів у вибраній точці МС ліворуч у нижній частині вікна, а у нижній частині вікна праворуч з'являється обчислений за формулою (11) кількісний показник цінності інформації.

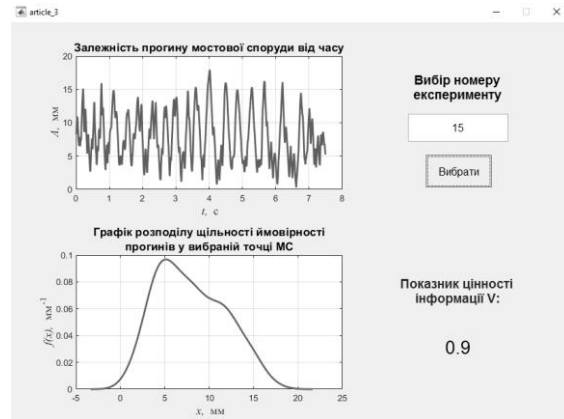


Рис. 5. Графічний інтерфейс користувача для оцінки цінності інформації

Висновки

Безпека експлуатації технічних об'єктів, зокрема мостових споруд, залежить від правильності прийняття рішення щодо продовження терміну їх експлуатації. Рішення приймаються на основі аналізу вимірюваної інформації, що отримують контактними та дистанційними методами. Великий обсяг інформації є причиною ускладнення алгоритмів її оброблення. У статті розроблено метод, що дозволяє визначити цінність всієї інформації про прогини мосту та показники статистичних рішень (ймовірностей пропуску дефекту мосту та хибної тривоги). Максимальна цінність інформації та мінімум середнього ризику спостерігаються за різних значень порогового рівня прогину. Запропоновано використовувати мінімально допустимий рівень цінності інформації. Якщо за порогового рівня прогину, що визначено за мінімізації ризику, цінність інформації перевищує мінімально допустимий рівень, то цінність інформації визначена, хоча вона може бути і не максимальною. Перевага тут надається безпеці експлуатації мосту, а не вимогам інформаційних технологій.

Література

1. Експлуатація і реконструкція мостів / Страхова Н. Є. та ін. Київ: Транспортна академія України, 2002. 408 с.
2. ДБН В.1.2-15:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. [Чинний

- від 2009-11-11]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України. 2009. 66 с. (Державні будівельні норми України).
3. American Society of Civil Engineering (ASCE). Infrastructure Report Card. Reston: ASCE. 2017. 112 p.
 4. Kratky R. J. Assessment of Performance of Vital Long-Span Bridges in the United States. Ohio: American Society of Civil Engineers, 2004. 42 p.
 5. Frangopol D. M. Bridge Safety and Reliability. Ohio: Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, 1999. 239 p.
 6. Gentile C. Application of Microwave Remote Sensing to Dynamic Testing of Stay-Cables. *Remote Sensing*. 2010. Vol. 2. P. 36–51.
 7. Spencer B. F., Hoskere V., Narazaki Y. Advances in computer vision-based civil infrastructure inspection and monitoring. *Engineering*. 2019. № 5. P. 199–222.
 8. Noncontact Deflection Distribution Measurement for Large-Scale Structures by Advanced Image Processing Technique / Ri S. et al. *Materials Transactions*. 2012. Vol. 53. № 2. P. 323–329.
 9. Riveiro B., Lindenbergh R. Laser Scanning: An Emerging Technology in Structural Engineering. Boca Raton: CRC Press. 2019. 270 p.
 10. Kaloop M. R., Hu J. W. Dynamic performance analysis of the towers of a long-span bridge based on GPS monitoring technique. *Journal of Sensors*. 2016. DOI: 10.1155/2016/7494817.
 11. Zhou X., Zhang X. Thoughts on the Development of Bridge Technology in China. *Engineering*. 2019. Vol. 5. P. 1120–1130.
 12. Suchocki C., Błaszczyk-Bąk W. Down-Sampling of Point Clouds for the Technical Diagnostics of Buildings and Structures. *Geosciences*. 2019. Vol. 9. № 2. P. 70. DOI: 10.3390/geosciences9020070.
 13. Pipinato A. Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. 878 p.
 14. Measurement of the Bridge Surface Deflections Using Near-Field Amplitude of Secondary Radiators System / Lebedynskyi A. V. et al. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2017. Vol. 2. № 6. P. 217–224.
 15. A Decade of Modern Bridge Monitoring Using Terrestrial Laser Scanning: Review and Future Directions / Rashidi M. et al. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. № 22. P. 3796. DOI: 10.3390/rs12223796.
 16. Glazer. R. Measuring the Value of Information: The Information-Intensive Organization. *IBM Systems Journal*. 1993. P. 99–110.
 17. Weill P. The Relationship Between Investment in Information Technology and Firm Performance: a Study of the Valve Manufacturing Sector. *Graduate School of Management, University of Melbourne*. 1990.
 18. Стратонович Р. Л. Теория информации. Москва: Сов. радио, 1975. 424 с.
 19. Полярус О. В., Лебединський А. В. Метод, модель та інформаційна технологія визначення сталості інформації при дистанційному контролі стану технічних об'єктів. *Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології*. 2021. № 92. DOI: 10.32620/oikit.2021.92.12.
 20. Czerniawski T., Leite F. Automated digital modeling of existing buildings: A review of visual object recognition methods. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 113. P. 103–131.
 21. Биргер И. А. Техническая диагностика. Москва: Машиностроение, 1978. 240 с.
 22. Корогодина В. И., Корогодина В. Л. Информациа как основа жизни. Дубна: Феникс, 2000. 208 с.
 23. Rashidi M., Samali B. A new model for bridge management: Part A: Condition assessment and priority ranking of bridges. *Aust. J. Civ. Eng.* 2016. № 14. P. 35–45.

