

УДК 625.7/.8

DOI: 10.15587/2706-5448.2020.210556

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКІСНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ З ДРЕНАЖНОЮ СИСТЕМОЮ

Бубела А. В.

Об'єктом дослідження є процес комплексної оцінки якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги. Природньо-кліматичні фактори впливають на стан автомобільної дороги за рахунок зміни умов водно-теплового режиму та руху транспортних засобів. Вода, різкі коливання температури, вплив великовагового транспорту відіграють ключову роль в життєвому циклі будь-якої транспортної споруди, впливаючи на її транспортно-експлуатаційні характеристики. Визначення комплексного показника якісного стану ґрунтується на сукупності окремих показників, які його всебічно характеризують з урахуванням впливу вагомостей кожного параметру та конструктивного елементу автомобільної дороги. Це враховується в багаторівневій кваліметричній моделі, яка складається з двох основних груп фізичного та функціонального зносу. Показники фізичного зносу змінюються з часом та характеризуються відповідністю певним нормативним показникам і вимогам. Функціональні – з часом не змінюються, але залежать від потреб споживачів транспортних послуг. Вибір кількості рівнів моделі залежить від вагомості техніко-функціональних характеристик ділянки автомобільної дороги. Інформація про ділянку та про складові її властивостей збільшується з зростанням числа рівнів. Їх оптимальна кількість обумовлює обсяги вимірювань та обчислень при отриманні комплексного показника якісного стану. Результати дослідження дозволили розробити комплексний метод оцінки якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги, де необхідно влаштовувати дренажну систему. Розроблений метод ґрунтується на експертному підході визначення фізичних та функціональних показників, кількість яких визначається в залежності від параметрів автомобільної дороги. Обґрунтовано номенклатуру показників якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги та сформована модель з оптимальною кількістю показників, які всебічно та в повному обсязі дозволяють охарактеризувати всі її конструктивні елементи за фізичним та функціональним зносом.

Ключові слова: автомобільна дорога, водно-тепловий режим, дренаж мілкого закладання, кваліметрична модель.

1. Вступ

Автомобільна дорога являє собою складну інженерну лінійно-протяжну споруду, яка повинна відповідати сучасним вимогам щодо якісного транспортно-експлуатаційного стану. Сукупність показників, які його характеризують, дає можливість визначити комплексний показник на основі

впливу вагомості кожного параметру та конструктивного елементу на стан автомобільної дороги. Це враховується в багаторівневій кваліметричній моделі якісного стану, шляхом визначення та коригування його показників, які дозволяють визначити фізичний та функціональний знос автомобільної дороги. Їх призначення у великій мірі обумовлює достовірність моделі.

Найбільший вплив на стан автомобільної дороги найчастіше має вода, що вже знаходиться в шарах дорожньої конструкції, надходить через вибоїни та тріщини в асфальтобетонному покритті, які спричинені різними факторами. За умови належного водовідведення з дорожньої конструкції, яке, як правило, забезпечується дренажами мілкового закладання (ДМЗ), якісний стан автомобільної дороги відповідатиме нормативному. Розробка кваліметричної моделі надає можливість врахувати всі конструктивні рішення з підтримки відповідного якісного стану, що є питанням вкрай актуальним.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є процес комплексної оцінки якісного стану перевозоленої ділянки автомобільної дороги.

В якості інструментарію для визначення належного якісного стану автомобільної дороги використовують кваліметричну модель сукупності показників, які його характеризують в повній мірі. Вибір кількості рівнів моделі залежить від важливості техніко-функціональних характеристик ділянки автомобільної дороги. Із зростанням числа рівнів збільшується інформація про ділянку та про складові її властивостей. Багаторівнева модель системи, враховуючи великі обсяги вимірювань та обчислень, повинна мати оптимальну кількість рівнів. Надто велика кількість рівнів ускладнює процес проведення оцінки та не завжди забезпечує достатню точність.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – розробка комплексного методу оцінки якісного стану перевозоленої ділянки автомобільної дороги.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. На основі параметрів, які характеризують фізичний та функціональний знос ділянки автомобільної дороги з дренажною системою, визначити коефіцієнти вагомостей показників якісного стану за експертним методом.
2. Розробити кваліметричну та математичну моделі оцінки якісного стану перевозоленої ділянки автомобільної дороги.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

