

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.7

Богаченко В.М., канд. техн. наук, Гончаренко М.В.

АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ОБГРУНТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. В статті автори наводять характеристику критеріїв, за допомогою яких обґрунтовують необхідність реконструкції автомобільної дороги.

Ключові слова: автомобільна дорога, реконструкція, інтенсивність руху, пропускна здатність, коефіцієнт завантаження, коефіцієнт безпеки руху, коефіцієнт швидкості, підсумковий коефіцієнт аварійності.

Аннотация. В статье авторы приводят характеристику критериев, с помощью которых обосновывают необходимость реконструкции автомобильной дороги.

Ключевые слова: автомобильная дорога, реконструкция, интенсивность движения, пропускная способность, коэффициент загрузки, коэффициент безопасности движения, коэффициент скорости, итоговый коэффициент аварийности.

Annotation. In the article authors present characteristic of criteria which use for reconstruction of the road.

Key words: road reconstruction, traffic, bandwidth, load factor, safety factor, the factor of speed, the final rate of accidents.

Питання необхідності реконструкції автомобільних доріг є досить актуальним. Обмежене фінансування галузі вимагає чіткого порядку

визначення ділянки автомобільної дороги, котра найбільше потребує реконструкції.

Даний термін не має чіткого і однозначного визначення. Слову «реконструкція» відповідає широке коло понять: докорінна перебудова, перебудова за новими принципами, переобладнання, вдосконалення або упорядкування чого-небудь. Стосовно доріг, то під цим терміном розуміють докорінну перебудову дороги з іншими параметрами.

Існує кілька критеріїв, що використовуються для обґрунтування реконструкції автомобільних доріг: інтенсивність руху автомобільних доріг, коефіцієнти аварійності, коефіцієнти безпеки руху, коефіцієнти швидкості, ДТП та екологічні фактори.

Інтенсивність руху. За вимогами нормативних документів обґрунтування реконструкції виконується з врахуванням перспективної інтенсивності руху на двадцятирічний термін. Відомості про фактичну інтенсивність руху та склад транспортного потоку за попередні 5-10 років отримують в дорожньо-експлуатаційних службах. При аналізі фактичної інтенсивності руху можна відстежити певні закономірності зростання інтенсивності руху, встановити нерівномірність руху по годинах доби, днях тижня та сезонах року, а при наявності даних автоматичних лічильників руху - розрахувати коефіцієнти переходу від разових замірів до показників середньорічної добової інтенсивності руху.

Перспективна інтенсивність руху залежить від величини її приросту. Прогнозовану інтенсивність розраховують за такими формулами:

\

$$N_t = N_0 \cdot (1 + b \cdot t) \quad (1)$$

$$N_t = N_0 \cdot (1 + b)^t \quad (2)$$

$$N_t = N_0 \cdot e^{bt} \quad (3)$$

$$N_t = N_0 \cdot [1 + 0,01 \cdot (K_1 \cdot t + K_2 \sum_{i=1}^n t_i^{-1/3})] \quad (4)$$

де N_t – інтенсивність руху в розрахунковий рік, авт./добу;

b – щорічний приріст інтенсивності руху;

N_0 - інтенсивність руху за даними спостережень, авт./добу;

t – розрахунковий період прогнозування, роки;

e – основа натурального логарифма (2,71);

K_1 і K_2 – емпіричні коефіцієнти, що залежать від початкового приросту інтенсивності руху b ;

t_i – поточний рік прогнозування.

Значення коефіцієнта b розраховують за даними ретроспективного ряду середньорічної добової інтенсивності руху на тій чи іншій дорозі:

$$b = (N_{n+1} - N_n) N_{n-1} \quad (5)$$

де N_n – середньорічна добова інтенсивність руху, відносно якої визначають приріст, авт./добу;

N_{n+1} – середньорічна добова інтенсивність руху, відносно якої визначають приріст в наступному році, авт./добу.

Розрахунки, виконані за вище приведеними формулами, дають різні величини перспективної інтенсивності, що змінюється від 2 200 авт./добу до 30 000 авт./доб, що становить дуже велику різницю. Як правило прогнозування за степеневими залежностями дають значно більші значення, ніж в дійсності.

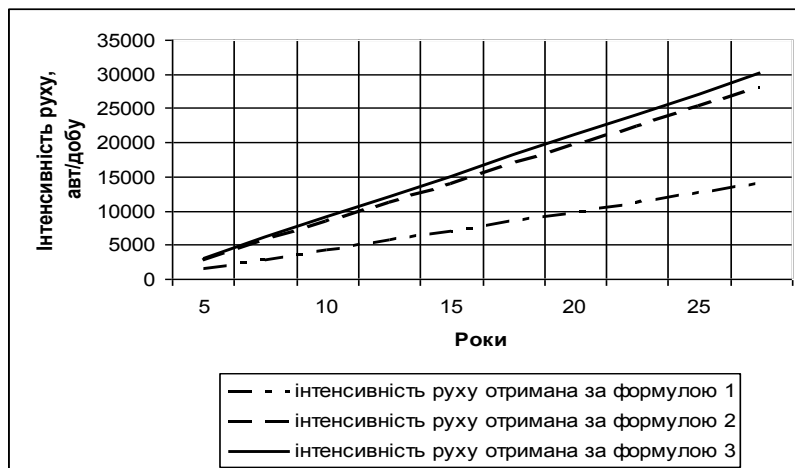


Рисунок 1 – Перспективна інтенсивність руху за різними методами

Більш достовірним може бути прогнозування за допомогою полінома. Дорожні організації складають щорічні звіти по інтенсивності руху. При наявності даних за кілька років виводяться рівняння зростання інтенсивності руху і на його основі складають прогнози. Спочатку встановлюється вид

залежності за даними дорожніх організацій, а потім за допомогою одержаної залежності прогнозується інтенсивність руху на перспективний період.

Метод багатофакторної екстраполяції базується на встановленні залежності між розмірами загальноекономічних показників (валова продукція, чисельність населення, обсяги вантажних та пасажирських перевезень, що здійснюються автомобільним транспортом та ін.) міста, району та інтенсивністю руху автомобілів на окремих ділянках доріг.

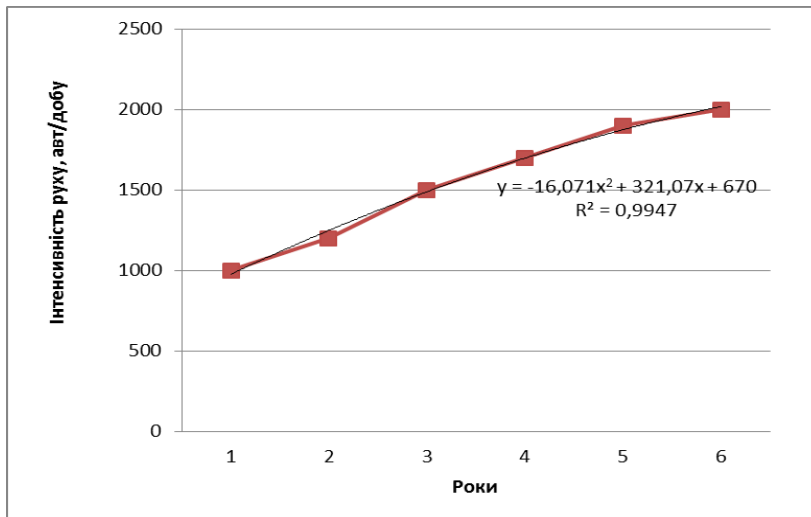


Рисунок 2 – Визначення функціональної залежності

Обсяги вантажних та пасажирських перевезень на автомобільних дорогах і інтенсивність руху знаходяться в кореляційній залежності від багатьох чинників розвитку економіки району тяжіння до автомобільної дороги, що проектується.

