



RS Global
Journals

Scholarly Publisher
RS Global Sp. z O.O.
ISNI: 0000 0004 8495 2390

Dolna 17, Warsaw, Poland 00-773
Tel: +48 226 0 227 03
Email: editorial_office@rsglobal.pl

JOURNAL	World Science
p-ISSN	2413-1032
e-ISSN	2414-6404
PUBLISHER	RS Global Sp. z O.O., Poland
ARTICLE TITLE	A METHOD FOR ASSESSING THE QUALITATIVE STATE OF BRIDGES BASED ON A QUALIMETRIC MODEL
AUTHOR(S)	Olena Slavinska, Olena Usychenko, Bohdan Zelenskyi
ARTICLE INFO	Olena Slavinska, Olena Usychenko, Bohdan Zelenskyi. (2024) A Method for Assessing the Qualitative State of Bridges Based on a Qualimetric Model. <i>World Science</i> . 2(84). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30062024/8196
DOI	https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30062024/8196
RECEIVED	20 April 2024
ACCEPTED	24 May 2024
PUBLISHED	26 May 2024
LICENSE	 This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License .

© The author(s) 2024. This publication is an open access article.

МЕТОД ОЦІНКИ ЯКІСНОГО СТАНУ МОСТІВ НА ОСНОВІ КВАЛІМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ

Славінська О.С.

д-р. техн. наук, проф.

Національний транспортний університет

ORCID ID: 0000-0002-9709-0078

Усиченко О.Ю.

канд. техн. наук, доц.

Національний транспортний університет

ORCID ID: 0000-0002-7482-8420

Зеленський Б.М.

аспірант

Національний транспортний університет

ORCID ID: 0000-0002-9949-3209

Національний транспортний університет

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30062024/8196

ARTICLE INFO

Received: 20 April 2024

Accepted: 24 May 2024

Published: 26 May 2024

KEYWORDS

Bridges, Condition Assessment, Technical Condition, Operational Condition, Qualimetric Model, Expert Method, Defects, Reliability, Durability.

ABSTRACT

The article presents the application of a method for assessing the qualitative state of bridges based on the use of qualimetry methods. The proposed approach considers a wide range of parameters that affect the functioning and reliability of road bridges.

The method involves the use of a qualimetric model that allows systematizing and structuring of information about the physical condition of individual bridge elements and functional indicators. The weighting of the parameters was determined using expert and estimated methods, which increased the accuracy and objectivity of the assessment.

The development of a qualitative condition model includes the following stages: identification of bridge elements, determination of assessment parameters, development of a qualimetric model, determination of weighting coefficients for each criterion, analysis of the results of a specific object inspection, and determination of the overall operational condition of the bridge.

The results of the study show that the proposed methodology can be effectively used to assess the condition of bridges, providing a sufficiently high accuracy and completeness of the assessment. This contributes to improving the safety and reliability of bridge structures, reducing accidents and optimizing their maintenance costs.

The proposed assessment method has prospects for implementation in the practice of bridge condition management and can be further applied in the system of monitoring the condition of transport facilities.

Citation: Olena Slavinska, Olena Usychenko, Bohdan Zelenskyi. (2024) A Method for Assessing the Qualitative State of Bridges Based on a Qualimetric Model. *World Science*. 1(83). doi: 10.31435/rsglobal_ws/30062024/8196

Copyright: © 2024 Olena Slavinska, Olena Usychenko, Bohdan Zelenskyi. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Вступ.

Метою даного дослідження є визначення вагомостей конструктивних параметрів мосту та показників для комплексної оцінки його стану, а саме, фізичного та функціонального зносу. Це дозволить приймати обґрунтовані рішення щодо обслуговування, ремонту та модернізації споруди, що впливатиме на безпеку, функціональність, надійність та довговічність. Робота відповідає напрямку Національного фонду досліджень України, а саме конкурсу «Наука для відбудови України в воєнний та повоєнний періоди».

Обстеження – це процес отримання якісних та кількісних показників експлуатаційних властивостей об'єкта з визначенням й оцінкою його технічного стану та наданням рекомендацій щодо підтримання експлуатаційної придатності або припинення експлуатації.

