

УДК 624.21

Славінська О. С.¹, *д-р техн. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0002-9709-0078>Рутковська І. А.¹, *канд. техн. наук, проф.*, <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>Усиченко О. Ю.¹, *канд. техн. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>Зеленський Б. М.², <https://orcid.org/0000-0002-9949-3209>¹Національний транспортний університет (НТУ), Київ, Україна²Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ФІЗИЧНОГО ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗНОСУ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ЯКІСНОГО СТАНУ АВТОРОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Анотація

Вступ. Оцінка якісного стану автодорожніх мостів є комплексним процесом, що передбачає аналіз фізичного та функціонального зносу конструкцій. Фізичний знос пов'язаний з погіршенням матеріалів і втратою міцності елементів, тоді як функціональний знос виявляється у зниженні несної здатності та деформативності мосту.

Проблематика. Для визначення рівня зносу застосовують комплексний метод, що включає візуальний огляд, розрахункові оцінки та експериментальні дослідження. Крім того, використовується диференційований метод, який дозволяє порівнювати фактичні показники з проектними та робити висновки про якість окремих елементів і конструкції в цілому.

Мета. Дослідити метод оцінювання фізичного та функціонального зносу при визначенні якісного стану автодорожніх мостів

Матеріали та методи. Експертний метод є важливим доповненням до інших методів оцінки технічного стану мостів. Він дозволяє врахувати чинники, які важко формалізувати, і забезпечує комплексне розуміння стану споруди. Однак, для отримання достовірних результатів необхідно ретельно підходити до формування експертної групи та організації процесу оцінювання.

Результат. Оцінка якісного стану мостів є критично важливою для забезпечення ефективної їх експлуатації. Кваліметрична модель пропонує детальний і структурований підхід до оцінювання фізичного зносу мосту шляхом поділу всієї конструкції на ключові елементи та оцінювання кожного з них за різними параметрами, та забезпечує всебічне визначення його стану.

Висновки. Такий підхід є основою для ефективного управління транспортною інфраструктурою, оптимізації витрат на обслуговування та забезпечення довгострокової безпеки мостів.

Ключові слова: автодорожній міст, транспортна споруда, якісний стан, технічний стан, експлуатаційний стан, дефект, кваліметрична модель, прогонова будова, опора, фундамент.

Вступ

Обстеження мостів є важливим елементом їх експлуатації. Це особливо актуально за нинішньої ситуації в країні із обмеженим фінансуванням галузі. Значна кількість мостів на дорогах України мають вичерпаний термін дії паспорта або взагалі не мають інформації про їхній технічний стан через відсутність обстежень протягом всього строку експлуатації. У таких випадках обстеження є критичним для запобігання аварійних ситуацій.

Задача забезпечення надійної та безаварійної експлуатації мостів, які є невід'ємною складовою транспортної інфраструктури, з кожним роком постає все гостріше внаслідок суттєвого збільшення інтенсивності руху на автомобільних дорогах (особливо великовагових транспортних засобів); змінення складу транспортних засобів у бік зростання навантаження; збільшення швидкості руху; змін навколишнього середовища, що стає більш агресивним, збільшення кількості мостів, проекти яких не відповідають сучасних норм.

Визначення якісного стану автодорожніх мостів передбачає оцінювання рівня його фізичного та функціонального зносу.

Визначення рівня якісного стану конструкцій мостів на основі кваліметричних моделей дозволить раціонально використовувати необхідні ресурси для підтримання задовільного стану конструктивних елементів, підвищити безпеку та надійність транспортних споруд, знизити їхню аварійність.

Основна частина

Визначення якісного стану автодорожніх мостів передбачає перш за все оцінювання рівня його фізичного та функціонального зносу.

Знос автодорожніх мостів, як і інших інженерних споруд, визначають деградацією його елементів у процесі експлуатування, що обумовлено погіршенням початкових проєктних показників і невідповідністю розрахункових параметрів споруди нормативним вимогам.

Фізичний знос — це знос, що зумовлений частковою або повною втратою початкових технічних і технологічних якостей, а функціональний — частковою або повною втратою початкових функціональних характеристик.

Для визначення рівня якості використовують два основні методи: комплексний і диференційований.

Комплексний включає візуальне оцінювання, розрахункові дані та експериментальні методи.

Диференційований метод базується на оцінюванні одиничних показників якості.

Математично це можна представити формулою:

$$P_{pj} = P_i / P_{i6} \text{ або } P_{pj} = P_{i6} / P_i, \quad (1)$$

де P_i — значення i -го показника якості оцінюваного елемента;

P_{i6} — значення i -го базового (еталонного) показника.

Диференційований показник міри ураження розраховують за формулою:

$$P_{pj} = 1 - \frac{P_i}{100}. \quad (2)$$

У випадку відсутності ураження $P_{pj} = 1$.

Згідно з формулою (1), зростання одиничного показника P_i свідчить про покращення загальної якості продукції. Проте, самі по собі значення P_i не дають повного уявлення про їхній вплив на загальний стан.

Диференційований метод дозволяє зробити однозначний висновок про якість у двох випадках:

1. Якщо всі показники $P_{pj} \geq 1$, рівень якості оцінюваного елемента вищий або рівний базовому (проєктному).

2. Якщо всі показники $P_{pj} < 1$, рівень якості оцінюваного елемента нижчий за базовий (проєктний).

Використання такої відносної кількісної оцінки дозволяє звести всі властивості елементів до єдиної шкали, трансформуючи всі прості (квазіпрості) властивості в єдиний показник моделі.