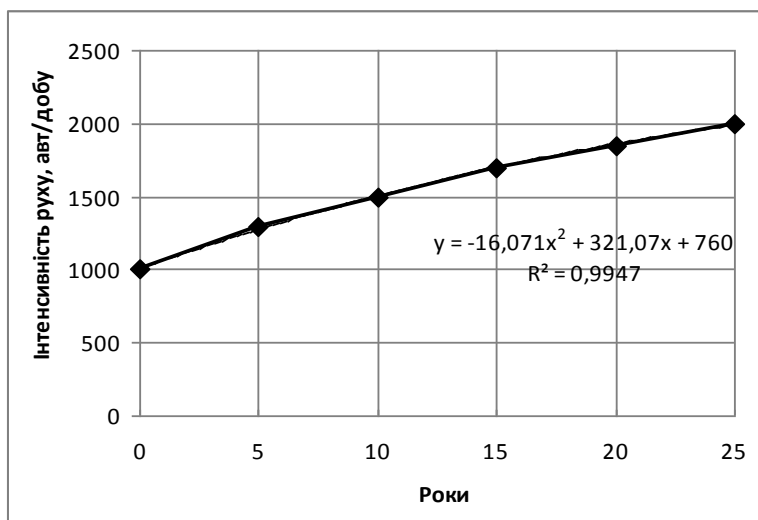


Рисунок 3 – Визначення перспективної інтенсивності

Правильне прогнозування інтенсивності руху автомобілів гарант точного визначення ділянки автомобільної дороги, що потребує реконструкції.

Підсумковий коефіцієнт аварійності. Для оцінки безпеки руху використовують підсумковий коефіцієнт аварійності. Підсумковий коефіцієнт аварійності являє собою добуток часткових коефіцієнтів, котрі враховують вплив окремих елементів плану і профілю.

$$K_{ав} = K_1 K_2 K_3 \dots K_{18}, \quad (6)$$

де $K_1, K_2, K_3, \dots, K_{18}$ – часткові коефіцієнти аварійності, що являють собою кількість ДТП при тому чи іншому значенні елемента плану і профілю в порівнянні з еталонною горизонтальною прямою ділянкою з проїзною частиною шириною 7,5 м, шорстким покриттям і укріпленими, широкими обочинами.

На основі коефіцієнтів аварійності будуються графіки. По кожній з характерних ділянок визначають коефіцієнти аварійності. Для кожної з цих ділянок розраховують підсумковий коефіцієнт аварійності та робляться висновки щодо проведення робіт на тій чи іншій ділянці автомобільної дороги.

За даними паспорта автомобільної дороги був побудований графік коефіцієнтів аварійності. За цими коефіцієнтами розраховали кількість ДТП на 1 млн. авт-км.

$$П = 34,5 - 0,27 K_{сум} + 0,009 K_{сум}^2. \quad (7)$$

Наприклад, на першій ділянці автомобільної дороги кількість ДТП на 1 млн. авт-км складає 277,025, а протяжність ділянки складає 84м з середньорічною добовою інтенсивністю по ній 1000 авт/добу. За цими даними розрахована кількість ДТП на ділянці становить 8,5 ДТП/рік. Подібним чином проаналізували ділянку даної автомобільної дороги. За отриманими даними з дорожньо-експлуатаційних служб на досліджуваній ділянці автомобільної дороги кількість ДТП складає 35.

Отже, бачимо, що графік коефіцієнтів аварійності не дає нам чіткої характеристики ситуації на дорозі і точної кількості ДТП – похибка становить 400%.

Коефіцієнт безпеки руху. Цей коефіцієнт характеризує відношення середньої швидкості руху одиночного транспортного засобу на ділянці зі складними умовами до середньої швидкості в'їзду автомобілів на цю ділянку:

$$K_{\delta} = \frac{\bar{v}_i}{\bar{v}_j} \quad (8)$$

де $\bar{v}_i$ - середня швидкість руху одиночного автомобіля на ділянці зі складними умовами, км/год;

$\bar{v}_j$ - середня швидкість руху при в'їзді на цю ділянку, км/год.

Даний коефіцієнт характеризує рух одиночного автомобіля. Він є неточним, оскільки при розрахунку його в зворотніх напрямках він може бути різний. А також під час розрахунку буде велика кількість даних, адже при в'їзді на кожен з ділянок швидкість руху транспортного засобу буде різною.

Коефіцієнт швидкості є відношення середньої швидкості руху транспортного потоку на ділянці дороги до швидкості вільного руху для даних геометричних елементів та складу транспортного потоку.

$$C = \frac{\bar{v}_i}{\bar{v}_b} \quad (9)$$

де $\bar{v}_i$ - середня швидкість руху транспортного потоку, км/год;

$\bar{v}_b$ - середня швидкість вільного руху, км/год.

Даний коефіцієнт показує, як дорожні умови забезпечують швидкість вільного руху. Автомобільну дорогу розглядають як сукупність елементарних ділянок з однорідними умовами.

Середня швидкість транспортного потоку на j-ій ділянці дороги визначається як мінімальна із середніх швидкостей, що залежать від таких параметрів: інтенсивності руху (V_N); радіусу горизонтальної кривої (V_R); величини поздовжнього похилу (V_i); показника рівності покриття (V_P); величини обмеження швидкості (V_O); величини середньої швидкості вільного руху ($V_{вл}$).

$$\bar{V}_j = \min(V_N, V_R, V_i, V_P, V_O, V_{вл}) \quad (10)$$

Мінімальне значення буде відповідати тому показнику, що найбільше впливає на зміну швидкості по відношенню до швидкості вільного руху.

Середня швидкість вільного руху визначається як середньостатистичне значення за формулою :

$$V_{в\text{іл}} = V_{л} \cdot \alpha + V_{в} \cdot \beta + V_{ав} \cdot \gamma + V_{ан} \cdot \rho \quad (11)$$

де $V_{л}, V_{в}, V_{ав}, V_{ан}$ - відповідно середні швидкості вільного руху легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів, км/год.;

$\alpha, \beta, \gamma, \rho$ - частки відповідно легкових, вантажних автомобілів, автобусів та автопотягів в транспортному потоці.