В роботах [1, 2] проводиться оцінка та визначення показників якісного стану автомобільної дороги узагальненим підходом, який не враховує специфіку роботи перевозоленої ділянки. Як зазначено в роботі [3], комплексна оцінка автомобільних доріг є процесом трудомістким, який потребує залучення фахівців. Проводяться обширні польові спостереження експертів, які характеризують індекс стану дорожнього покриття, ґрунтуючись на встановлених фізичних параметрах, таких як розтріскування, деформація, ковзання. Окрім цього, неналежне

водовідведення сприяє нестабільним дорожнім умовам, виявленими експертами під час обстеження доріг та які можуть призвести до стихійних лих [4]. Тому визначена необхідність використання транспортного моделювання для розробки проектних рішень, за рахунок побудови моделей, необхідних для вирішення різних задач транспортно-експлуатаційного стану автомобільної дороги [5]. В роботах [6, 7] пропонується використовувати кваліметрію для визначення рівня якісного стану. Однак труднощами використання даного методу є специфічні особливості та багатопараметричність автомобільних доріг. Принципово нові методичні підходи до визначення вагомостей характеристик та параметрів об'єктів оцінювання наведені в [8, 9]. Проте, зазначені методичні підходи можуть бути використані в даному дослідженні лише частково і тільки для побудови методології визначення вагомостей параметрів ділянки автомобільної дороги.

Багатьма дослідниками в різних галузях застосовувалися принципи кваліметрії для інтерпретації якісних параметрів. Для математичної формалізації інформації про рівень якісного стану об'єктів дорожньої інфраструктури підкреслюється в [10]. Проте більшість проаналізованих математичних моделей в наведених дослідженнях не дозволяють визначити вплив параметрів та характеристик ділянки автомобільної дороги на її рівень якісного стану. Не вирішеним залишаються питання врахування фактичного рівня якісного стану та достовірності інформації про фізичний та функціональний знос. Це робить перспективним напрямок розробки математичної моделі оцінки якісного стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги.

5. Методи дослідження

Представлений метод ґрунтується на розроблених авторами методиках [1, 2, 11].

В кваліметричній моделі оцінки якісного стану ділянки автомобільної дороги показники поділяють на дві основні групи: фізичний знос та функціональні показники. Фізичний знос змінюється з часом і його можна охарактеризувати числовим значенням або певними нормативними показниками, що регламентують відповідність або невідповідність вимогам належного функціонування ділянки дороги. Функціональні показники з часом не змінюються, але їх відповідність залежить від споживачів транспортних послуг [12].

У результаті розділення складних і середніх властивостей на прості зростає число рівнів. Модель вважається закінченою, повною, коли останній p -й рівень представлений простими, неподільними властивостями. Такій підхід дозволяє формувати різні варіанти показників стану.

Властивості кожного рівня роблять взаємний вплив одна на одну, а узагальнені властивості одного рівня впливають на узагальнені властивості іншого. Складна властивість на найнижчому нульовому рівні характеризується сукупністю властивостей, розташованих на більш високих рівнях і являє собою окремий комплексний показник (рис. 1). Отже, між комплексним показником стану ділянки автомобільної дороги та i -ою властивістю p -го рівня є певна кількісна залежність.

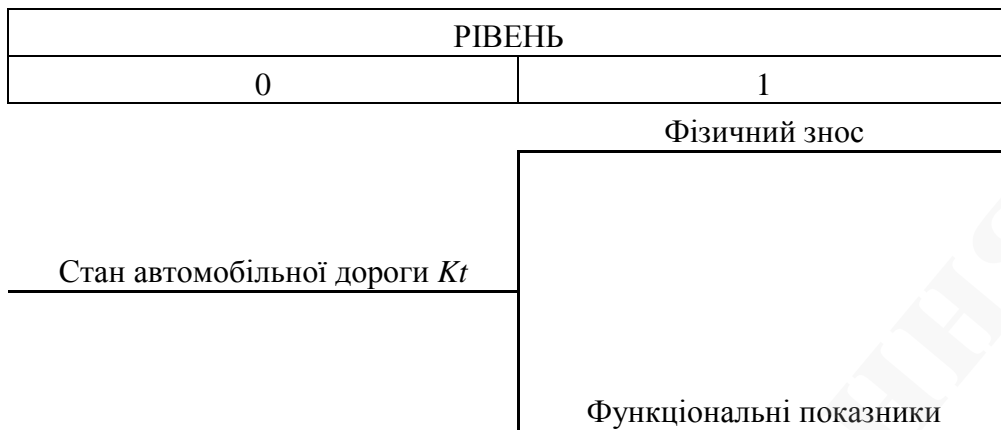


Рис. 1. Нульовий та перший рівні кваліметричної моделі ділянки автомобільної дороги, що експлуатується