Базові показники відіграють ключову роль у кількісному оцінюванні стану елементів. Вибір базових показників є важливим етапом, оскільки від його коректності залежить об'єктивність оцінки. Тому важливо враховувати такі фактори:

1. Мета оцінювання: для чого проводиться оцінювання?
2. Характеристика об'єкта: які властивості об'єкта найбільш важливі?
3. Доступність даних: чи є можливість отримати необхідні дані для розрахунку показників?

Значення базових показників P_{i6} можуть бути:

1. Середні показники, досягнуті в галузі або в народному господарстві.
2. Найвищі показники, досягнуті в галузі або в народному господарстві.
3. Перспективні показники.
4. Показники, що відповідають найкращим зарубіжним аналогам.
5. Економічно оптимальні показники, обґрунтовані техніко-економічними розрахунками.

Важливо враховувати, що вимоги до конструктивних особливостей елементів змінюються з часом. Тому кількісна оцінка якості повинна враховувати часовий чинник. При цьому, фактичні показники якості продукції P , залишаються відносно стабільними. Це пояснюється постійним удосконаленням засобів вимірювання та методів контролю якості. Однак, слід зазначити, що незначні зміни фактичних показників можуть бути пов'язані з природним зносом матеріалів або впливом зовнішніх чинників.

Натомість, еталонні показники P_{i6} , які визначають рівень якості продукції або процесу, не є статичними величинами. Вони постійно змінюються під впливом науково-технічного прогресу. Цей процес відомий як **підвищення планки якості**. Для того щоб оцінка якості була актуальною, необхідно регулярно переглядати і коригувати еталонні показники відповідно до нових досягнень науки і техніки. Це забезпечує актуальність та відповідність оцінки якості сучасним вимогам ринку та технологічним можливостям.

Під час оцінювання рівня якісного стану автодорожнього мосту кожен елемент відіграє важливу роль у забезпеченні його міцності та довговічності. Тому при оцінці технічного стану мосту необхідно проводити детальний огляд кожного з визначальних елементів: прогонової будови, опор та фундаментів. **Експлуатаційний стан мосту** визначають як найнижчий із показників якісного стану його визначальних елементів. Тобто, якщо хоча б один із цих елементів має пошкодження або не відповідає нормативним вимогам, то весь міст вважається непридатним для експлуатації.

За умови якщо середній диференційований показник без урахування коефіцієнта вагомості за одним чи декількома визначальними елементами $\leq 0,40$, то приймають загальний стан $P_{br} \leq 0,40$.

З метою оцінювання якісного стану конструктивних елементів мосту використовують розрахунковий, експериментальний і експертний методи.

Розрахунковий метод є важливим інструментом для оцінки фактичного стану конструкцій мосту та їхньої відповідності проєктним рішенням. Цей підхід поєднує теоретичні розрахунки з практичними вимірюваннями, що дозволяє отримати більш точну та об'єктивну оцінку технічного стану мосту.

За результатами детального аналізу проєктної документації – проєктні дані, креслення та специфікації створюється розрахункова модель мосту, яка відображає його проєктні характеристики.

Проведення відповідних замірів геометричних параметрів (розміри елементів, прогини, зміщення), фізико-механічних характеристик матеріалів (міцність бетону, напруження в арматурі), динамічних показників (частоти власних коливань, амплітуди вібрацій) на реальному об'єкті, у різних умовах навантаження дозволяє отримати дані, що можуть бути співставлені з проєктними. При цьому мають бути враховані допустимі відхилення, передбачені нормативними документами та проєктом. Розбіжності між фактичними та проєктними даними можуть вказувати на різні чинники: від природного зносу конструкції до прихованих дефектів або помилок при проєктуванні чи будівництві.

У випадку виявлення значних розбіжностей необхідно провести додатковий аналіз (перевірку якості будівельних матеріалів; дослідження умов експлуатації мосту; аналіз історії ремонтів і реконструкцій) для визначення їх причин і корегування розрахункової моделі з метою точнішого відображення його фактичного стану.

Це може включати:

- зміну фізичних характеристик: внесення коректив у значення міцності, модуля пружності та інших характеристик матеріалів;
- урахування дефектів: моделювання дефектів, виявлених у результаті обстеження;
- зміна граничних умов: внесення змін в умови закріплення конструкцій;
- урахування додаткових навантажень: врахування впливу додаткових навантажень, таких як температурні деформації, вітер, сейсмічні впливи.

Корегування розрахункової моделі дозволяє отримати більш точну оцінку технічного стану мосту та розробити ефективні заходи щодо його зміцнення або ремонту.

Оцінювання впливу виявлених розбіжностей на загальну роботу конструкції (аналіз несної здатності, стійкості та довговічності мосту) дозволяє визначити, чи є виявлені відхилення критичними для безпеки експлуатації, і які заходи необхідно вжити для приведення конструкції у відповідність до проєктних вимог.

Розрахунковий метод дозволяє спрогнозувати, як виявлені розбіжності між проєктними і фактичними показниками впливатимуть на роботу мосту в подальшому. Що, у свою чергу, дозволяє спланувати заходи щодо технічного обслуговування та ремонтних робіт.

Комплексний підхід, що поєднує розрахунки та натурні дослідження, є ключовим для оцінки технічного стану мостів. Виявлення розбіжностей між проєктними та фактичними даними дозволяє не лише визначити критичність відхилень, але й передбачити подальшу поведінку конструкції, що є основою для ефективного планування технічного обслуговування та ремонту. Такий підхід дозволяє виявити навіть приховані проблеми, які можуть виникнути під час експлуатації.