Своєчасне обстеження дозволяє зібрати дані про стан мосту, які є критично важливими для прийняття рішень щодо його експлуатації. Ця інформація включає в себе виявлення дефектів, оцінку зносу матеріалів та інших параметрів, що впливають на безпеку та довговічність споруди.

На основі результатів обстежень складаються паспорти споруд, які містять детальну інформацію про технічний стан мосту.

Якщо обстеження виявляє необхідність у проведенні ремонтних робіт, розробляються відповідні проекти. Це дозволяє ефективно планувати і виконувати необхідні роботи, що позитивно впливає на безпеку дорожнього руху та довговічність мостових конструкцій.

Світова практика показує, що витрати на обстеження окупаються завдяки оптимізації витрат на експлуатацію та утримання мостів. Раннє виявлення проблем дозволяє проводити профілактичні роботи, що знижує ризик великих аварій та зменшує потребу в дорогих ремонтних роботах.

Роботи [1, 2] присвячені комплексній оцінці якісного стану перезвоженої ділянки автомобільної дороги з дренажною системою. Розглядається вплив природньо-кліматичних факторів, таких як вода та різкі коливання температури, на стан дороги. Метод оцінки базується на сукупності окремих показників, які характеризують фізичний та функціональний знос. Результати дослідження дозволили розробити комплексний метод оцінки якісного стану, зокрема для ділянок, де необхідно влаштовувати дренажну систему.

У роботі [3] представлено основні аспекти управління якістю у будівництві доріг. Охоплені всі етапи від планування і вибору матеріалів до контролю якості в процесі будівництва та оцінки готових об'єктів на основі кваліметричної моделі. Особлива увага приділена використанню сучасних методів контролю якості, інтеграції міжнародних стандартів, управлінню ризиками та економічним аспектам забезпечення якості.

Якісний стан об'єкта [3] – це комплексна характеристика, що відображає його відповідність встановленим вимогам, нормам та стандартам. Він включає в себе різні аспекти функціонування та експлуатації об'єкта, такі як фізичний стан, функціональний стан, надійність, безпека, експлуатаційні характеристики тощо.

Якість продукції можна представити у вигляді ієрархічної моделі [1 – 4], яка складається з сукупності властивостей. Така модель є штучною багаторівневою системою показників, що всебічно та раціонально характеризує якість продукції. Комплексний показник (рис. 1) розташований на нульовому рівні та включає суму всіх диференціальних показників, які представляють прості властивості продукції і знаходяться на найвищому, n -му рівні моделі.