На будь-якому рівні (рис. 2) кожна властивість характеризується не тільки диференційним показником, але й коефіцієнтом вагомості, який відображає величину значимості диференційного показника в комплексному показнику. Математично процес побудови кваліметричної моделі стану ділянки автомобільної дороги можна представити за формулою:

$$K_t = f(K_{i1}, K_{i2}, \dots, K_{ij}), \quad (1)$$

де K_t – рівень стану, у вигляді коефіцієнту: $K_t \in [0;1,0]$, $\{K_t \in Q\}$; K_{ij} – значення j -го показника на i -му рівні моделі; i – рівень моделі, $\{i \in P\}$; j – кількість показників у межах i -го рівня моделі, $\{j \in L\}$; Q, P, L – множини раціональних чисел.

Рівень якісного стану ділянки дороги є величиною залежною від сукупності показників вищої підгрупи з урахуванням їх вагомості, згідно з кваліметричною моделлю [13–16]:

$$K_t = \sum_{j=1}^l K_{ij} \cdot m'_{ij}, \quad (2)$$

де m'_{ij} – коефіцієнт вагомості складних (комплексних) властивостей, що характеризують стан ділянки дороги на першому (вищому) рівні моделі; l – кількість груп показників, $\{l \in N\}$.

Відповідно, на найнижчому рівні моделі:

$$K_{pj} = \sum_{j=1}^{l'} P_{pj} \cdot m_{pj}, \quad (3)$$

де P_{pj} – одиничний диференційний показник стану автомобільної дороги на рівні p моделі; m_{pj} – коефіцієнт вагомості простих властивостей, що характеризують стан автомобільної дороги на найнижчому рівні моделі (p); l' –

кількість показників (властивостей) розглянутого елемента дороги на рівні p моделі, $\{p \in N\}$.

Кожен рівень властивостей автомобільної дороги може бути кількісно визначений одиничним (диференційованим) показником стану:

$$P_{pj} = \frac{P_{pj}^a}{P_{pj}^b} \text{ або } P_{pj} = \frac{P_{pj}^b}{P_{pj}^a}, \quad (4)$$

де P_{pj}^a – значення j -го абсолютного показника стану на найнижчому рівні моделі (p); P_{pj}^b – значення j -го базового (еталонного) показника стану на найнижчому рівні моделі (p).

При цьому, одиничний показник є безрозмірною величиною, яка визначає рівень стану дороги у вигляді коефіцієнту або у відсотковому значенні. Проте, процес отримання показника K_{pi} в моделі ускладнюється тим, що потрібно чітко визначити вагомість кожного показника в ієрархічній системі.

Вагомість властивостей на будь-якому рівні або в групі даного рівня підпорядковується залежності:

$$\sum_{i=1}^n m_i = k = const, \quad (5)$$

де k – постійна величина, яка дорівнює одиниці при дробових значеннях m_i та дорівнює 100 при представленні m_i у відсотках.

В кожній групі $\sum m'_j = 1$ на кожному рівні $\sum m_i = 1$, крім того $m_i < m'_j$. За результатами розрахунків кожний зв'язок моделі характеризують чотири показниками – номером, найменуванням показника якісного стану, груповим коефіцієнтом вагомості m'_j та рівневим коефіцієнтом.

Визначити значення коефіцієнтів вагомості можна наступними методами: вартісним, експертним, статистичним та комбінованим [12]. Використання перших двох передбачає визначення взаємозв'язку між одиничними показниками із залученням експертів. Але основним недоліком цієї групи методів є суб'єктивний підхід. Суть вартісного методу полягає у спрощеному підході до визначення показників вагомості, тобто за зведеним кошторисним розрахунком вартості будівництва ділянки автомобільної дороги у відповідності до сучасних цін. Але слід зауважити, що вартість – це непостійна величина, яка залежить від багатьох факторів, тому при незначних її коливаннях може значно знижуватися достовірність отриманих значень вагомостей.