Такий підхід забезпечує основу для прийняття обґрунтованих рішень щодо технічного обслуговування, ремонту та реконструкції транспортних споруд.

Експериментальний метод визначення якісного стану елементів мостів є одним з найбільш точних та інформативних підходів до оцінки їхнього технічного стану. Цей метод базується на проведенні натурних випробувань конструкцій мосту, що дозволяє отримати фактичні дані про їхню поведінку під дією різноманітних навантажень і впливів.

Основу експериментального методу складають статичні та динамічні випробування. Статичні випробування передбачають навантаження мосту відомою навантагою, наприклад, за допомогою вантажівок або спеціальних вантажів. Під час цього вимірюють прогини, деформації та напруження в різних елементах конструкції, що дозволяє оцінити розподіл навантажень між елементами мосту, виявити слабкі місця та перевірити відповідність фактичної роботи конструкції проєктним розрахункам.

Динамічні випробування, у свою чергу, спрямовані на вивчення поведінки мосту під дією рухомих навантажень та вібрацій. Вони включають вимірювання коливань мосту під час проїзду транспортних засобів, визначення власних частот і форм коливань конструкції, а також оцінку демпфуючих властивостей, що дозволяє оцінити динамічну стійкість мосту, його здатність протистояти вітровим і сейсмічним навантаженням.

Окрім стандартних випробувань, експериментальний метод може включати спеціальні дослідження, спрямовані на вивчення конкретних аспектів роботи мосту. Наприклад, це можуть бути випробування на втому матеріалів, оцінювання стійкості до впливу агресивного середовища, перевірка ефективності систем моніторингу та захисту від корозії.

Результати випробувань порівнюють з теоретичними розрахунками та проєктними характеристиками з метою визначення між реальною роботою конструкції та її розрахунковою моделлю, що може вказувати на приховані дефекти або зміни в стані мосту та дозволяє дійти висновку щодо фактичного технічного стану елементів мосту, їхньої несної здатності та залишкового ресурсу.

Вагомою перевагою експериментального методу є можливість виявлення прихованих дефектів і проблем, які не можуть бути виявлені при візуальному огляді.

Результати експериментальних досліджень також є основою для прийняття рішень щодо необхідності ремонту, посилення або заміни елементів мосту та використовуються для калібрування розрахункових моделей, з метою підвищення точності прогнозування поведінки мосту в різних умовах експлуатації.

Незважаючи на високу інформативність, експериментальний метод має певні обмеження через високу вартість і часоємність, особливо для великих і позакласних мостів. Крім того, проведення випробувань часто вимагає обмеження або повного припинення руху по мосту, що може створювати незручності для користувачів.

Експериментальний метод зазвичай застосовують в комплексі з іншими методами оцінки, такими як візуальні обстеження та розрахункові методи. Це дозволяє отримати найбільш повну та

достовірну картину технічного стану мосту, оптимізувати витрати на діагностику та забезпечити безпечну та ефективну експлуатацію транспортної споруди протягом всього її життєвого циклу.

Експертний метод визначення якісного стану елементів мостів є важливим інструментом оцінки, який базується на знаннях, досвіді та судженнях кваліфікованих фахівців. Цей метод передбачає формування групи експертів, зазвичай у складі 5-9 осіб, які мають досвід у галузі мостобудування, включаючи проєктування, будівництво та експлуатацію.

Процес оцінки починається з розроблення методики, яка включає визначення критеріїв оцінки для кожного елемента мосту та створення шкали оцінювання. Для кожного рівня оцінки розробляються детальні описи, що допомагають експертам у прийнятті рішень.

Перед проведенням обстеження експерти ретельно вивчають проєктну документацію та історію експлуатації мосту, аналізують результати попередніх обстежень. Це дозволяє їм мати повне уявлення про особливості конструкції та її поведінку протягом часу.

Ключовим етапом є візуальне обстеження, під час якого експерти детально оглядають кожен елемент мосту, фіксують видимі дефекти та пошкодження, проводять необхідні вимірювання. На основі цього огляду кожен експерт незалежно оцінює стан елементів за встановленою шкалою, обґрунтовуючи свої оцінки.

Після індивідуального оцінювання проводиться нарада експертів, де обговорюються результати, аналізуються розбіжності в оцінках та досягається консенсус щодо спірних питань. Важливим аспектом є визначення вагових коефіцієнтів для різних елементів мосту та типів дефектів, що дозволяє врахувати їхню відносну важливість для загального стану споруди.

На основі індивідуальних оцінок і вагових коефіцієнтів розраховують узагальнену оцінку стану мосту. Експерти також аналізують різні чинники впливу, такі як навколишнє середовище, інтенсивність і характер навантажень, вплив попередніх ремонтів. Це дозволяє не лише оцінити поточний стан, але й спрогнозувати його зміну в майбутньому.

Результатом роботи експертної групи є детальний звіт, який містить опис стану кожного елемента, обґрунтування присвоєних оцінок, фотофіксацію виявлених дефектів, а також рекомендації щодо ремонту, заміни елементів або зміни режиму експлуатації. Експерти також визначають пріоритетність необхідних робіт.

Для підвищення об'єктивності експертного методу важливо регулярно проводити навчання та підвищення кваліфікації експертів, використовувати стандартизовані форми і критерії оцінки, а також комбінувати експертний метод з інструментальними вимірюваннями. Періодично методика оцінювання калібрується з урахуванням нових типів дефектів, методів ремонту та змін у нормативних вимогах.