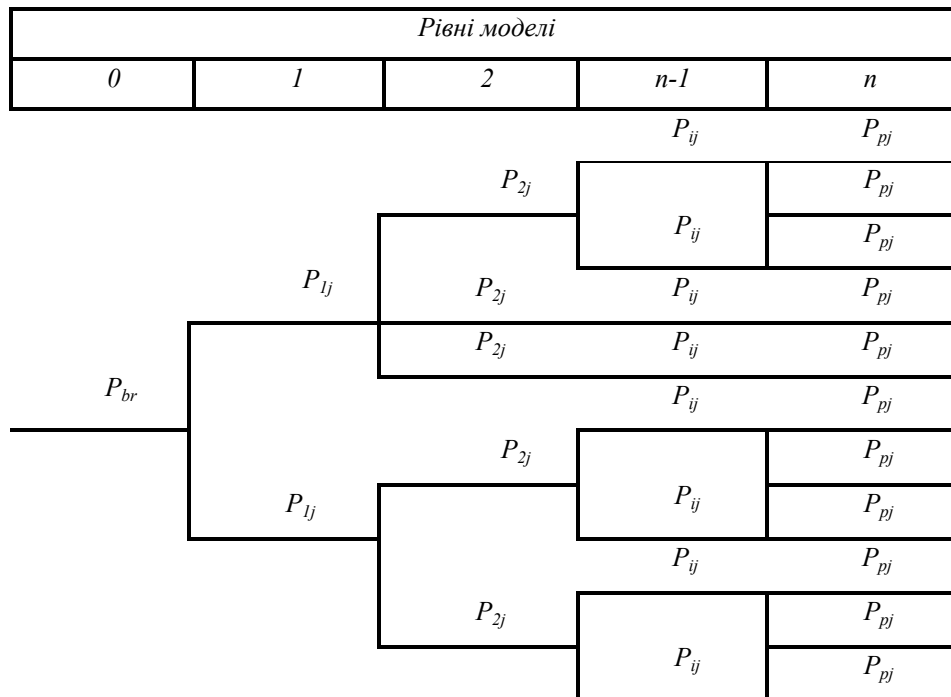


Рисунок 1. Кваліметрична модель якісного стану транспортної споруди.

У міру пересування моделлю справа наліво властивості продукції укрупнюються (підсумовуються), вони стають складнішими (груповими, комплексними).

Основними показниками якісного стану автодорожнього мосту є функціональні показники та фізичний знос (рис. 2).

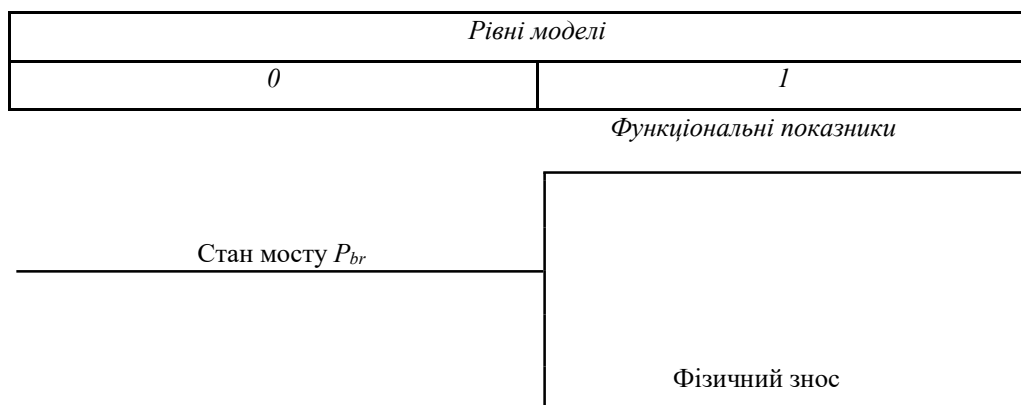


Рисунок 2. 0 та 1 рівні кваліметричної моделі транспортної споруди.

Для отримання коефіцієнтів вагомості функціональних показників та фізичного зносу був застосований кошторисний метод. Згідно з кошторисним розрахунком будівництва автодорожнього мосту (довжиною 30 м) були отримані коефіцієнти вагомості для фізичного зносу (0,80) та функціональних показників (0,20).

Рівень якісного стану є величиною залежною від сукупності показників вищої підгрупи з урахуванням їх вагомості, згідно з кваліметричною моделлю [1 – 4]:

$$P_{br} = \sum_{i=1}^n P_{1i} \cdot m'_{1i}, \quad (1)$$

де m'_{1i} – коефіцієнт вагомості властивостей на першому рівні моделі;
 n – кількість груп показників.

Рівень якісного стану, згідно з кваліметричною моделлю [1 – 4], визначається як коефіцієнт за формулою (1), тоді:

$$P_{br} = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^l P_j \cdot m_j) \cdot m'_i, \quad (2)$$

де P_{br} – диференційний відносний показник властивості з коефіцієнтом m'_{1i} ;
 P_j – одиничний диференційний показник якісного стану транспортної споруди;
 m_j – коефіцієнт вагомості простих властивостей, що характеризують якісний стан об'єкта оцінки;
 m'_i – коефіцієнт вагомості складних (комплексних) властивостей, що характеризують якісний стан об'єкта оцінки;
 l – кількість показників розглянутого елемента мосту.

Експертний метод визначення коефіцієнтів вагомості базується на аналізі думок фахівців, які оцінюють характеристики елементів об'єкта оцінки. Групові коефіцієнти вагомості для кожної властивості об'єкта визначаються як відношення середньої оцінки експертів до загальної суми середніх оцінок.