Вартісний метод ґрунтується на припущенні, що якість пропорційна вартості, а вагомість ідентична витратам:

$$m_{ij} = f(C_j) \rightarrow m_{ij} = \frac{C_j}{\sum_j C_j}, \quad (6)$$

де m_{ij} – коефіцієнт вагомості j -тої властивості на i -му рівні; C_j – кошторисна вартість j -тої властивості (автомобільної дороги, складової чи конструктивного елемента ділянки автомобільної дороги); $\sum_j^l C_j$ – повна кошторисна вартість ділянки автомобільної дороги, складової чи елемента; l' – кількість показників (властивостей) розглянутої ділянки автомобільної дороги, складової чи елемента на i -му рівні моделі.

Експертний метод визначення коефіцієнтів вагомості заснований на аналізі думок фахівців, які оцінюють властивість елементів об'єкта оцінки. По відношенню середньої оцінки експертів до загальної суми середніх оцінок визначають групові коефіцієнти вагомості по кожній властивості об'єкта. Коефіцієнт вагомості i -ої властивості даної групи визначається за формулою:

$$m'_i = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_{ij}}{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n N_{ij}}, \quad (7)$$

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

По кожній групі виконується умова, описана формулою (5). Після аналогічного визначення коефіцієнтів вагомості показника по кожній групі розраховуються рівневі коефіцієнти вагомості кожної властивості.

Визначення коефіцієнтів вагомості деяких характеристик автомобільної дороги можна здійснити двома способами: визначити середньоарифметичну величину або використати математичне зважування. Найкращим є спосіб суб'єктивного зважування кінцевих результатів: визначення коефіцієнтів вагомості за формулою:

$$m_{ij} = \sum_{j=1}^q m_j \cdot z_j, \quad (8)$$

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

За відсутності даних про деякі показники коефіцієнти вагомості решти розрахованих показників збільшують наступним чином:

$$m_{ijn} = m_{ij} + \frac{\sum_{i=1}^q m'_{ij}}{n - q}, \quad (9)$$

де m_{ijn} – нове значення коефіцієнта вагомості; q – число відсутніх факторів з коефіцієнтами вагомості m'_{ij} .

Природньо-кліматичні фактори впливають на стан автомобільної дороги за рахунок зміни умов водно-теплового режиму та руху транспортних засобів. Найбільшу руйнівну дію на всі споруди, будови та елементи дороги чинить вода, різкі коливання температури, вплив великовагового транспорту.

Вода відіграє ключову роль в життєвому циклі будь-якої транспортної споруди, впливаючи на її транспортно-експлуатаційні характеристики. Відомо, що відсутність надлишку вологи в дорожніх конструкціях і ґрунтах земляного полотна означає належне її функціонування. Надмірний вміст вологи знижує несну здатність, сприяє розвитку деформацій покриття, що призводить до прискореного руйнування та скорочення терміну служби дороги. У таких випадках на ділянках дороги з проблемами водовідведення необхідно більш частий ремонт. При визначенні виду ремонтних робіт витрати на влаштування покриття необхідно порівнювати з витратами на підтримку в належному стані системи водовідведення.

Для того, щоб забезпечити якісний стан ділянки автомобільної дороги з витратами на експлуатацію, зведеними до мінімуму, треба так спроектувати конструктивні шари, щоб була можливість їх швидкого осушення за короткий проміжок часу. Для робочої зони дорожньої конструкції цю функцію виконують ДМЗ, які влаштовують з різних матеріалів за фізико-хімічними властивостями, що впливають на інтенсивність водовідведення.

Існуючі методи визначення вагомостей параметрів дренажних систем мілкового закладення в дорожній конструкції носять розрізнений характер і, перш за все, направлені на забезпечення достатньої водопропускної спроможності.

6. Результати дослідження

Вихідними даними для визначення основних показників групи фізичного зносу, у відповідності до складових конструктивних елементів автомобільної дороги, є будівельні норми [17]. До другої групи (функціонального зносу) відносяться такі показники, які, зазвичай, закладено на етапі проектування ділянки автомобільної дороги [2]. Основними показниками фізичного та функціонального зносу, які впливають на якісний стан ділянки автомобільної дороги є показники 2-го рівня моделі. Кожний цей показник характеризується більш простими (диференційними) показниками – рівні 3 та 4 (рис. 2, 3).

Фізичний знос ділянки автомобільної дороги характеризується 8-ма показниками (K1–K8), де 3-і з них в свою чергу також поділяються на групи від 3 до 5 показників (рівень 3, рис. 2). Якщо дренавальний шар працює за принципом поглинання, тоді ДМЗ не влаштовують, їх вагомість дорівнює 0 і, відповідно, вагомість решти показників перераховується згідно (9). Якщо дренавальний шар працює за принципом осушення, тоді влаштовують або поперечні ДМЗ, або повздовжні ДМЗ, або комплексні ДМЗ. В свою чергу функціональний знос характеризується 4-ма показниками (K9–K12), де 2-а з них поділяються на групи по 6 показникам (рівень 3, рис. 3).