На основі розрахунків з визначення середніх швидкостей руху будують графіки середніх швидкостей в прямому та зворотному напрямках. На основі отриманого графіка швидкостей та керуючись принципом їх вирівнювання встановлюють заходи з покращення умов руху з виділенням ділянок для ремонту чи реконструкції автомобільної дороги.

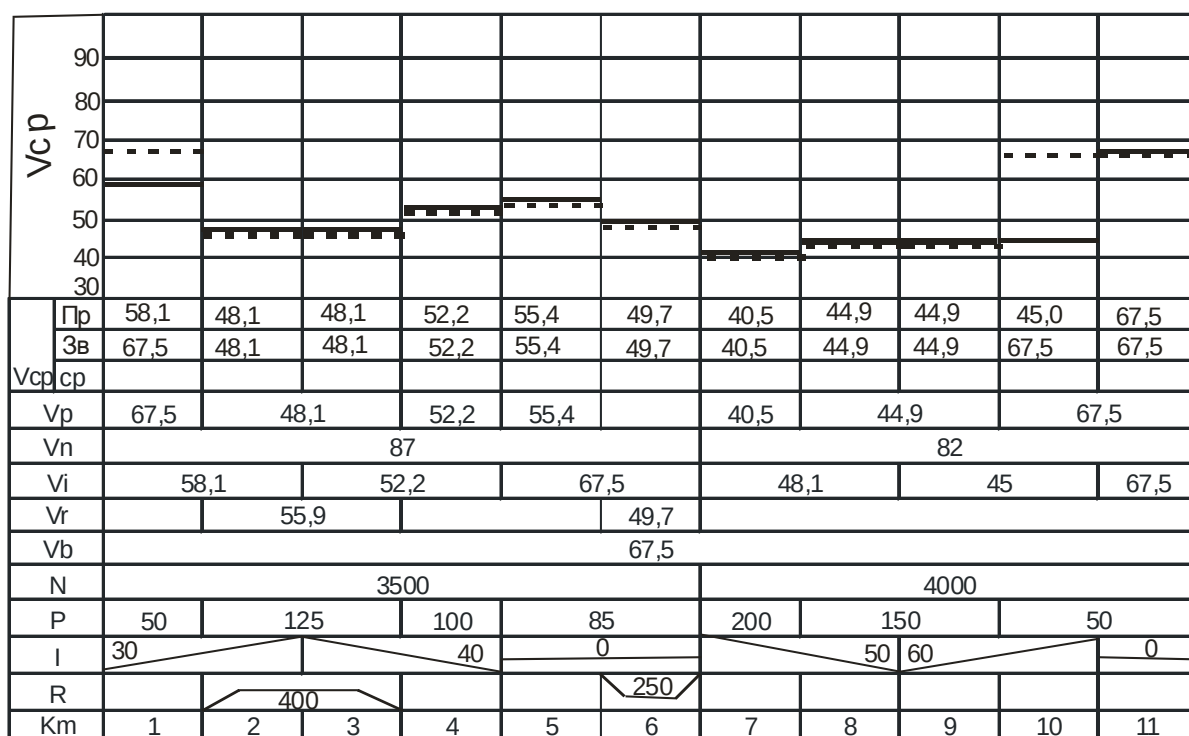


Рисунок 4 – Графік середніх швидкостей руху.

Отже, за допомогою аналізу графіка коефіцієнтів швидкості призначають заходи, за рахунок яких можна здійснити вирівнювання графіка середньої швидкості руху. До таких заходів відноситься: збільшення радіусів горизонтальних кривих у відповідності з діючими нормативами; зменшення поздовжніх похилів; влаштування допоміжної смуги руху; виконання капітального полегшеного або удосконаленого ремонту.

Коефіцієнт завантаження z – це відношення інтенсивності руху до практичної пропускної здатності:

$$z = \frac{N}{P} \quad (12)$$

де N – годинна інтенсивність руху, авт/год;

P – практична пропускна здатність, авт/год.

При аналізі граничних значень коефіцієнта завантаження видно, що визначені режими руху транспортних засобів за коефіцієнтом завантаження і за інтенсивністю руху не співпадають. Із цього можна зробити висновок, що дані рівні зручності за коефіцієнтом завантаження характерні тільки для такого значення швидкості, що відповідає пропускній здатності. Даний коефіцієнт може характеризувати лише ступінь завантаження інтенсивності по відношенню до пропускної здатності.

Виходячи з цього аналізу можна сказати, що цей коефіцієнт можна використовувати як:

$$z = \frac{N}{N_v}, \quad (13)$$

де N – годинна інтенсивність руху, авт/год;

N_v – максимальна інтенсивність руху при даній швидкості руху (при колонному русі автомобілів), авт/год.

Отже, коефіцієнт завантаження може використовуватись для встановлення черговості реконструкції доріг, але лише з урахуванням максимальної інтенсивності руху

Висновки

Величини перспективної інтенсивності отримані в результаті розрахунків за формулами мають широкий діапазон, а прогнозування за степеневими залежностями дають значно більші знамення, ніж в дійсності. Більш достовірним прогнозування інтенсивності руху можна виконати за допомогою полінома.

Лінійний графік коефіцієнтів аварійності не дає точної інформації щодо кількості ДТП.

Коефіцієнт безпеки руху характеризує одиничний автомобіль, тому використовувати його для характеристики транспортного потоку недоцільно.

При аналізі графіків коефіцієнтів швидкостей приймають рішення щодо проведення заходів, за рахунок яких графік швидкостей вирівнюється.

Коефіцієнт завантаження рухом проїзної частини можна використовувати лише за умови врахування максимальної інтенсивності руху при даній швидкості руху (при колонному русі автомобілів)

Література

1. Пальчик А.М., Заворицький Ю.Е., Макаренко Е.С. Відповідність дорожніх умов вимогам транспортного потоку // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2001. – Вип.62. – С. 316 – 318.
 2. Білятинський О.А., Старовойда В.П., Хом'як Я.В. Проектування автомобільних доріг: Підручник. У 2 ч. Ч. 2 – К.: Вища шк., 1988. – 223 с.
 3. Пальчик А.М. Транспортні потоки : [монографія]. – К.: НТУ, 2010. – 171с.: іл. – Бібліогр.:С.170-171.
 4. Організація дорожнього руху: навч. посіб. / А.М. Пальчик. – К.: НТУ, 2011. – 228 с.:іл. – Бібліогр.: С. 226-227.
 5. Автомобильные дороги. Проектирование и строительство / Под ред. профессоров В.Ф. Бабкова, В.К. Некрасова, И.Г. Щигилянова. – М.: Транспорт, 1983. – 239 с.
 6. Дорожные условия и безопасность движения. В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1970. – 256 с.
- Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. ВСН 25-86/Министерство автомобильных дорог РСФСР. – М.: Транспорт, 1988. – 183 с.

Ляшенко Д.О., канд. геогр. наук

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ ОСНОВИ КАРТ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІЖНАРОДНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Анотація. У статті проаналізовано особливості проектування карт транспортної інфраструктури України на міжнародному рівні. Розглянуто основні види картографічних проекцій для карт транспортної інфраструктури. Визначені можливості застосування проекцій у комп'ютерному картографуванні.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортна інфраструктура, карти, картографічні проекції, геоінформаційне моделювання.