Коефіцієнт вагомості i -ї властивості даної групи визначається за формулою:

$$m'_i = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n N_{ij}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n N_{ij}}, \quad (3)$$

де N_{ij} – i -а властивість у балах, що оцінюється j -м експертом;
 k – кількість властивостей у групі;
 n – кількість експертів.

Далі розраховуються рівневі коефіцієнти вагомості кожної властивості.

Найкращим є спосіб суб'єктивного зважування кінцевих результатів – визначення коефіцієнтів вагомості за формулою:

$$m_{ij} = \sum_{j=1}^q m_j z_j, \quad (4)$$

де m_{ij} – коефіцієнт вагомості простих властивостей, що характеризують стан, визначений j -тим методом;
 j – номер застосованого методу;
 q – кількість застосованих методів;
 z_j – питомий коефіцієнт j -того методу.

Цей підхід дозволяє враховувати суб'єктивні оцінки експертів для кожної характеристики мосту та призначати коефіцієнти вагомості залежно від їхнього внеску до загальної якості об'єкта.

Будуємо загальну кваліметричну модель стану автодорожнього мосту (рис. 3).

Рівні моделі		
0	1	2
Стан мосту P_{br}	Функціональний знос	Безпека дорожнього руху
		Габарит
		Поперечний профіль покриття на споруді
		Наявність обмежень
		Оцінка впливу на навколишнє середовище
	Фізичний знос	Прогонова будова
		Опори
		Фундаменти
		Мостове полотно
		Підходи до споруди
		Русло
		Регуляційні споруди

Рисунок 3. Перші три рівні загальної кваліметричної моделі стану мосту.

1 – 4 рівні функціонального та фізичного зносу наведені на рис. 4 та рис. 5.

1	2	3
Функціональний знос	Безпека дорожнього руху	Наявність огорожі безпеки
		Наявність поручневої огорожі
		Наявність дорожньої розмітки
		Проїзду по споруді
		Проходу на тротуарі
	Габарит	Підмостовий габарит по ширині (для судноплавних річок)
		Підмостовий габарит по висоті (для судноплавних річок)
	Поперечний профіль покриття на споруді	Отвір моста
	Наявність обмежень	Обмеження швидкості руху по споруді
		Обмеження габариту проїзду по ширині
	Оцінка впливу на навколишнє середовище	Обмеження габариту проїзду по висоті
		Обмеження максимальної маси транспортного засобу для руху по споруді
		Шумове забруднення
		Стан русла (зона впливу)

Рисунок 4 – Кваліметрична модель функціонального зносу мосту.

1	2	3	4
Фізичний знос	Прогонова будова	Дефекти	Що знижують несну здатність
		Вплив зниження вантажопідйомності	Що не впливають на несну здатність
		Характеристики матеріалів	Зниження проєктних характеристик матеріалу
			Карбонізація бетону
	Опори	Дефекти	Корозійне зношування основних металевих несних елементів
			Дефекти опори, що знижують несну здатність
		Зниження проєктних характеристик матеріалів	Дефекти опори, що не впливають на несну здатність
			Дефекти опорних частин, що знижують несну здатність опор
	Фундаменти		Дефекти опорних частин, що не впливають на зниження несної здатності опорних частин
		Дефекти	Що знижують несну здатність
	Мостове полотно		Що не знижують несну здатність
		Проїзна частина	Стан дорожнього покриття
			Стан гідроізоляції на споруді
			Стан водовідведення
	Підходи до споруди	Трогуари	Стан деформаційних швів
		Проїзна частина (покриття)	Стан огорожі безпеки
		Огорожа безпеки	Стан покриття на тротуарі
		Укріплення конусів	Стан поручневої огорожі
	Русло	Засміченість	
	Регуляційні споруди	Розмив/намив	
		Дефекти	

Рисунок 5. Кваліметрична модель фізичного зносу автодорожнього мосту.

Функціональний знос.