Значення показників 2-го рівня фізичного зносу K1–K8 на рис. 2 були визначені за допомогою вартісного методу. Крім того, є показники, які не можливо оцінити вартісним методом, тому коефіцієнти вагомості на рис. 2, 3

визначені на основі комбінації двох методів експертного та вартісного [1, 2]. Вихідними даними до їх визначення є результати натурних досліджень, кошторисна документація, відомча нормативна база, а також дані, отримані шляхом анкетування експертів дорожньої галузі (табл. 1) та можуть бути змінені в залежності від гідрологічних та ґрунтово-геологічних умов.

Згідно підходів експертного методу, які були детально розглянуті при побудові кваліметричної моделі в роботах [1, 2], були визначені показники фізичного зносу 3-го та 4-го рівнів (рис. 2). А також всі показники функціонального зносу 2-го та 3-го рівнів (рис. 3).

При детальному розгляді показник «дренажна система» у групі фізичного зносу поділяється на 4-и простих показника, які мають свій вплив на якісний стан автомобільної дороги. В свою чергу, такий конструктивний елемент, як поперечний ДМЗ характеризується 5-ма показниками. Таким чином, пріоритетність факторів, що визначають техніко-технологічні показники ДМЗ та відповідні їм коефіцієнти вагомості, визначено на рівні 4 (рис. 2).

Що стосується функціональних показників якісного стану, то їх вплив на комплексний показник становить 26 %. Але існує певний зв'язок між фізичним та функціональним зносом. Тобто, якщо розглянути ефективність роботи дренажної системи, то функціональний показник якісного стану залежить від 4-ох показників 3-го рівня моделі, а саме поздовжній та поперечний похил ділянки дороги, похил дренажної траншеї та відведення поверхневого стоку, що знаходяться в різних групах (рис. 3).

РІВЕНЬ												
0	1	2	3		4							
Фізичний знос	0,74	Земляне полотно К1	Стан укріпленої частини узбіччя	0,201	P1	0,0362	Замулювання дренажної траншеї	0,206	P8	0,0113		
			Коефіцієнт ущільнення	0,224	P2	0,0403		Інтенсивність водовідведення дренажної траншеї	0,273	P9	0,0150	
		0,18	Вологість	0,187	P3	0,0337		Стойкість до деформації дренажної конструкції від впливу великогазових транспортних засобів під час експлуатації	0,263	P10	0,0144	
			Водопроникність ґрунту	0,193	P4	0,0347						
			Укоси	0,195	P5	0,0351						
			Дренажна система К2	Кювети, канали, лотки	0,335	P6						0,057
		Дренажі глибокого закладання		0,342	P7	0,0581						
		0,17	Дренажі мілкового закладання	0,323		0,0549		Коефіцієнт фільтрації наповнювача	0,129	P11	0,0071	
				Коефіцієнт пористості наповнювача	0,129	P12		0,0071				
		Дорожній одяг К3	Рівність	0,187	P13	0,0355		Дорожні інженерні облаштування К5	0,04	P19	0,04	
			Цілісність покриття	0,211	P14	0,0401						
			0,19	Шорсткість (коефіцієнт зчеплення)	0,233	P15						0,0443
				Міцність (коефіцієнт запасу міцності)	0,25	P16						0,0475
		Усереднений коефіцієнт фільтрації шарів основи	0,119	P17	0,0226	Споруди дорожньої служби К6		0,01	P20	0,01		
			0,09	P18	0,09							
		Транспортні споруди К4	0,09			Об'єкти дорожнього сервісу К7		0,01	P21	0,01		
		0,05	Засоби організації дорожнього руху К8	0,05	P22	0,05						