Аннотация. В статье проанализированы особенности проектирования карт транспортной инфраструктуры Украины на международном уровне. Рассмотрены основные виды картографических проекций для карт транспортной инфраструктуры. Определены возможности применения проекций в компьютерном картографировании.

Ключевые слова: автомобильная дорога, транспортная инфраструктура, карты, картографические проекции, геоинформационное моделирование.

Annotation. The article analyzes the characteristics of transport infrastructure of Ukraine at the international level maps design. The main types of map projections for maps of transport infrastructure are proposed. The possibilities of the projections in computer mapping are described.

Key words: highway, transport infrastructure, maps, map projections, GIS modeling.

Здобуття Україною незалежності, глобалізація світової політичної та економічної сфер та стрімкий розвиток суспільства наприкінці XX ст. та на початку XXI ст. зумовили активізацію діяльності України на міжнародній арені у сферах політики, економіки, культури. Щорічно зростають обсяги експорту й імпорту товарів, розвивається транспортна інфраструктура.

Проектування доріг на локальному, регіональному та міжнародному рівнях потребують виявлення особливостей математичної основи карт транспортної інфраструктури.

Відомо що математична основа карти складається з масштабу, проекції та її компонування. Масштаб карти, проекція та компонування визначається розмірами та конфігурацією території картографування, призначенням і тематикою карт. Для великомасштабних топографічних карт доцільно застосовувати проекцію, яка прийнята в Україні для розрахунків плоских прямокутних координат у геодезії – рівнокутну циліндричну Гаусса-Крюгера. Але при проектуванні значних за протяжністю об'єктів транспортної інфраструктури (автошляхів, продуктопроводів, авіаліній) спотворення в проекції Гаусса-Крюгера швидко зростатимуть з віддаленням від осьового меридіана зони, що негативно позначиться на точності карт.

Важливим питанням є обґрунтування переліку картографічних проекцій, зручних для відображення лінійних об'єктів транспортної інфраструктури значної протяжності (понад 6° за довготою) та мереж з таких об'єктів.

Історія розвитку теорії картографічних проекцій в СРСР пов'язана з розробкою геодезичної основи для картографування території країни Ф.М. Красовським; математичної основи капітального географічного атласу «Большой советский атлас мира» (БСАМ). Цей досвід був широко використаний для подальших теоретичних розробок, серед яких відомі роботи М.А. Урмаєва [1], який запропонував загальні диференціальні рівняння картографічних проекцій і методи досліджень проекцій із заданим розподілом спотворень. Проекції, розроблені групою математичної картографії ЦНДІГАіК¹ під керівництвом професора М.Д. Соловйова характеризуються унікальними якостями. Питаннями оцінки проекцій для шкільних карт займався А.В. Гедимін [2]. Активізувалися дослідження картографічних проекцій в сучасний період запровадження комп'ютерних технологій картографування, зокрема В.П. Подшиваловим [3, 4] розроблена загальна теорія певного класу конформних проекцій, що отримали назву характеристичних та В.Д. Барановським [5, 6] запропоновані проекції для відображення території України.

Вибір картографічних проекцій для певних завдань залежить від трьох груп факторів.

¹ ЦНДІГАіК – Центральний науково-дослідний інститут геодезії, аерофотознімання і картографії (м. Москва).

1) Фактори, що характеризують об'єкт картографування (географічне положення зображуваної території, її розміри, конфігурація).

2) Фактори, що характеризують створювану карту, напрями її використання (призначення та спеціалізація, масштаб і зміст карти, завдання, які будуть вирішуватися за нею (картометричні, навігаційні тощо), вимоги до їх точності, способи використання карти (настільна, настінна, електронна), умови роботи з картами та передавання на них відношення різних об'єктів картографування (географічного положення одних територій щодо інших), вимоги щодо відображення комунікацій і зв'язку між територіями.

3) Фактори, які характеризують отримувану картографічну проекцію (характер спотворень, умови забезпечення мінімуму спотворень і допустимі граничні спотворення довжин, кутів і площ, характер їх розподілу, кривина зображення геодезичних ліній, локсодромій, умови зображення інших ліній на карті, кривина зображення ліній картографічної сітки, вимоги щодо її ортогональності, умови симетричності картографічної сітки тощо).

Якщо розглянути лінії міжнародних потоків товарів, послуг та інформації й транспортну інфраструктуру України та сусідніх країн як об'єкт картографування, слід виділити такі чинники, які зумовлюють вибір певних картографічних проекцій. Лінії транспортної інфраструктури (міжнародні транспортні коридори, автошляхи, залізниці, нафто- і газопроводи, лінії електропередач, морські шляхи) характеризуються значною протяжністю та довільними напрямками. Крім цього, маршрути шляхів можуть мати складну конфігурацію, оминаючи різні перешкоди та слідуючи вздовж територіальних структур господарства. Якщо слід відобразити двосторонні міжнародні зв'язки та інфраструктуру, що поєднує дві країни, конфігурація такого об'єкта картографування наблизатиметься до ортодромії, яка з'єднує центри (столиці) двох країн або регіонів.

Досвід картографування свідчить, що для відображення таких об'єктів кращими є нормальні, поперечні та косі циліндричні проекції, в залежності від напрямку осі транспортного коридору. Відомо, що такі проекції застосовуються для аеронавігаційних карт. При цьому лінія нульових спотворень пролягатиме по нормальному перерізу земного еліпсоїда (сфери) в якому лежать точки початку і кінця маршруту. Всі види спотворень зростатимуть при віддаленні від цієї лінії.

Інша ситуація виникає при необхідності картографічного відображення цілої мережі маршрутів. Форма об'єкта картографування при цьому нагадує зірку, часто з несиметричними променями. При цьому найкращим варіантом відображення будуть нормальні, поперечні та косі азимутальні проекції. При дотичній картинній площині точка нульових спотворень розміщуватиметься по середині аркуша карти. При січних проекціях лінією нульових спотворень буде задане мале коло земного еліпсоїда (альмукантарат), яке віддалене від центральної точки на задану величину.

Слід зазначити ефективність застосування електронних глобусних середовищ для геоінформаційного моделювання міжнародних зв'язків у комп'ютерному середовищі. Відображення ліній міжнародних зв'язків великої протяжності в азимутальній проекції, параметри якої (точка нульових спотворень, масштаб картографічного зображення, поворот карти відносно напрямку північ-південь тощо) змінюються за допомогою клавіш управління.

Для створення ряду карт автором застосовано косі азимутальні проекції: а) з центром у точці, що відповідає центру ваги рекреаційно-туристичних потоків для карти туристичних потоків до Антарктики; б) з центральною точкою у м. Києві для карти міжнародних авіаліній. (рис. 1).