Фізичний знос є ключовим компонентом у визначенні загального стану мосту. Він відображає ступінь деградації технічного стану елементів конструкцій і матеріалів внаслідок експлуатації, впливу навколишнього середовища та часу.

Кваліметрична модель пропонує підхід до оцінки фізичного зносу, розбиваючи міст на ключові структурні елементи та оцінюючи кожен з них за набором певних параметрів. Цей підхід дозволяє отримати детальну та всебічну оцінку стану мосту.

Основні структурні елементи, що розглядають під час оцінки фізичного зносу:

1. Прогонова будова (K1).
2. Опори (K2).
3. Фундаменти (K3).
4. Мостове полотно (K4).
5. Підходи до споруди (K5).
6. Русло (K6).
7. Регуляційні споруди (K7).

Кожен із цих елементів оцінюють за набором параметрів (P1-P26) (табл. 1), які відображають різні аспекти їхнього фізичного стану. Ці параметри охоплюють широкий спектр чинників, від структурних дефектів до зміни властивостей матеріалів.

Диференційовані показники параметрів (P1-P26) розраховують згідно з (1) або (2).

Детальне та структуроване оцінювання фізичного зносу в рамках кваліметричної моделі забезпечує надійну основу для прийняття рішень щодо управління транспортною інфраструктурою, оптимізації витрат на обслуговування та забезпечення довгострокової експлуатаційної надійності мостів (табл. 1).

Таблиця 1

Фізичний знос конструктивних елементів за методом їхнього оцінювання

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Метод оцінювання	Умовне позначення
1	Дефекти, що знижують несну здатність прогонової будови	Експертний	P1
2	Дефекти, що не впливають безпосередньо на несну здатність прогонової будови	Експертний	P2
3	Зниження вантажопідйомності прогонової будови	Розрахунковий	P3
4	Вплив зниження проектних характеристик матеріалу	Експериментальний	P4
5	Карбонізація бетону	Експериментальний	P5
6	Корозійний знос основних металевих несних елементів	Експериментальний	P6
7	Дефекти опор, що знижують несну здатність	Експертний	P7
8	Дефекти опор, що не впливають безпосередньо на несну здатність	Експертний	P8
9	Дефекти опорних частин, що знижують несну здатність	Експертний	P9
10	Дефекти, що не впливають безпосередньо на зниження несної здатності опорних частин	Експертний	P10
11	Зниження проектних характеристик матеріалів	Експериментальний	P11
12	Дефекти, що знижують несну здатність фундаментів	Експертний	P12
13	Дефекти, що не знижують несну здатність фундаментів	Експертний	P13
14	Стан дорожнього покриття	Експертний або експериментальний	P14
15	Стан гідроізоляції на споруді	Експертний або експериментальний	P15
16	Стан водовідведення	Експертний або експериментальний	P16
17	Стан деформаційних швів	Експертний або експериментальний	P17
18	Стан огорожі безпеки	Експертний або експериментальний	P18
19	Стан покриття на тротуарі	Експертний або експериментальний	P19
20	Стан поручневої огорожі	Експертний або експериментальний	P20
21	Стан огорожі безпеки на підходах	Експертний або експериментальний	P21
22	Стан покриття на підходах	Експертний або експериментальний	P22
23	Стан укріплення конусів опор	Експертний або експериментальний	P23
24	Вплив засміченості русла	Експертний або експериментальний	P24
25	Вплив розмиву/наміву русла	Розрахунковий	P25
26	Стан регуляційних споруд	Експертний або експериментальний	P26

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання фізичного зносу елементів прогонової будови включає такі критерії (табл. 2):

- наявність дефектів, що знижують несну здатність прогонової будови;
- наявність дефектів, що не впливають безпосередньо на несну здатність прогонової будови;
- наявність зниження вантажопідйомності;
- наявність зниження проєктних характеристик матеріалу;
- наявність карбонізації бетону;
- наявність корозійного зносу основних металевих несних елементів.

Таблиця 2

Критерії оцінювання фізичного зносу споруди

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Критерії оцінювання	Знос, %
1	Дефекти, що знижують несну здатність прогонової будови	Міра ураження за впливом	0-100
2	Дефекти, що не впливають безпосередньо на несну здатність прогонової будови	Площа ураження	0-100
3	Зниження вантажопідйомності прогонової будови	Зниження вантажопідйомності	табл. 3.3
4	Вплив зниження проєктних характеристик матеріалу	Зниження міцності відносно проєктного значення	0-100
5	Карбонізація бетону	Ступінь ураження	табл. 3.4
6	Корозійний знос основних металевих несних елементів	Ступінь ослаблення	0-100
7	Дефекти опор, що знижують несну здатність	Міра ураження за впливом	0-100
8	Дефекти опор, що не впливають безпосередньо на несну здатність	Площа ураження	0-100
9	Дефекти опорних частин, що знижують несну здатність	Міра ураження за впливом	0-100
10	Дефекти, що не впливають безпосередньо на зниження несної здатності опорних частин	Площа ураження	0-100
11	Зниження проєктних характеристик матеріалів	Зниження міцності відносно проєктного значення	0-100
12	Дефекти, що знижують несну здатність фундаментів	Міра ураження за впливом	0-100
13	Дефекти, що не знижують несну здатність фундаментів	Площа ураження	0-100
14	Стан дорожнього покриття	Площа ураження	0-100
15	Стан гідроізоляції на споруді	Площа ураження	0-100
16	Стан водовідведення	Площа ураження	0-100
17	Стан деформаційних швів	Площа ураження	0-100
18	Стан огорожі безпеки	Площа ураження	0-100
19	Стан покриття на тротуарі	Площа ураження	0-100
20	Стан поручневої огорожі	Площа ураження	0-100
21	Стан огорожі безпеки на підходах	Площа ураження	0-100
22	Стан покриття на підходах	Площа ураження	0-100
23	Стан укріплення конусів опор	Площа ураження	0-100
24	Вплив засміченості русла	Площа ураження	0-100
25	Вплив розмиву/наміву русла	Площа ураження	0-100
26	Стан регуляційних споруд	Площа ураження	0-100