Рис. 2. Показники фізичного зносу ділянки доріг з надмірним зволоженням

РІВЕНЬ								
0	1	2	3					
Стан автомобільно і дороги <i>Kt</i>	Функціональні показники	Інтенсивність руху <i>K9</i>	0,05	P23	0,05			
		0,05 Параметри елементів плану, поздовжнього та поперечного профілю автомобільної дороги <i>K10</i>	Радіус кривих у плані	0,158	P24	0,0095		
			Радіус кривих у поздовжньому профілі	0,168	P25	0,0101		
			Поздовжній похил ділянки дороги	0,168	P26	0,0101		
		0,06	Похил дренажної траншеї	0,18	P27	0,0108		
			Поперечний похил ділянки дороги	0,155	P28	0,0093		
			Видимість	0,171	P29	0,0103		
		Показники ділянки автомобільної дороги з безпеки дорожнього руху <i>K11</i>	0,08	P30	0,08			
		0,26	0,08 Оцінка впливу на навколишнє середовище (гігієнічні показники) <i>K12</i>	Забруднення внаслідок транспортних викидів	0,23	P31	0,0161	
				Шумове забруднення	0,2	P32	0,014	
	Освітлення	0,08		P33	0,0056			
	Естетичність	0,161		P34	0,0113			
	Озеленення	0,164		P35	0,0115			
	Відведення поверхневого стоку	0,165		P36	0,0116			
	0,07							

Рис. 3. Функціональні показники стану автомобільної дороги з урахуванням їх вагомостей

Обґрунтування коефіцієнтів вагомості показників якісного стану конструктивних елементів автомобільної дороги на основі оцінки експертів представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Визначення коефіцієнтів вагомості показників якісного стану конструктивних елементів автомобільної дороги експертним методом

№ з/п	Оцінка експертів					Середня оцінка	Сума середніх оцінок	Груповий коефіцієнт вагомості властивості	Коефіцієнт вагомості показника	Рівневий коефіцієнт вагомості властивості	Конструктивний елемент
	1	2	3	4	5						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	59	62	63	57	64	61	304	0,201	0,18	0,0362	Стан укріпленої частини узбіччя
2	65	69	71	67	68	68		0,224		0,0403	Коефіцієнт ущільнення
3	60	57	56	53	59	57		0,187		0,0337	Вологість
4	56	62	58	54	65	59		0,193		0,0347	Водопроникність ґрунту
5	61	60	57	59	58	59		0,195		0,0351	Укоси
6	97	95	94	98	96	96	287	0,335	0,17	0,0570	Кювети, канави, лотки
7	97	99	98	97	99	98		0,342		0,0581	Дренажі глибокого закладання
	93	90	96	94	92	93		0,323		0,0549	Дренажі мілкового закладання
8	76	74	72	73	75	74	358	0,206	0,0549	0,0113	Замулювання дренажної траншеї
9	97	99	98	97	99	98		0,273		0,0150	Інтенсивність водовідведення дренажної траншеї
10	95	96	92	94	93	94		0,263		0,0144	Стійкість до деформації дренажної конструкції від впливу великовагових транспортних засобів
11	43	48	45	46	48	46		0,129		0,0071	Коефіцієнт фільтрації наповнювача
12	48	47	42	49	44	46		0,129		0,0071	Коефіцієнт пористості наповнювача
13	60	63	57	59	61	60	321	0,187	0,19	0,0355	Рівність
14	62	69	71	68	70	68		0,211		0,0401	Цілісність покриття
15	75	78	73	74	75	75		0,233		0,0443	Шорсткість (коефіцієнт зчеплення)
16	79	83	78	81	79	80		0,25		0,0475	Міцність (коефіцієнт запасу міцності)
17	42	38	34	37	39	38		0,119		0,0226	Усереднений коефіцієнт фільтрації шарів основи
18	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	26	26	1	0,09	0,0900	Транспортні споруди

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	30	30	1	0,04	0,0400	Дорожні інженерні облаштування
20	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	32	32	1	0,01	0,0100	Споруди дорожньої служби
21	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	31	31	1	0,01	0,0100	Об'єкти дорожнього сервісу
22	н/в	н/в	н/в	н/в	н/в	24	24	1	0,05	0,0500	Засоби організації дорожнього руху
23	27	26	28	24	25	26	26	1	0,05	0,0500	Інтенсивність руху
24	18	17	15	14	16	16	101	0,158	0,06	0,0095	Радіус кривих у плані
25	17	16	17	18	17	17		0,168		0,0101	Радіус кривих у поздовжньому профілі
26	19	15	16	17	18	17		0,168		0,0101	Поздовжній похил ділянки дороги
27	20	16	18	19	17	18		0,18		0,0108	Похил дренажної траншеї
28	15	16	16	18	15	16		0,155		0,0093	Поперечний похил ділянки дороги
29	21	17	19	20	18	17		0,171		0,0103	Видимість
30	30	29	33	32	31	31		31		1	0,08
31	25	29	26	28	27	27	118	0,23	0,07	0,0161	Забруднення внаслідок транспортних викидів
32	25	24	26	20	25	24		0,2		0,0140	Шумове забруднення
33	8	9	10	11	7	9		0,08		0,0056	Освітлення
34	21	17	19	20	18	19		0,161		0,0113	Естетичність
35	20	19	19	17	20	19		0,164		0,0115	Озеленення
36	21	20	19	20	20	20		0,165		0,0116	Відведення стічних вод