Відзначимо ефективність відображення транспортної інфраструктури міжнародних зв'язків на дрібномасштабних картах, побудованих у косій модифікованій азимутальній рівновеликій проекції У. Бріесемейстера (W. Briesemeister, 1953 р.), використаній у Атласі світу видавництва Коллінз Бартоломью (Collins Bartholomew) для карти міжнародного авіаційного сполучення.

В залежності від напрямку використання карт слід обрати відповідні групи проекцій за характером спотворень (рівнокутні, рівновеликі або довільні). З метою відображення значної частини земної поверхні з відносно малими спотвореннями використовують довільні проекції з розривами. Відомий американський океанограф південноафриканського походження А. Спілхаус (A. Spilhaus) багато уваги приділив розробці специфічних проекцій, на яких берегова лінія морів буде відображена без розривів. Натомість він запропонував модифікувати проекцію Хаммера (Hammer) розривами по материках, показавши світовий океан суцільно без розривів. Така проекція є зручною для відображення маршрутів міжнародного морського торговельного сполучення.

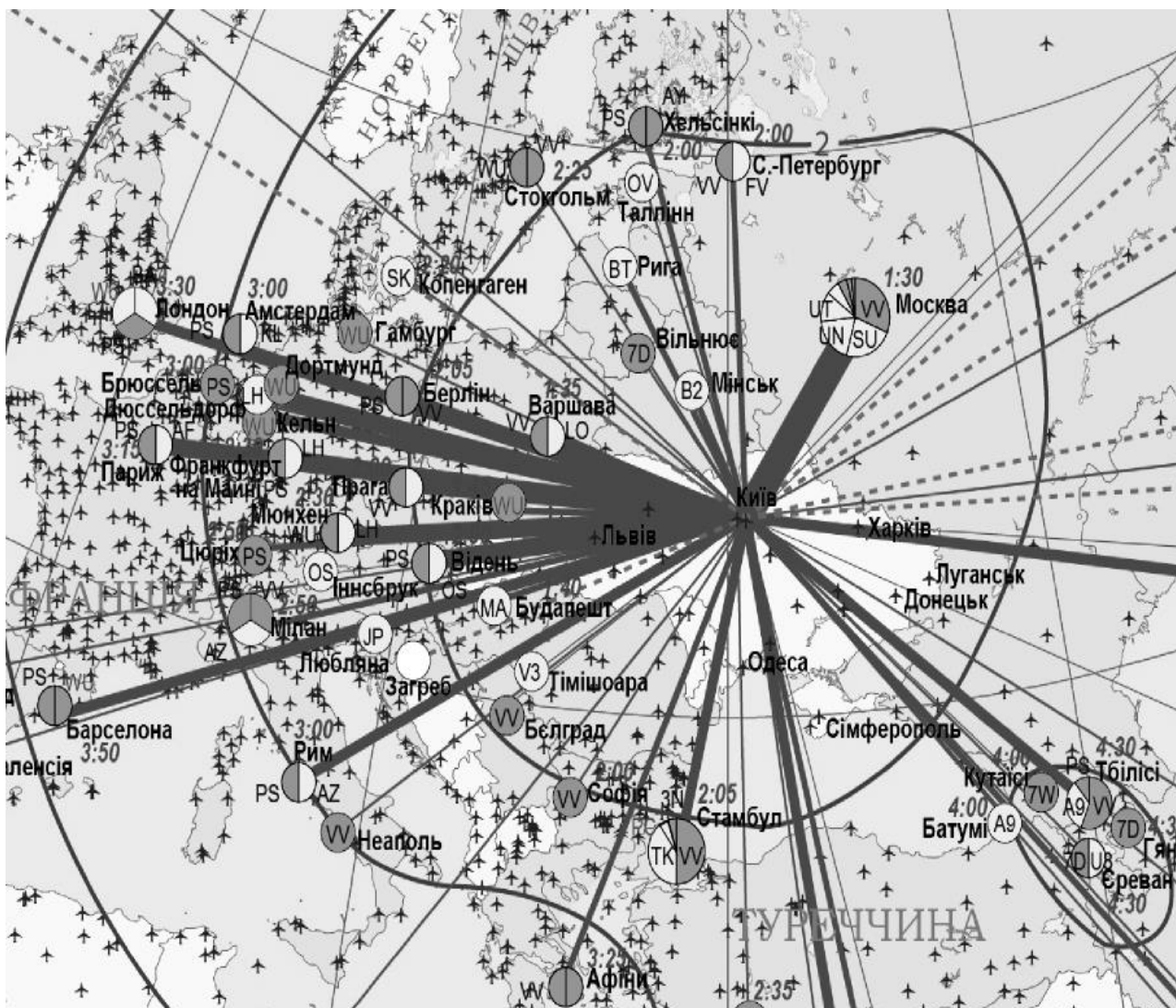


Рисунок 1 – Міжнародні авіалінії (фрагмент карти, подано зі зменшенням)

Отже слід зазначити, що математична основа карт транспортної інфраструктури міжнародних зв'язків середніх і дрібних масштабів залежить від конфігурації ліній та мереж транспортної інфраструктури та від призначення карт, максимально допустимих спотворень різних видів. Автором запропоновано використовувати для карт транспортної інфраструктури міжнародних зв'язків косі циліндричні та косі азимутальні проекції, зокрема косу модифіковану азимутальну рівновелику проекцію У.Бріесемейстера та косу рівнопрямую проекцію з центральною точкою в м. Київ.

Література

1. Гедымин А.В. Картографические проекции советских школьных карт. Характеристика, распознавание и наглядные методы объяснения свойств/ Книга для учителя. – М. : Просвещение, 1984. – 111 с.
2. Урмаев Н.А. Методы изыскания новых картографических проекций – М.: Военно-топограф. управлен. Ген. штаба Вооружен. Сил, 1947. – 94 с.
3. Подшивалов, В. П. Координатная основа для линейных объектов / В. П. Подшивалов // Строительство и эксплуатация автомобильных дорог и мостов: сборник научных трудов / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Департамент "Белавтодор", Белорусский дорожный научно-исследовательский институт "БелдорНИИ". – Минск, 2005. – Вып. 18. – С. 56–62.
4. Подшивалов, В. П. Основы формирования координатной среды автоматизированных технологий [в геодезии] / В. П. Подшивалов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки : ежемесячный научно-теоретический журнал 2004. – № 1- С. 86-89/
5. Барановський В.Д. Пошуки оптимальних картографічних проєкцій для великомасштабного картографування території України / В.Д. Барановський // Вісн. геодез. та картогр. – 2004. – № 3. – С. 43–47.
6. Барановський В.Д. Варіаційні методи оптимізації картографічних проєкцій для України та її окремих регіонів / В.Д. Барановський, М.М. Тарапатов // Вісн. геодез. та картогр. – 2006. – № 3. – С. 13–18.

Мусиенко И.В., канд. техн. наук

ТРАССИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ МЕТОДОМ ГИБКОГО БРАСЛЕТА: ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Аннотация. В статье раскрывается необходимость укрупнения блоков автоматического проектирования автомобильных дорог. Одним из путей решения проблемы укрупнения предлагается трассирование методом гибкого браслета. Показываются экономические преимущества использования метода гибкого браслета.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование автомобильных дорог, компьютеро-системный подход, метод гибкого браслета, трассирование дорог.