Оцінювання більшості даних критеріїв визначають на основі результатів візуального огляду, вимірювання, власного досвіду експерта та згідно з [2], диференційований показник рівня якісного стану — за (2), а фактичні значення порівнюють з проектним за (1).

Дефекти прогонової будови мосту, що впливають на несну здатність, можуть бути різними за природою та наслідками, а саме:

- тріщини в несних залізобетонних конструкціях, що можуть знижувати міцність і довговічність конструкції та утворюються внаслідок усадки, температурних змін, перевантаження або корозію арматури;
 - корозія арматури, яка виникає під дією вологи і хімічних речовин, що знижує її міцність і здатність нести навантаження;
 - деформації та прогини, що виникають через надмірні навантаження або ослаблення матеріалу та знижують несну здатність конструкції;
 - вивітрювання та ерозія через відсутність стійкості до природних факторів, таких як вода, вітер та температурні коливання, може спричинити поступове руйнування матеріалу;
 - механічні пошкодження від ударів транспортних засобів або падіння важких предметів знижують несну здатність конструкції;
 - недоліки в конструкції або будівництві через помилки, допущені під час проектування або будівництва, можуть впливати на міцність і стійкість прогонової будови;
 - проблеми з опорами та фундаментом можуть вплинути на стабільність всієї конструкції.
- Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність:
- 0 % означає відсутність ураження або ідеальний стан;
 - 100 % вказує на критичне ураження або повну втрату несної здатності;
 - проміжні значення відображають різні ступені ураження та їхній вплив на технічний стан.

Дефекти прогонової будови мосту, що не впливають безпосередньо на її несну здатність, все ж можуть мати негативні наслідки, такі як зниження довговічності або естетичних характеристик. Найчастіше можуть зустрічатися наступні дефекти:

- поверхневі тріщини – тріщини з розкриттям до 0,3 мм на поверхні бетону, які не проходять крізь всю товщину елемента можуть знижувати естетичний вигляд, але не впливають на міцність;
- незначна корозія арматури – поверхнева корозія, яка ще не проникла глибоко у структуру арматури на ранніх стадіях, не впливає на несну здатність конструкції, але з часом, при відсутності ремонтних робіт з їх усунення, можуть перерости в дефекти, що впливатимуть на стійкість та надійність конструкції;
- пошкодження захисного шару без оголення арматури. Незначні ушкодження захисного шару, які не розкривають арматуру і не знижують її захист;
- каверни або пори у бетоні. Невеликі порожнини, що виникають через недостатнє ущільнення бетону під час укладання. Вони зазвичай не впливають на несну здатність, але можуть впливати на довговічність конструкції;
- замокання та вилугування бетону. На ранніх стадіях не несуть впливу на несну здатність. З часом можуть викликати пошкодження захисного шару бетону та корозію арматури;
- мікробіологічне обростання. Наявність моху, лишайників або грибків на поверхні конструкцій. Вони можуть з часом спричинити поверхневі пошкодження.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою площі ураження.

Визначення вантажопідйомності. Визначення фактичної вантажопідйомності прогонової будови виконують розрахунковим методом згідно з [4].

Визначення вантажопідйомності мосту в долях від характеристичного навантаження (K) виконують шляхом порівняння розрахункового зусилля від цього навантаження та граничного зусилля для перерізу конструкції, що перевіряється, за вирахуванням зусиль від постійних та інших навантажень:

$$K = Q/P, \quad (3)$$

де P — узагальнене зусилля в перерізі від певного тимчасового навантаження, за яким виконується перевірка;

$Q=R-(G+\sum q)$ — узагальнене допустиме зусилля для даного перерізу;
 R — узагальнене граничне зусилля перерізу;
 G — узагальнене зусилля в перерізі від постійних навантажень і впливів;
 $\sum q$ — сума узагальнених зусиль у перерізі від інших тимчасових та експлуатаційних навантажень, які можуть діяти разом з основним тимчасовим навантаженням (пішохідне, горизонтальні зусилля, трамвай, поїзд метро, вібрації певних механізмів тощо).

Покроковий алгоритм розрахунку наведено в дод. А, Б, В [4].

Для визначення вантажопідйомності мосту можна застосовувати різні програмні комплекси, кожен з яких має свої особливості та переваги. Основними інструментами для такого аналізу є спеціалізовані програми скінченно-елементного аналізу та системи автоматизованого проєктування.

Використання сучасних програмних комплексів значно підвищує точність та ефективність аналізу вантажопідйомності мостів, дозволяючи інженерам приймати обґрунтовані рішення щодо експлуатації та реконструкції транспортних споруд.

Отриманий результат порівнюють із нормативним і визначають відсоток зниження вантажопідйомності. Ступінь зниження вантажопідйомності визначають згідно з **табл. 3** [3].