Примітка: н/в – не визначається експертним методом

Груповий коефіцієнт вагомості властивості визначається за формулою (7). Коефіцієнт вагомості показника було визначено вартісним методом. Рівневий коефіцієнт вагомості властивості являє собою добуток групового коефіцієнта вагомості властивості та коефіцієнта вагомості показника.

З урахуванням такої кількості якісних ознак стану автомобільної дороги розроблено математичну модель якісного стану ділянки автомобільної дороги, яка дає можливість привести до єдиного показника моделі всі властивості, тобто трансформувати всі прості властивості за єдиною шкалою:

$$\begin{aligned}
 K_i = & 0,0362 \cdot P_1 + 0,0403 \cdot P_2 + 0,0337 \cdot P_3 + 0,0347 \cdot P_4 + 0,351 \cdot P_5 + 0,0570 \cdot P_6 + \\
 & + 0,0581 \cdot P_7 + 0,0113 \cdot P_8 + 0,0150 \cdot P_9 + 0,0144 \cdot P_{10} + 0,0071 \cdot (P_{11} + P_{12}) + 0,0355 \cdot P_{13} + \\
 & + 0,0401 \cdot P_{14} + 0,0443 \cdot P_{15} + 0,0475 \cdot P_{16} + 0,0226 \cdot P_{17} + 0,09 \cdot P_{18} + 0,04 \cdot P_{19} + 0,01 \cdot P_{20} + \\
 & + 0,01 \cdot P_{21} + 0,05 \cdot P_{22} + 0,05 \cdot P_{23} + 0,0095 \cdot P_{24} + 0,0101 \cdot P_{25} + 0,0101 \cdot P_{26} + 0,0108 \cdot P_{27} + \\
 & + 0,0093 \cdot P_{28} + 0,0103 \cdot P_{29} + 0,08 \cdot P_{30} + 0,0161 \cdot P_{31} + 0,014 \cdot P_{32} + 0,0056 \cdot P_{33} + 0,0113 \cdot P_{34} + \\
 & + 0,0115 \cdot P_{35} + 0,0116 \cdot P_{36}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Перевагою цієї моделі є те, що вона дає можливість визначити комплексний показник, що враховує вплив кожного диференційного показника як на певний рівень моделі, так і на певні групи та види показників. Особливість даної математичної моделі полягає в тому, що вона враховує фізичний та функціональний знос не тільки як розрахункове значення за нормативами, а і як результат визначення рівня стану перезволоженої ділянки автомобільної дороги з застосуванням основних положень кваліметрії.

7. SWOT-аналіз результатів дослідження

Strengths. У порівнянні з аналогами, розроблений метод ґрунтується на експертному підході визначення вагомостей фізичних та функціональних показників, кількість яких залежить від особливостей роботи ділянки автомобільної дороги. Даний метод дозволяє оцінити показники, які неможливо проаналізувати іншим методом та, відповідно, отримати узагальнену оцінку якісного стану ділянки автомобільної дороги.

Weaknesses. Експертний метод ґрунтується на професійному рівні експертів та на суб'єктивному рішенні кожного з них.

Opportunities. Можна застосовувати для будь-якої транспортної споруди з урахуванням стану її конструктивних елементів.

Threats. Потребує постійного коригування коефіцієнтів вагомості показників якісного стану з врахуванням ступеня фізичного зносу транспортної споруди та параметру функціонального зносу, який залежить від багатьох зовнішніх факторів.

8. Висновки

1. Запропонована модель враховує специфічні особливості та характеристики показників якісного стану автомобільної дороги, а також базується на комплексному підході щодо раціонального поєднання методів

визначення та обґрунтування їх вагомостей. Визначення коефіцієнтів вагомості для кожного показника та елементів автомобільної дороги, з урахуванням дренажної системи, проводилося способом середньоарифметичної величини або математичного зважування.