Анотація. У статті розкривається необхідність укрупнення блоків автоматичного проектування автомобільних доріг. Одним із шляхів вирішення проблеми укрупнення пропонується трасування методом гнучкого браслету. Показуються економічні переваги використання методу гнучкого браслета.

Ключові слова: автоматизоване проектування автомобільних доріг, комп'ютеро-системний підхід, метод гнучкого браслета, трасування доріг.

Annotation. The necessity of units extension of highways automatic design has been revealed. The roads tracing of flexible bracelet method has been offered to solve this problem. The economic benefits of using of flexible bracelet method have been showed.

Keywords: the computer-aided designing of highways (CADH), the computer system approach (CSA), the method of flexible bracelet (MFB), tracing of highways.

Строительство новой автомобильной дороги или реконструкция существующей требует огромных материальных затрат. Максимальной экономии этих затрат можно добиться только на этапе проектирования. На данном этапе возникает ряд проблем экономического трассирования, главной

из которых является согласование критериев. Среди основных критериев можно выделить:

- минимум капитальных затрат;
- минимум текущих затрат;
- минимум ДТП;
- минимум ущерба, наносимого окружающей среде.

Сложность согласования этих критериев усугубляется многовариантностью возможного положения трассы. При использовании современных систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог (САПР АД), в которых используются методы трассирования кубическими сплайнами, различные виды переходных кривых и т.д., физическую модель трассы можно уподобить резиновой нити, растянутой между исходным и конечным пунктом проектирования. Резиновая нить имеет много степеней свободы, большую гибкость для проложения трассы. Но данная гибкость увеличивает и количество альтернативных вариантов трасс практически до бесконечности. Сформировать основные варианты трассы позволяет опыт проектировщика. Однако, опыт проектировщика очень субъективен. Доказательством этого служит двухэтапный эксперимент Ю.С. Кариха [1]. Опытным проектировщикам (в количестве 14 человек) была поставлена задача запроектировать красную линию продольного профиля на участке длиной 5 км при одних и тех же исходных данных. Представленные решения имели расхождения в объёмах работ до 40%, в площадях отводимых земель – более 17%, в общей длине малых искусственных сооружений до 25% и в рабочих отметках на одних и тех же пикетах до 9 м.

Более показателен был второй этап эксперимента: через год тем же лицам было предложено запроектировать проектную линию при тех же исходных данных и по тому же чёрному профилю земли, но вычерченному от конца к началу. Теперь уже расхождения были у одних и тех же проектировщиков. Например, красная линия продольного профиля проектировщика N, запроектированная в текущем году, существенно не совпадала с красной линией продольного профиля проектировщика N, запроектированная год назад. Были обнаружены расхождения в объёмах работ до 16%, в площадях отводимых земель 7% и в рабочих отметках на одних и тех же пикетах – до 3.4 м.

Учитывая вышесказанное, был предложен метод трассирования, ограничивающий гибкость трассы, но который бы позволил перебрать все возможные положения прохождения трассы – метод гибкого браслета (МГБ) [2].

Суть этого метода заключается в следующем: есть некоторый начальный неделимый элемент, который может иметь разную геометрическую форму, как в плоскости, так и в пространстве (рисунок 1).

Каждый такой элемент соединяется с другим элементом посредством связи. Связь может быть как жёсткая, так и гибкая. Трасса автомобильной дороги – это кривая, аппроксимирующая геометрические центры элементов.

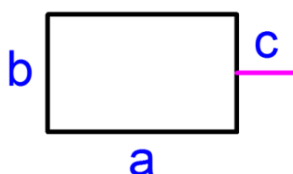


Рисунок 1 – Пример структурного элемента трассы a – длина элемента; b – ширина элемента; c – длина связи

Форма звеньев может быть самая разнообразная (квадрат, прямоугольник, ромб, круг, шестиугольник и т.д.) (рисунок 2).

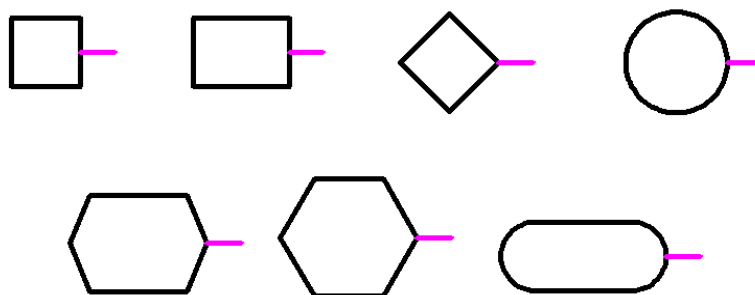


Рисунок 2 – Варианты звеньев в плоскости

В пространстве звенья также могут иметь разнообразную пространственную форму (рисунок 3).

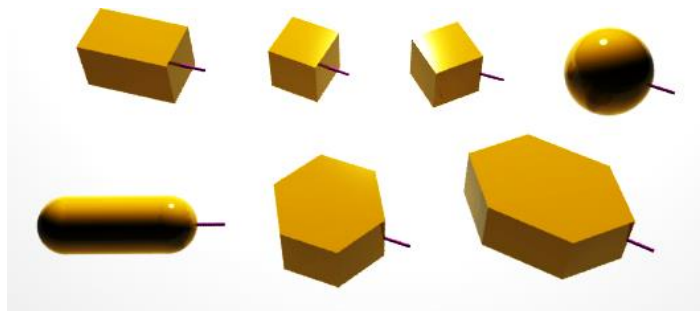


Рисунок 3 – Варианты объёмных звеньев

Предельное положение трассы определяется геометрией звена (рисунок 4).

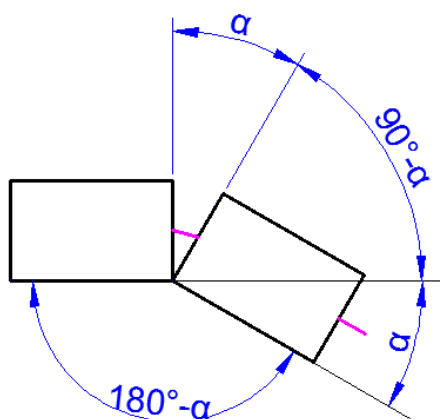


Рисунок 4 – Предельное положение звеньев при повороте трассы

Угол направления обхода препятствия может быть разным (рисунок 5).