Таблиця 3

Співвідношення зниження вантажопідйомності до ступеня ураження

Зниження вантажопідйомності, %	Ступінь ураження, %
від 0 до 0,1	0
від 0,1 до 3,2	25
від 3,2 до 14,6	50
від 14,6 до 40,0	75
понад 40,0	100

Диференційований показник рівня якісного стану визначають за (3).

Наявність зниження проєктних характеристик матеріалу. Визначення міцності бетону можна виконувати руйнівними та неруйнівними методами [1].

1. Руйнівні методи:

- а) Випробування на стиск стандартних зразків:
 - виготовлення кубів або циліндрів з бетону під час будівництва;
 - випробування зразків на пресі до руйнування.
- б) Відбір кернів:
 - висвердлювання циліндричних зразків з існуючої конструкції;
 - випробування кернів на стиск.

2. Неруйнівні методи:

- а) Метод пружного відскоку (склерометр):
 - вимірювання відскоку бойка приладу від поверхні бетону;
 - оцінювання міцності за величиною відскоку.
- б) Ультразвуковий метод:
 - вимірювання швидкості проходження ультразвукових хвиль через бетон;
 - оцінювання міцності за швидкістю ультразвуку.
- в) Метод відриву зі сколюванням:
 - вимірювання зусилля, необхідного для відриву анкера, закріпленого в бетоні;
 - оцінювання міцності за зусиллям відриву.
- д) Метод сколу ребра:
 - заснований на вимірюванні зусилля, необхідного для сколювання ділянки бетону на ребрі конструкції.

Якщо прогонова будова не містить залізобетонних несних елементів, даний показник не розглядають, а його вагомість розподіляють пропорційно іншим критеріям оцінки прогонової будови.

Наявність карбонізації бетону. Карбонізація бетону — це хімічний процес, під час якого вуглекислий газ (CO_2) з повітря реагує з гідратом кальцію, що міститься в бетоні, утворюючи карбонат кальцію. Після зниження водневого показника рН, арматура в бетоні стає вразливою до корозії, що може призвести до зниження міцності та довговічності конструкції (табл. 4).

Таблиця 4

Співвідношення зниження водневого показника рН до ступеня ураження

Рівень рН	Ступінь ураження, %
11	0
10	25
9	50
8	75
7	100

Фактичне значення рН порівнюють з проєктним за (1).

Якщо прогонова будова не містить залізобетонних несних елементів, даний показник не розглядають, а його вагомість розподіляють пропорційно іншим критеріям оцінки прогонової будови.

Наявність корозійного зносу основних металевих несних елементів. Корозійний знос основних несних елементів, таких як сталева арматура в бетоні або сталеві конструкції в мосту, є серйозною проблемою, що може суттєво знизити міцність і довговічність споруд.

Ступінь корозії визначається інструментальними замірами і порівнюється із проєктними даними.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ослаблення робочого перерізу.

Оцінювання фізичного зносу елементів опор

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання опор включає наступні складові:

- наявність дефектів опор, що знижують несну здатність;
- наявність дефектів опор, що не впливають безпосередньо на несну здатність;
- наявність дефектів опорних частин, що знижують несну здатність;
- наявність дефектів, що не впливають безпосередньо на зниження несної здатності опорних частин;
- наявність зниження проєктних характеристик матеріалів.

Дефекти опор, що знижують їхню несну здатність. Дефекти опор мостів можуть суттєво знижувати їхню несну здатність та становити загрозу для стійкості та надійності конструкції. Далі наводяться характерні дефекти для опор мостів і шляхопроводів.

- тріщини утворені внаслідок перевантаження (утворення пластичних деформацій) або переміщення опори в плані;
- корозія арматури. Викликає збільшення об'єму арматури, що призводить до утворення тріщин у бетоні та зниження несної здатності;
- механічні пошкодження. Удари та пошкодження від наземних або плавучих транспортних засобів;
- пошкодження тіла опори зі зменшенням розрахункового перерізу.

Оцінювання виконуються від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність.

Дефекти опор, що не знижують їхню несну здатність, зазвичай є поверхневими або незначними пошкодженнями, які не впливають на загальну міцність та стійкість конструкції.

- поверхневі тріщини викликані усадкою бетону або через перепади температури;

- сколи бетону з оголенням та корозією конструктивної арматури;
- висоли на поверхні бетону;
- поверхневе відшарування або сколи бетону;
- корозія незахищених металевих деталей;
- розшарування верхнього шару бетону через вплив вологи або замерзання, але без проникнення в глибину структури.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою площі ураження.

Дефекти опорних частин, що знижують їхню несну здатність:

- тріщини;
- відколи, зрізи, розриви;
- зменшення рухомості;
- заклинювання;
- руйнування елементів.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність.

Наявність зниження проєктних характеристик матеріалів опор

Визначення міцності бетону може виконуватись руйнівними та неруйнівними методами [1].
Ступінь корозії визначається інструментальними замірами і порівнюється із проєктними даними.

Якщо прогонова будова не містить залізобетонних несних елементів, даний показник не розглядається, а його вагомість розподіляється пропорційно іншим критеріям оцінки прогонової будови.

Оцінювання фізичного зносу елементів фундаментів

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання опор включає наступні складові:

- дефекти, що знижують несну здатність фундаментів;
- дефекти, що не знижують несну здатність фундаментів.