Функціональний знос мосту – це зниження його здатності виконувати свої основні функції через розвиток інтенсивності транспортного потоку, старіння, знос або вплив зовнішніх факторів. Оцінка функціонального зносу включає кілька аспектів, які впливають на безпеку, надійність і ефективність мосту. Перелік категорій та підгруп, які вимагають оцінки функціонального зносу:

1. Безпека дорожнього руху, до якої відноситься:
 - наявність огорожі безпеки на споруді – сприяє зниженню ризику аварій, захищає життя людей та запобігає пошкодженню конструкцій мосту;
 - наявність поручневої огорожі на тротуарах – сприяє підвищенню безпеки пішоходів;
 - наявність дорожньої розмітки – безпосередньо впливає на безпеку руху транспорту.
2. Габарит:
 - проїзду по споруді – залежить від категорії дороги та довжини споруди, визначається згідно з [5];
 - проходу на тротуарі – згідно з [6];
 - підмостовий габарит по ширині (для судноплавних річок);
 - підмостовий габарит по висоті (для судноплавних річок);
 - отвір моста.
3. Поперечний профіль покриття на споруді.
4. Наявність обмежень:
 - швидкості руху по споруді;
 - габариту проїзду по ширині;
 - габариту проїзду по висоті;
 - максимальної маси транспортного засобу. Через корозію, тріщини або інші пошкодження міст може втратити здатність витримувати проєктні навантаження.
5. Оцінка впливу на навколишнє середовище:
 - шумове забруднення (наприклад, від деформаційних швів);
 - зона впливу мосту, стан русла.

Функціональний знос мосту є важливим показником, який визначає його придатність до експлуатації. Регулярний моніторинг та оцінка функціонального зносу дозволяють своєчасно виявляти проблеми та проводити необхідні ремонтні роботи для підтримання високого рівня безпеки та ефективності мосту.

Фізичний знос.

Фізичний знос мосту — це поступове погіршення проєктних характеристик матеріалів і конструкцій мосту через природні процеси та у ході експлуатації, що в свою чергу впливає на його довговічність та надійність.

Загальноприйнятою є оцінка мосту за наступними елементами [8]: прогонова будова, опори та опорні частини, фундаменти, мостове полотно, підходи до споруди, русло та регуляційні споруди.

Основні фактори, що впливають на фізичний знос мостів, включають:

1. Час. З плином часу матеріали втрачають свої початкові властивості, що призводить до поступового погіршення стану конструкцій.
2. Експлуатаційні навантаження. Постійний рух транспорту, зокрема рух великогабового транспорту (часто із перевантаженням), створює динамічні навантаження на міст.
3. Кліматичні умови. Температурні коливання, опади, замерзання і відтавання впливають на стан матеріалів, спричиняючи корозію, тріщини та інші дефекти.
4. Корозія. Корозійні процеси особливо актуальні для металевих конструкцій, які піддаються дії води, солей та інших агресивних середовищ.
5. Погіршення стану водовідвідних конструкцій та пошкодження гідроізоляції на споруді. Тривале замокання елементів мосту поступово призводить до серйозних дефектів, що впливають на несну здатність конструкції (руйнування бетону, корозія металевих несних елементів тощо).

Для оцінки фізичного зносу мостів можуть використовуватися такі методи:

1. Експериментальний метод: включає візуальний огляд, використання неруйнівних методів контролю (ультразвуковий контроль, магнітний контроль, рентгеновська дефектоскопія тощо) для визначення стану конструкцій.

2. Розрахунковий метод: базується на використанні математичних моделей та комп'ютерних програм для оцінки залишкового ресурсу конструкцій, з урахуванням результатів експериментальних досліджень.

3. Експертний метод: залучення висококваліфікованих фахівців для оцінки технічного стану мостів на основі досвіду та знань.

Експертний метод.

Експертний метод визначення показників вагомості по елементах використовує знання та досвід фахівців для оцінки значущості різних параметрів або елементів, що впливають на якісний стан транспортної споруди. Цей метод широко застосовується в ситуаціях, коли кількісні дані недостатні або важко доступні, і потрібно покладатися на суб'єктивні оцінки експертів.