References

1. Eksploatatsiia i rekonstruktsiia mostiv / Ye. N. Strakhova ta in. Vyd. 2-he. Kyiv: Transportna akademiia Ukrainy, 2002. 408 с.
2. DBN V.1.2-15:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Navantazhennia i vplyvy. [Chynnyi vid 2009-11-11]. Vyd. ofits. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2009. 66 s. (Derzhavni budivelni normy Ukrainy).
3. American Society of Civil Engineering (ASCE). Infrastructure Report Card. Reston: ASCE, 2017. 112 p.
4. Kratky R. J. Assessment of Performance of Vital Long-Span Bridges in the United States. Ohio: American Society of Civil Engineers, 2004. 42 p.
5. Frangopol D. M. Bridge Safety and Reliability. Ohio: Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, 1999. 239 p.
6. Gentile C. Application of Microwave Remote Sensing to Dynamic Testing of Stay-Cables. *Remote Sensing*. 2010. Vol. 2. P. 36–51.
7. Spencer B. F., Hoskere V., Narazaki Y. Advances in computer vision-based civil infrastructure inspection and monitoring. *Engineering*. 2019. № 5. P. 199–222.
8. Noncontact Deflection Distribution Measurement for Large-Scale Structures by Advanced Image Processing Technique / Ri S. et al. *Materials Transactions*. 2012. Vol. 53. № 2. P. 323–329.
9. Riveiro B., Lindenbergh R. Laser Scanning: An Emerging Technology in Structural Engineering. Boca Raton: CRC Press, 2019. 270 p.
10. Kaloop M. R., Hu J. W. Dynamic performance analysis of the towers of a long-span bridge based on GPS monitoring technique. *Journal of Sensors*. 2016. DOI: 10.1155/2016/7494817.
11. Zhou X., Zhang X. Thoughts on the Development of Bridge Technology in China. *Engineering*. 2019. Vol. 5. P. 1120–1130.