Дефекти, що знижують несну здатність фундаментів:

- тріщини в фундаменті. можуть бути викликані нерівномірним осіданням, перевантаженням або ослабленням ґрунту під фундаментом. горизонтальні тріщини можуть виникати через тиск ґрунту або води на основу фундаменту;

- осідання фундаменту викликає нерівномірний розподіл навантажень і тріщини в надбудові. загальне осідання вказує на ослаблення ґрунту або недостатню глибину закладання фундаменту;

- корозія арматури знижує міцність залізобетонних фундаментів, зменшуючи здатність арматури сприймати навантаження;

- підмивання фундаменту може призвести до його осідання;

- дефекти будівництва. використання неякісного бетону або арматури може знизити міцність фундаменту. порушення технології будівництва може призвести до утворення пустот або слабких зон у фундаменті;

- пошкодження фундаментів вибуховим навантаженням може призвести до пошкодження загальної цілісності конструкції.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою ураження за впливом на несну здатність.

Оцінювання фізичного зносу елементів мостового полотна

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання стану мостового полотна включає наступні складові:

- дорожнє покриття;
- гідроізоляція на споруді;
- водовідведення;
- деформаційні шви;
- огорожа безпеки;
- покриття на тротуарі;
- поручнева огорожа.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою зносу.

Оцінювання фізичного зносу елементів підходів

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання стану підходів до споруди включає наступні складові:

- огорожа безпеки на підходах;
- покриття на підходах;
- укріплення конусів опор.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою зносу.

Оцінювання фізичного зносу (стану) русла

Згідно з кваліметричною моделлю оцінювання стану русла включає наступні складові:

- засміченість русла;
- розмив / намив русла.

Засміченість русла визначають візуально експертом за наявністю перешкоджаючих факторів для пропуску води.

Розмив / намив русла визначають візуально експертом за наявністю перешкоджаючих факторів для пропуску води.

Основні методи і підходи, які використовують для визначення розмиву русла:

- Візуальний огляд. Перевірка видимих ознак розмиву.
- Використання ехолотів для визначення глибини води та форми дна русла. Це дозволяє виявити зміни в глибині та можливі осередки розмиву.
- Використання лазерного сканування для створення детальних тривимірних моделей русла.
- Акустична томографія для дослідження внутрішньої структури дна.
- Електричний резистивітет. Вимірювання електричного опору ґрунту для виявлення зон розмиву, які можуть мати інші фізичні характеристики порівняно з незайманим ґрунтом.
- Георадар (GPR). Використання радіохвиль для дослідження внутрішньої структури ґрунту та виявлення зон розмиву.
- Гідродинамічні моделі моделювання течії. Використання програмного забезпечення для моделювання течії води в руслі та визначення потенційних зон розмиву на основі швидкості та напрямку течії. Моделювання впливу паводків та інших екстремальних подій на русло.
- Тестові буріння та зондаж. Виконання буріння для взяття проб ґрунту та визначення його складу і стану.
- Моніторинг руху та осідання опор.

Оцінювання виконують від 0 % до 100 % за мірою зносу.

Оцінювання функціонального зносу елементів

Згідно з кваліметричною моделлю наведені критерії оцінювання функціонального зносу автодорожнього мосту наведені у **табл. 5** і **табл. 6**.

Таблиця 5

Функціональний знос конструктивних елементів за методом їх оцінювання

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Метод оцінювання	Умовне позначення
1	Наявність огорожі безпеки	Експертний	P27
2	Наявність поручневої огорожі	Експертний	P28
3	Наявність дорожньої розмітки	Експертний	P29
4	Габарит проїзду по споруді	Експериментальний	P30
5	Габарит проходу на тротуарі	Експериментальний	P31
6	Підмостовий габарит по ширині (для судноплавних річок)	Експериментальний	P32
7	Підмостовий габарит по висоті (для судноплавних річок)	Експериментальний	P33

Кінець таблиці 5

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Метод оцінювання	Умовне позначення
8	Отвір мосту	Експериментальний	P34
9	Поперечний профіль покриття на споруді	Експериментальний	P35
10	Обмеження швидкості руху по споруді	Експертний	P36
11	Обмеження габариту проїзду по ширині	Експертний	P37
12	Обмеження габариту проїзду по висоті	Експертний	P38
13	Обмеження максимальної маси ТЗ	Експертний	P39
14	Шумове забруднення	Експертний або експериментальний	P40
15	Стан русла	Розрахунковий	P41

Оцінювання функціонального зносу елементів мосту є важливою складовою загальної оцінки стану транспортної споруди. Функціональний знос (S_2) відображає ступінь відповідності характеристик мосту сучасним вимогам експлуатації та нормативам, незалежно від його фізичного стану.

Таблиця 6

Критерії оцінювання функціонального зносу споруди

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Критерії оцінювання	Знос, %
1	Наявність огорожі безпеки	Наявна	0
		Частково відсутня (окрема секція)	50
		Відсутня понад 10 % від загальної кількості огорожі	100
2	Наявність поручневої огорожі	Наявна	0
		Частково відсутня	50
		Повністю відсутня	100
3	Наявність дорожньої розмітки	Наявна	0
		Частково відсутня	50
		Повністю відсутня	100
4	Габарит проїзду по споруді	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
5	Габарит проходу на тротуарі	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
6	Отвір мосту	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
7	Поперечний профіль покриття на споруді	Відповідає вимогам	0
		Частково не відповідає вимогам	50
		Не відповідає вимогам	100
8	Обмеження швидкості руху по споруді	Відсутнє	0
		Наявне	100

Ч.ч.	Конструктивний елемент	Критерії оцінювання	Знос, %
9	Обмеження габариту проїзду по ширині	Відсутній	0
		Наявний	100
10	Обмеження габариту проїзду по висоті	Відсутній	0
		Наявний	100
11	Обмеження максимальної маси транспортного засобу для пропуску по споруді	Відсутнє	0
		Зменшення маси пропуску до 10 % від проектної	50
		Зменшення маси пропуску на понад 10 % від проектної	100
12	Шумове забруднення	Відсутнє	0
		Наявне	100
13	Стан русла (зона впливу) (визначається розрахунком згідно п. 3.8)	Відсутнє	0
		Наявне	згідно з (3.1)

Оцінювання показників функціонального зносу виконують згідно з (2).