Використання експертного методу передбачає такі етапи:

1. Формування експертної групи. Вибираються фахівці з необхідними знаннями та досвідом в області оцінки якісних показників транспортних споруд. Це можуть бути інженери, будівельники, проєктувальники, науковці, експерти в галузі будівництва тощо.

2. Визначення параметрів оцінки. Визначаються всі параметри або елементи, що будуть оцінюватися.

3. Оцінка вагомості параметрів. Кожен експерт незалежно оцінює вагомість кожного параметра або елемента.

4. Обробка експертних оцінок. Зібрані оцінки аналізуються та обробляються.

5. Визначення вагових коефіцієнтів. На основі оброблених даних визначаються вагові коефіцієнти для кожного параметра або елемента. Ці коефіцієнти відображають відносну важливість кожного параметра для загальної оцінки якості споруди.

6. Перевірка та валідація. Отримані результати перевіряються на відповідність реальним даним і, за необхідності, коригуються. Це може включати проведення додаткових експертних опитувань або аналіз результатів на основі інших методів оцінки.

Основна перевага експертного методу полягає в можливості отримати оцінки навіть за відсутності достатньої кількості кількісних даних. Недоліки включають суб'єктивність оцінок і можливість упередженості експертів. Для мінімізації цих недоліків важливо вибирати експертів високої кваліфікації та застосовувати об'єктивні методи обробки даних.

Для проведення дослідження сімом експертам із спеціалізацією в галузі транспортної будівництва було запропоновано пройти опитування. Всі запрошені експерти мали досвід роботи в сфері проєктування, будівництва або експлуатації транспортних споруд понад 5 років.

Оцінка факторів, що впливають на технічний стан елементів мосту анкеті спрямована на отримання експертних оцінок з подальшим виведенням коефіцієнтів з метою визначення загального технічного стану споруди.

Оцінка здійснювалася за допомогою 100 бальної шкали, де кожен бал відображав рівень важливості впливу окремої підкатегорії на загальний технічний стан моста.

На мінімальному рівні, оцінка 1 відповідає найменш значущому впливу, тоді як на максимальному рівні, оцінка 100 відображає найбільш критичну важливість впливу. Оцінювання кожного пункту виконувалось незалежно один від одного.

Експертам пропонувалося розглянути різні фактори, що впливають на технічний стан елементів і визначити їх важливість для технічного стану моста в цілому.

На основі отриманих даних було визначено коефіцієнти вагомості по елементах (табл. 1) та по їх підрозділах (табл. 2 та табл. 3) на прикладі мосту без регуляційних споруд.

Таблиця 1. Визначення коефіцієнтів вагомості основних конструктивних елементів експертним методом.

Ч.ч.	Оцінка експертів							Середня оцінка	Коефіцієнти вагомості для мосту без регуляційних споруд	Коефіцієнти вагомості для мосту із регуляційними спорудами	Коефіцієнти вагомості для шляхопроводу	Конструктивний елемент [8,9]
	1	2	3	4	5	6	7					
1	100	100	100	100	90	100	100	99	0,25	0,24	0,28	Прогонова будова
2	100	100	80	100	70	100	100	93	0,24	0,22	0,26	Опори та опорні частини
3	100	100	80	100	80	80	100	91	0,23	0,22	0,26	Фундаменти
4	80	80	30	10	50	30	80	51	0,13	0,12	0,14	Мостове полотно
5	30	60	15	10	15	15	20	24	0,06	0,06	0,07	Підходи
6	30	70	15	15	50	5	40	32	0,08	0,08	-	Русло
7	15	60	10	10	15	10	50	24	-	0,06	-	Регуляційні споруди

Таблиця 2. Визначення коефіцієнтів вагомості фізичного зносу конструктивних елементів експертним методом для мосту без регуляційних споруд.