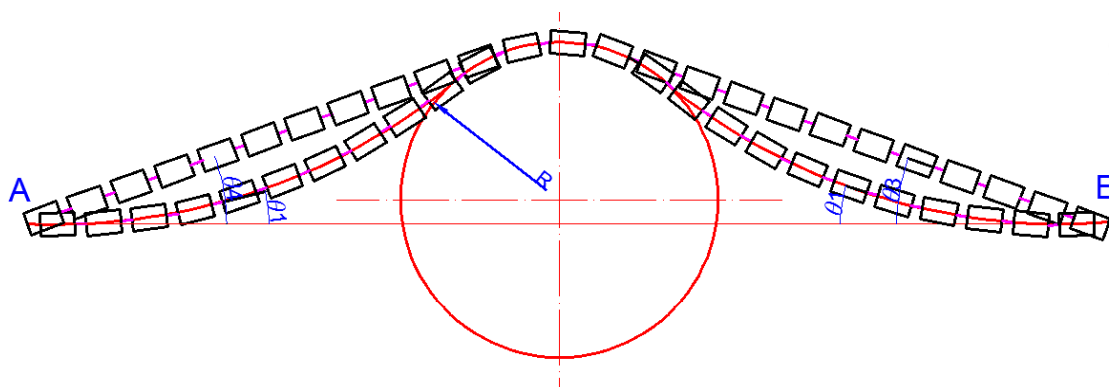


Рисунок 5 – Обход ситуационного препятствия под разным начальным углом

Кроме начального угла вариативность обхода ситуационного препятствия составляют: радиус и координаты центра круга (рисунок 6), координаты точки *A* и *B*.

Общий алгоритм нахождения оптимального варианта трассы будет иметь следующие этапы:

- выбор геометрической системы МГБ (форма звена, тип связи и др.);
- установление начальных размеров геометрической системы МГБ;
- формирование исходной критериальной базы;

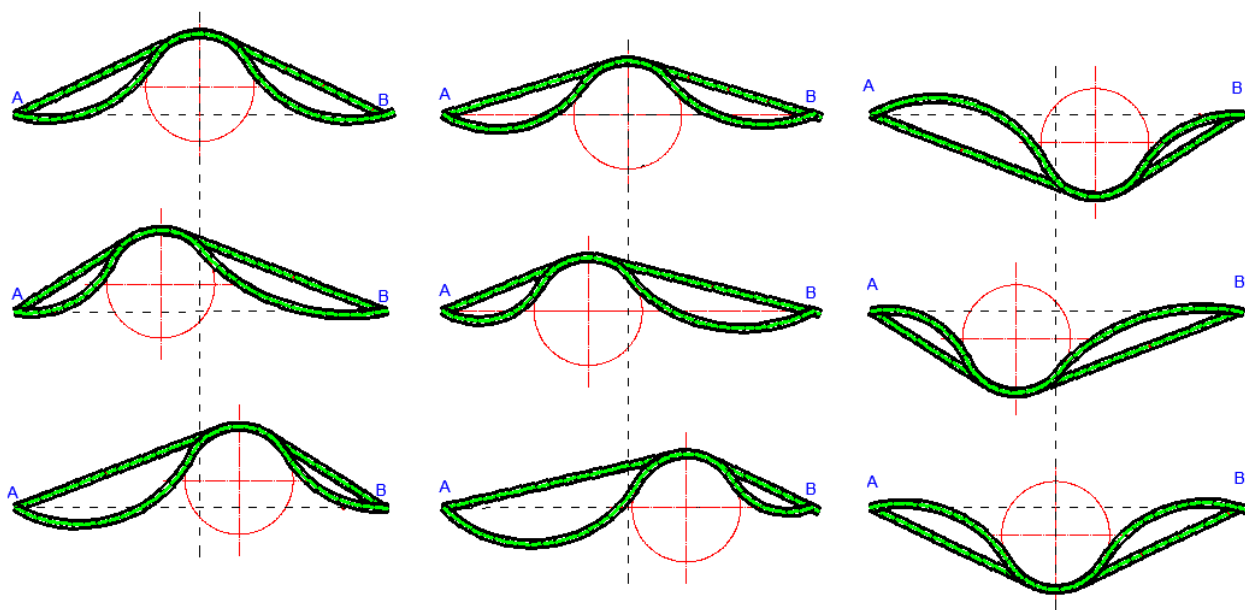


Рисунок 6 – Различные вариации обхода ситуационного препятствия с использованием окружности

- выбор метода варьирования положения оси трассы;
- укрупнённая оценка машинно-временных затрат для производства расчётов;
- при отсутствии предлагаемого машинно-временного ресурса пересмотр первых трёх пунктов;
- расчёт пространственного положения автомобильной дороги (одновременно в плане и в продольном профиле)
- анализ результатов расчётов;
- при результатах, неудовлетворяющих условиям задания, возврат к первому этапу.

Данный компьютеро-системный подход [3] можно назвать ещё «концепцией единого варианта». Проектировщик ищет один адекватный вариант пространственного положения автомобильной дороги, работает при формировании исходных данных для расчёта и анализирует полученные результаты, как это было при автоматическом проектировании. Укрупнение блоков автоматического проектирования является общим трендом САПР АД [4]

Литература

1. Федотов Г.А. Автоматизированное проектирование автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1986. – 317 с.
2. Мусиенко И.В., Булуали Алале. Общие положения трассирования дорог методом гибкого браслета / Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: материалы Международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых учёных. Харьков: ХНАДУ, 2012. – С. 177 – 181.
3. Мусієнко І.В., Луценко О.М. Комп'ютеросистемний підхід до проектування автомобільної дороги / Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Материалы международной научно-технической конференции молодых учёных и аспирантов. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – 366 с.
4. Мусиенко И.В. Аналитическое прогнозирование развития систем автоматизированного проектирования автомобильных дорог. Проблемы розвитку міського середовища: Наук.-техн. збірник. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 7. – С. 167–169.

Процюк В.О.

ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ НА ДІЛЯНКАХ З НАДМІРНИМ ЗВОЛОЖЕННЯМ ҐРУНТІВ

Анотація. У статті проведено аналіз основних моделей прогнозування поля вологості ґрунтів земляного полотна для трьох типів місцевості за характером зволоження. За цими формулами проведено розрахунок вологості. Проведено розрахунок загального модуля пружності дорожньої одягу запроектованої автомобільної дороги. Запропоновані заходи, щодо збереження міцності дорожнього одягу.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожня конструкція, вологість ґрунту, модуль пружності, водно-тепловий режим..

Аннотация. В статье проведен анализ основных моделей прогнозирования поля влажности грунтов земляного полотна по трем типам местности по условиям увлажнения. По этим формулам проведен расчет влажности. Проведен расчет общего модуля упругости дорожной одежды запроектированной автомобильной дороги. Предложены мероприятия к сохранности прочности дорожной одежды.

Ключевые слова: автомобильная дорога, влажность почвы, модуль упругости, водно-тепловой режим.

Annotation. The article analyzes the main models forecasting field soil moisture subgrade in the three types of terrain on the nature of moisture. These formulas calculation of humidity. The calculation of the modulus pavement of design road. Proposed measures to preserve the performance of pavement.

Key words: highway, pavement, humidity of soil, modulus, water-heat treatment.