2. Розроблено кваліметричну модель на основі багаторівневої ієрархічної системи показників якісного стану ділянки автомобільної дороги з надмірним зволоженням, яка характеризується 12-ма показниками 2-го рівня. Із них 5-ть мають складові 3-го рівня (25 показників), а також, з врахуванням особливостей роботи ділянки автомобільної дороги в зоні надмірного зволоження, конкретизуються показниками 4-го рівня. Отримано математичну модель якісного стану, де враховані проектно-конструктивні параметри ділянки автомобільної дороги, зокрема дренажів мілкового закладання. Модель дозволяє узагальнено охарактеризувати комплексний показник якісного стану ділянки автомобільної дороги, який є вихідним параметром для визначення витрат на її експлуатаційне утримання.

Література

1. Slavinska, O., Savenko, V., Kharchenko, A., Bubela, A. (2017). Development of a mathematical model of evaluation of road-and-transport assets as a component of information-and-management system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (90)), 45–57. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118798>
2. Slavinska, O., Stozhka, V., Kharchenko, A., Bubela, A., Kvatadze, A. (2019). Development of a model of the weight of motor roads parameters as part of the information and management system of monetary evaluation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (97)), 46–59. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156519>
3. Herold, M., Dar, R., Smadi, O., Noronha, V. (2004). *Road condition mapping with hyperspectral remote sensing*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/228608996_Road_condition_mapping_with_hyperspectral_remote_sensing
4. Puri, E. R. (2017). Development of Parameters of Road Conditions based on Road User/Citizen Satisfaction. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 3 (5). doi: <http://doi.org/10.12962/j23546026.y2017i5.3174>
5. Solodkiy, A., Gorev, A. (2018). Determination of basic factors for the successful implementation of the safe and high-quality roads project. *Transportation Research Procedia*, 36, 741–746. doi: <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.097>
6. Leonova, T. I., Kalazhokova, I. A. (2015). Kvalimetricheskaia model otsenki kachestva nauchno-tekhnicheskikh rabot. *Fundamentalnye issledovaniia*, 6-1, 143–147. Available at: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=38410>
7. Barinov, N. P., Abbasov, M. E. (2016). *O korrektnom ispolzovanii kvalimetricheskikh protsedur pri otsenke nedvizhimosti*. Biblioteka LABRATE.RU. Available at: <http://www.labrate.ru/articles/2016-barinov-abbasov.pdf>
8. Oleinikov, B. V., Beskorsii, N. S. (2014). O vliianii shkaly na rezultaty mnogokriterialnogo vybora v metodologii AHP T. Saati. *Obrazovatelnye resursy i tekhnologi*, 1 (4), 331–337. Available at: https://www.muiv.ru/vestnik/pdf/pp/ot_2014_1_331-337.pdf

9. Tikhomirova, A. N., Sidorenko, E. V. (2012). Modifikatsiia metoda analiza ierarkhii T. Saati dlia rascheta vesov kriteriev pri otsenke innovatsionnykh proektov. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=6009>
10. Lapidus, A., Makarov, A. (2016). Fuzzy sets on step of planning of experiment for organization and management of construction processes. *MATEC Web of Conferences*, 86, 05003. doi: <http://doi.org/10.1051/matecconf/20168605003>
11. *MR D 1.2-37641918-884:2017 Metodychni rekomendatsii z provedennia vartisnoi otsinky avtomobilnykh doroh i sporud na nykh* (2017). Kyiv, 92.
12. Sidenko, V. M., Rokas, S. Iu. (1981). *Upravlenie kachestvom v dorozhnom stroitelstve*. Moscow: Transport, 252.
13. Slavinska, O. S. (2016). Application of transformation assessment tasks highways managment methodology of property evaluation road on the basis of transformation. *Roads and road construction*, 96, 104–111.
14. Bubela, A. V. (2016). Project management of estimates of the roads based on considerstion of the technical state. *Roads and road construction*, 97, 50–55.
15. Slavinska, O. S. (2016). Metodolohiia mainovoi otsinky avtomobilnoi dorohy, yak obiekta derzhavnoi vlasnosti. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 97, 70–77.
16. Bubela, A. V. (2016). Vykorystannia dyferentsiinoho metodu v proektakh budivnytstva avtomobilnoi dorohy dlia obliku ta otsinky aktyviv dorozhnoho gospodarstva. *Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo*, 98, 22–29.
17. *DBN V.2.3-4:2015. Avtomobilni dorohy. Proektuvannia. Budivnytstvo. Vved. 2016-04-01* (2015). Kyiv: DP «Ukrarkhbudinformat», 104.