Висновки

Комплексний підхід до оцінки якості мостів дозволяє отримати детальну та об'єктивну картину стану споруди, аналіз як фізичного, так і функціонального зносу елементів мосту, забезпечує повне розуміння не тільки поточного технічного стану, але й відповідності споруди сучасним вимогам експлуатації та передбачає ретельну оцінку кожного елемента мосту, включаючи прогонову будову, опори, фундаменти, мостове полотно та інші компоненти застосовуючи різні методи оцінки, включаючи візуальний огляд, інструментальні вимірювання, розрахункові методи та експертні оцінки.

Використання сучасних програмних комплексів для аналізу вантажопідйомності та інших характеристик мосту підвищує точність оцінки, а наведені методи дозволяють якісно оцінити різні параметри, що впливають на загальний стан мосту враховуючи зміни вимог до конструктивних особливостей елементів з часом, що полегшує прийняття обґрунтованих рішень щодо обслуговування, ремонту та довгострокової експлуатації мостів.

Дослідження виконано за підтримки Національного фонду досліджень України в рамках гранту № 2022.01/0142 «Розробка моделі навантаження за фактичними параметрами великовагового рухомого складу для визначення вантажно-пропускної здатності автодорожніх мостів при їх відновленні та експлуатації у воєнний і повоєнний періоди».

Список літератури

1. Борисенко М. А., Зеленський Б. М., Завгородній С. С., Івоненко О. Ю. Дослідження міцності бетону неруйнівними та руйнівними методами. *Дороги і мости*. 2024. Вип. 29. С. 225–234. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.225>.
2. ДСТУ 8908:2019. Автодорожні мости. Класифікація дефектів. Київ, 2020. 25 с. (інформація та документація).
3. ДСТУ 9181:2022. Настанова з оцінювання та прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. Київ, 2022. 52 с. (інформація та документація).
4. МР В.2.3-37641918-921:2021. Методичні рекомендації з визначення вантажопідйомності автодорожніх мостів. Київ, 2021. 83 с. (Інформація та документація).

References

1. Borysenko M. A., Zelenskyi B. M., Zavorodnii S. S., Ivonenko O. Yu. Doslidzhennia mitsnosti betonu neruinivnymi ta ruinivnymi metodamy (Study of the strength of concrete by non-destructive and destructive methods. Roads and bridges). *Dorohy i mosty*. 2024. Issue 29. P. 225–234. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2024.29.225> [in Ukrainian].
2. DSTU 8908:2019 Avtodorozhni mosty. Klasyfikatsiia defektiv (Road bridges. Classification of defects). Kyiv, 2020. 25 p. (informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DSTU 9181:2022 Nastanova z otsiniuvannia ta prohnozuvannia tekhnichnoho stanu avtodorozhnikh mostiv (Guidelines for evaluating and predicting the technical condition of highway bridge). Kyiv, 2022. 52 p. (informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. MR V.2.3-37641918-921:2021 Metodychni rekomendatsii z vyznachennia vantazhopidomnosti avtodorozhnikh mostiv (Methodical recommendations for determining the carrying capacity of highway bridges). Kyiv, 2021. 83 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

Olena Slavinska¹, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0002-9709-0078>

Inessa Rutkovska¹, Ph.D., Prof., <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>

Olena Usychenko¹, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-7482-8420>

Bohdan Zelenskyi², <https://orcid.org/0000-0002-9949-3209>

¹National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

²State Enterprise “National Institute for Development Infrastructure” (SE “NIDI”), Kyiv, Ukraine

METHOD OF PHYSICAL AND FUNCTIONAL WEAR ASSESSMENT IN DETERMINING THE QUALITY CONDITION OF ROAD BRIDGES

Abstracts

Introduction. Assessment of the qualitative condition of road bridges is a complex process that involves the analysis of physical and functional deterioration of structures. Physical deterioration is associated with deterioration of materials and loss of strength of elements, while functional deterioration is manifested in a decrease in the bearing capacity and deformability of the bridge.

Problems. To determine the level of wear, a comprehensive method is used, including visual inspection, calculation estimates and experimental studies. In addition, a differentiated method is used, which allows comparing actual values with design values and drawing conclusions about the quality of individual elements and the structure as a whole.

Objective. The expert method is an important addition to other methods of assessing the technical condition of bridges.

Materials and Methods. It allows to take into account factors that are difficult to formalize and provides a comprehensive understanding of the condition of the structure. However, in order to obtain reliable results, it is necessary to carefully approach the formation of an expert group and the organization of the assessment process.

Results. Assessment of the qualitative condition of bridges is critical to ensuring the safety of their effective operation. The qualimetric model offers a detailed and structured approach to assessing the physical deterioration of a bridge by dividing the entire structure into key elements and evaluating each of them according to various parameters and provides a comprehensive assessment of its condition.

Conclusions. This approach is the basis for effective management of transport infrastructure, optimization of maintenance costs and ensuring long-term safety of bridges.

Keywords: highway bridge, transport structure, qualitative condition, technical condition, operational condition, defect, qualimetric model, span structure, support, foundation.