Ч.ч.	Середня оцінка експертів	Сума середніх оцінок	Груповий коефіцієнт вагомості властивості	Коефіцієнт вагомості показника	Рівневий коефіцієнт вагомості властивості	Конструктивний елемент
1	2	3	4	5	6	7
1	95,7	440,0	0,22	0,25	0,055	Дефекти, що знижують несну здатність прогонової будови, P1
2	51,4		0,12		0,030	Дефекти, що не впливають на несну здатність прогонової будови, P2
3	92,9		0,21		0,053	Зниження вантажопідйомності на технічний стан прогонової будови, P3
4	68,6		0,16		0,039	Зниження проектних характеристик матеріалу, P4
5	47,1		0,11		0,027	Карбонізація бетону, P5
6	84,3		0,19		0,048	Корозійне зношування основних металевих несних елементів, P6

Таблиця 2. Продовження.

1	2	3	4	5	6	7
7	98,6	295,9	0,33	0,24	0,079	Дефекти опор, що знижують несну здатність, P7
8	42,9		0,14		0,034	Дефекти опор, що не впливають безпосередньо на несну здатність, P8
9	64,3		0,22		0,052	Дефекти опорних частин, що знижують несну здатність, P9
10	33,0		0,11		0,027	Дефекти, що не впливають на зниження несної здатності опорних частин, P10
11	57,1		0,19		0,046	Зниження проектних характеристик матеріалів, P11
12	98,6	135,0	0,73	0,23	0,171	Дефекти, що знижують несну здатність фундаментів, P12
13	36,4		0,27		0,063	Дефекти, що не знижують несну здатність фундаментів, P13
14	36,4	333,3	0,11	0,13	0,014	Стан дорожнього покриття, P14
15	74,3		0,22		0,029	Стану гідроізоляції на споруді, P15
16	48,6		0,15		0,019	Стан водовідведення, P16
17	72,9		0,22		0,029	Стан деформаційних швів, P17
18	38,0		0,11		0,015	Стан огорожі безпеки, P18
19	36,4		0,11		0,014	Стану покриття на тротуарі, P19
20	26,7		0,08		0,011	Стан поручневої огорожі, P20
21	37,3	130,1	0,29	0,06	0,017	Стан огорожі безпеки на підходах, P21
22	40,0		0,31		0,019	Стан покриття на підходах, P22
23	52,9		0,41		0,025	Стан укріплення конусів опор, P23
24	48,6	121,4	0,40	0,08	0,033	Засміченість русла, P24
25	72,9		0,60		0,049	Зона впливу мосту та/або розмив/намив русла, P25

Таблиця 3. Визначення коефіцієнтів вагомості фізичного зносу конструктивних елементів експертним методом для мосту без регуляційних споруд.

Ч.ч.	Середня оцінка	Сума середніх оцінок	Груповий коефіцієнт вагомості властивості	Коефіцієнт вагомості показника	Рівневий коефіцієнт вагомості властивості	Конструктивний елемент
1	2	3	4	5	6	7
1	70,0	181,4	0,39	0,23	0,079	Наявність огорожі безпеки, P26
2	71,4		0,39		0,080	Наявність поручневої огорожі, P27
3	40,0		0,22		0,045	Наявність дорожньої розмітки, P28

Таблиця 3. Продовження.

1	2	3	4	5	6	7
4	50,0	175,7	0,28	0,23	0,093	Габарит проїзду по споруді, Р29
5	65,7		0,37		0,122	Габарит проходу на тротуарі, Р30
6	60,0		0,34		0,111	Отвір моста, Р31
7	58,6	58,6	1,00	0,08	0,066	Поперечний профіль покриття на споруді, Р32
8	57,3	250,3	0,23	0,32	0,064	Обмеження швидкості руху по споруді, Р33
9	71,4		0,29		0,080	Обмеження габариту проїзду по ширині, Р34
10	80,0		0,32		0,090	Обмеження габариту проїзду по висоті, Р35
11	41,6		0,17		0,047	Обмеження максимальної маси транспортного засобу для проїзду по споруді, Р36
12	37,3	110,1	0,34	0,14	0,042	Шумове забруднення, Р37
13	72,9		0,66		0,082	Зона впливу мосту та/або розмив/намив русла Р38

Після визначення коефіцієнта вагомості показника (стовпчик 5 табл. 2 та табл. 3), розраховуємо груповий коефіцієнт вагомості властивості конкретного показника (стовпчик 4 табл. 2 та табл. 3). Знаючи груповий коефіцієнт вагомості властивості та коефіцієнт вагомості показника, визначаємо рівневий коефіцієнт вагомості властивості (стовпчик 6 табл. 2 та табл. 3). Значення рівневого коефіцієнта вагомості кожної властивості необхідно помножити на значення даної властивості. Стан автодорожнього мосту R_{br} визначаємо за формулою (2).