12. Suchocki C., Błaszczak-Bąk W. Down-Sampling of Point Clouds for the Technical Diagnostics of Buildings and Structures. *Geosciences*. 2019. Vol. 9, № 2. P. 70. DOI: 10.3390/geosciences9020070.
13. Pipinato A. *Innovative Bridge Design Handbook: Construction, Rehabilitation and Maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015. 878 p.
14. Measurement of the Bridge Surface Deflections Using Near-Field Amplitude of Secondary Radiators System / A. V. Lebedynskyi et al. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. 2017. Vol. 2. № 6. P. 217–224.
15. A Decade of Modern Bridge Monitoring Using Terrestrial Laser Scanning: Review and Future Directions / Rashidi M. et al. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12. № 22. P. 3796. DOI: 10.3390/rs12223796.
16. Glazer. R. Measuring the Value of Information: The Information-Intensive Organization. *IBM Systems Journal*. 1993. P. 99–110.
17. Weill P. The Relationship Between Investment in Information Technology and Firm Performance: a Study of the Valve Manufacturing Sector. Graduate School of Management, University of Melbourne. 1990.
18. Stratonovych R. L. *Teoriya ynformatsyy*. Moskva: Sov. radyo, 1975. 424 c.
19. Poliarus O. V., Lebedynskyi A. V. Metod, model ta informatsiina tekhnolohiia vyznachennia stalosti informatsii pry dystantsiinomu kontroli stanu tekhnichnykh ob'ektiv. Vidkryti informatsiini ta kompiuterni intehrovani tekhnolohii. 2021. № 92. DOI: 10.32620/oikit.2021.92.12.
20. Czerniawski T., Leite F. Automated digital modeling of existing buildings: A review of visual object recognition methods. *Automation in Construction*. 2020. Vol. 113. P. 103–131.
21. Byrher Y. A. *Tekhnicheskaya dyagnostyka*. Moskva: Mashynostroenye, 1978. 240 c.
22. Korohodyn V. Y., Korohodyna V. L. *Ynformatsiya kak osnova zhyzny*. Dubna: Fenyks, 2000. 208 c.
23. Rashidi M., Samali B. A new model for bridge management: Part A: Condition assessment and priority ranking of bridges. *Aust. J. Civ. Eng.* 2016. № 14. P. 35–45.

Полярус Олександр Васильович, д.т.н., проф. каф. метрології та безпеки життєдіяльності, poliarus.kharkov@ukr.net, тел. +38 096-213-08-89,
Лебединський Андрій Володимирович, доктор філософії, доц. каф. комп'ютерних технологій і мехатроніки, тел. +38 093-660-57-04, zoops0mania@gmail.com,
Чепусенко Євген Олександрович, асп. каф. метрології та безпеки життєдіяльності,

тел. +38 095-575-03-45,

eugeny.chepusenko@yandex.ua

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Method, model and information technology for determining the value of measurement information in the interests of safety of technical objects

Abstract. Problem. Extending the service life of technical objects is inextricably linked to the safety of their operation and impact on the environment. The decision should be made based on the analysis of information received from many sensors of different types. **Goal.** The goal is creating method, model and information technology for determining the value of measurement information in the interests of security of technical objects. **Methodology.** Solution of the set tasks involved application of the mathematical analysis, decision theory, metrology, theory of signal detection etc. **Originality.** The article presents a method of determining the value of measurement information for the safety of bridge structures, which is based on the theory of statistical solutions. **Results.** It has been proven that when developing information technologies on large bridges and other similar technical objects, it is necessary, on the one hand, to meet safety conditions, to minimize the average risk and, on the other hand, to choose information whose value exceeds a certain permissible threshold, which is different for bridge structures and depends on its equipment with sensors, the information technologies that will be used, and on many other factors that are characteristic of the bridge and its operating conditions. **Practical value.** The method, model and information technology developed for the bridge structure can be applied to other technical objects as well.

Key words: bridge deflections, measuring information value, safety decisions, information technology.

Poliarus Oleksandr, Doct. of Science, professor of Metrology and Safety of Human Vital Activities Department, poliarus.kharkov@ukr.net, tel. +38 096-213-08-89,

Lebedynskyi Andrii, PhD, Assoc. Prof. Computer Technology and Mechatronics Department, tel. +38 093-660-57-04, zoops0mania@gmail.com,

Chepusenko Yevheniy, post-graduate student of Metrology and Safety of Human Vital Activities Department

Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.