Для інших типів транспортних споруд розрахунок виконується аналогічно табл. 2 та 3 із застосуванням інших коефіцієнтів із табл. 1. Конструктивні елементи можуть змінюватись в залежності від наявності чи відсутності їх на певному об'єкті.

Висновки.

Кваліметрична модель визначення якісних показників мостів забезпечує комплексний підхід до оцінки стану транспортної споруди. Вона включає в себе різні рівні, що дозволяє детально аналізувати кожен аспект мосту, від окремих елементів конструкції до експлуатаційних характеристик та економічної ефективності. Цей підхід гарантує, що всі важливі параметри, які впливають на загальний стан та функціонування мосту, будуть враховані та оцінені.

Використання експертного методу для визначення вагових коефіцієнтів дозволяє врахувати думки та досвід фахівців, що підвищує точність та об'єктивність оцінки. Вагові коефіцієнти допомагають визначити відносну важливість кожного параметра, що впливає на загальний стан мосту та забезпечують можливість формування інтегрального показника якості.

Кваліметрична модель повинна мати мінімальну, але достатню кількість рівнів, щоб забезпечити точність оцінки якості мосту. Занадто велика кількість рівнів може ускладнити процес оцінки, збільшивши кількість необхідних вимірювань і обчислень. Тому важливо знайти баланс між деталізацією моделі та її практичною зручністю.

У результаті розробки кваліметричної моделі, експертним методом було визначено коефіцієнти вагомості основних елементів та їх підрозділів. Наприклад, для мосту через несудноплавну річку без регуляційних споруд вагомисть деяких основних елементів складає: прогонова будова – 0,25, опори та опорні частини – 0,24, фундаменти – 0,23.

Запропонована модель визначення якісних показників мостів є ефективним інструментом для оцінки стану транспортних споруд. Використання такої моделі сприяє своєчасному виявленню проблем та прийняттю обґрунтованих рішень щодо ремонту та обслуговування мостів, що в свою чергу підвищує їх надійність та довговічність.

REFERENCES

1. Bubela, A. (2020). Comprehensive assessment of the qualitative state of a road with a drainage system. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(2(54)), 20-26. URL: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.210556>.
2. Bubela A.V. Methodology for the design of transverse drainage of shallow with the assessment of the quality state of the road: Doctor of Technical Sciences thesis: 05.22.11 / Bubela Andrii Volodymyrovych. - Kyiv, 2021. - 427 p.
3. Sidenko V. M., Rokas S. Ju. *Upravlenie kachestvom v dorozhnom stroitelstve*. M.: Transport, 1981. 252 s.
4. Dolzhanskiy A.M., Bondarenko O.A., Petlyovaniy Ye.A. INFLUENCE OF THE AVERAGE WEIGHTED ESTIMATION TYPE ON THE DEPENDENCE OF THE COMPLEX QUALITY INDEX ON THE PARAMETERS OF OBJECT. *Devices and Methods of Measurements*. 2017;8(4):398-407. URL: <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2017-8-4-63-67>.
5. DBN B.2.3-4: 2015 Roads. Part I. Design. Part II. Construction.
6. DBN B.2.3-6:2009 Transport facilities. Bridges and pipes. Inspection and testing.
7. DBN B.2.3-22:2009 Bridges and pipes. Basic design requirements.
8. DSTU 9181:2022 Guidelines for assessment and forecasting of the technical condition of road bridges.
9. DSTU 8814: 2018 Transport structures. Road bridges. Terms and definitions of concepts.