На міцність та працездатність дорожнього одягу впливає, як зростання інтенсивності руху і навантаження на вісь автомобіля, так і погодно-кліматичні

та гідрологічні фактори. Вони формують водно-тепловий режим земляного полотна, якій визначається закономірностями сезонної зміни вологості та температури ґрунтів земляного полотна та шарів основи. Небезпечний вплив погодно-кліматичних факторів проявляється у зниженні міцності ґрунтів земляного полотна, їх розуцільненні, а також у вигляді деформацій та руйнувань: пучення дорожнього одягу, просадки, сітка тріщин, проломи, що в кінцевому підсумку призводить до зниження несучої здатності дорожнього одягу, погіршення рівності покриття, зменшення коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з проїзною частиною. Зниження несучої здатності дорожнього одягу призводить до необхідності вживання заходів із обмеження руху на даних ділянках.

Водно-тепловий режим суттєво залежить від інтенсивності джерел зволоження. Вода потрапляє у шари основи та земляне полотно у вигляді атмосферних опадів через тріщини у покритті, з боку неукріплених узбіч та укоси; при горизонтальній міграції до осі дороги під час тривалого застою води в бокових каналах; при дії капілярного зволоження на ділянках з близьким заляганням ґрунтових вод.

В залежності від типу і інтенсивності зволоження ділянки, на яких проходить автомобільна дорога, поділяються на три типи за характером зволоження: сухі ділянки (I тип), вологі ділянки (II тип) і мокрі ділянки (III тип).

Водно-тепловий режим закономірно змінюється протягом року. Аналіз цих закономірностей має велике значення при оцінці впливу водно-теплогового режиму на термін служби дороги. Роботу дорожнього одягу і земляного полотна протягом року можна характеризувати чотирма періодами, які майже співпадають із періодами року. Найбільш небезпечним для роботи дорожнього одягу являється період весняного відтавання ґрунту, коли можуть виникати просадки та інші руйнування дорожнього одягу через перезволоження ґрунту, а також холодний період волого накопичення, коли можуть виникати пучення дорожнього одягу. Саме весняний період приймають за розрахунковий період для дорожнього одягу і земляного полотна. В процесі відтавання ґрунту знижується загальний модуль пружності дорожнього одягу до мінімального значення, адже залежить від модуля ґрунту, який являється функцією вологості, щільності і структури ґрунту [1]:

$$E_{\bar{a}\bar{\theta}} = f(W, K_{\phi}, m_c) \quad (1)$$

В ХАДІ ця функція була досліджена при різній вологості та ступені ущільнення і в подальшому апроксимована поліномами:

$$E_{\phi, c, tg \varphi_0} = AW^3 + BW^2 + CW + D \quad (2)$$

За допомогою обчислювальної техніки були обраховані коефіцієнти А, В, С, D.

Таким чином для визначення впливу вологості на міцність дорожнього одягу в розрахунковий період і прогнозування зміни міцності необхідно знати значення вологості в цей період для розв'язання залежності (2).

Прогнозуванням поля вологості ґрунтів земляного полотна займалися такі вчені: В.М. Сіденко, І.А. Золотарь, М.А. Пузаков, О.Я. Тулаєв, М.Б. Корсунський, Л.О. Преферансова, П.Д. Россовський, В.І. Рувінський, В.Н. Єфіменко, Е.І Шелопаєв, А.І. Ярмолинський та інші.

Для встановлення початкових значень вологості ґрунтів використовують як експериментальні методи експрес оцінки вологості ґрунтів в польових умовах та при відборі проби ґрунтів із свердловин, так і теоретичні методи розрахунку значень вологості, а також методи статистичної обробки результатів натурних спостережень. До експрес методів можна віднести вимірювання вологості за допомогою вологоміра, вологоміра-плотноміра Ковальова, а також використання георадарних технологій. До теоретичних методів розрахунку можна віднести методи прогнозування поля вологості ґрунтів [2]. Значення вологості приймають за результатами статистичної обробки середньостатистичних річних даних метеостанцій.

В.М. Сіденком у роботі [2] були запропоновані рівняння для розрахунку зміни вологості по глибині z в будь-який розрахунковий період для трьох типів місцевості за умовами зволоження. Так для першого типу місцевості, де ґрунтові води залягають глибоко рівняння має такий вигляд:

$$W(z, T) = W_f - mz \sqrt{\frac{T}{\pi a_1}} \exp\left(-\frac{z^2}{4a_1 T}\right) + m \cdot \left(T + \frac{z^2}{2a_1}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{a_1 T}}\right), \quad (3)$$

Аналіз даної формули показує, що в період морозного вологонакопичення вологість в активній зоні зменшується зверху вниз. При відносній вологості $W_{II} \leq 0,50 - 0,60$ накопичення вологи супроводжується в результаті термодифузії парів, при $W_{II} \geq 0,65 - 0,70$ – головним чином в результаті концентраційної міграції рідкої фази.

Для другого типу місцевості за характером зволоження:

$$W(z, T) = W_{IA} - [W_{IA} - (W_I + m_1 T)] \frac{z}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{n} \exp \left(- \frac{\pi^2 n^2 a_1 T_1}{l^2} \right) \left[W_I - W_{IA} - \frac{(-1)^n m l^2}{\pi^2 n^2 a_1} \right] + \frac{(-1)^n m l^2}{\pi^2 n^3 a_1} \right\} \sin \frac{n \pi z}{l}, \quad (4)$$

Для третього типу місцевості:

$$W(z, T) = W_1 + m T_{\hat{A}} + \frac{1}{h_{\hat{A}, \hat{A}}} (W_{IA} - W_1 - m T_{\hat{A}}) \cdot z - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 m h_{\hat{A}, \hat{A}}^2}{\pi^3 a_1 n^3} \left[1 - \exp \left(- \frac{\pi^2 n^2 a_1 T_{\hat{A}}}{h_{\hat{A}, \hat{A}}^2} \right) \right] \cdot \sin \frac{n \pi z}{h_{\hat{A}, \hat{A}}} \quad (5)$$

Аналіз рівняння для третього типу місцевості показує, що накопичення вологи збільшується при зменшенні глибини залягання ґрунтових вод, і при збільшенні T_B і вологопровідності ґрунту a_1 .

Дані формули дозволяють розрахувати вологість ґрунту земляного полотна до кінця періоду вологонакопичення для різних умов зволоження доріг.

Для оцінки впливу вологості на деформаційні характеристики дорожнього одягу були проведенні розрахунки за пружним прогином дорожнього одягу від прикладеного розрахункового навантаження.

За розрахункову прийнята конструкція дорожнього одягу автомобільної дороги М-07 Київ– Ковель–Ягодин на ділянці км 464+400 – км 468+000. Існуюча дорожня конструкція була запроектована в 2010 році і будується в даний момент. Запроектований дорожній одяг представлений на рис. 1.

Відповідно до проекту автомобільної дороги, конструкція дорожнього одягу на всій ділянці представлена одним типом, разом з тим, тип місцевості за зволоженням різний. В такому випадку масо-обмінні процеси в конструкції дорожнього одягу будуть відбуватися за різними закономірностями. Як було сказано вище, що гідрологічні фактори суттєво впливають на міцність

дорожнього одягу, тому на різних ділянках по-різному буде відбуватися втрата несучої здатності автомобільної дороги.

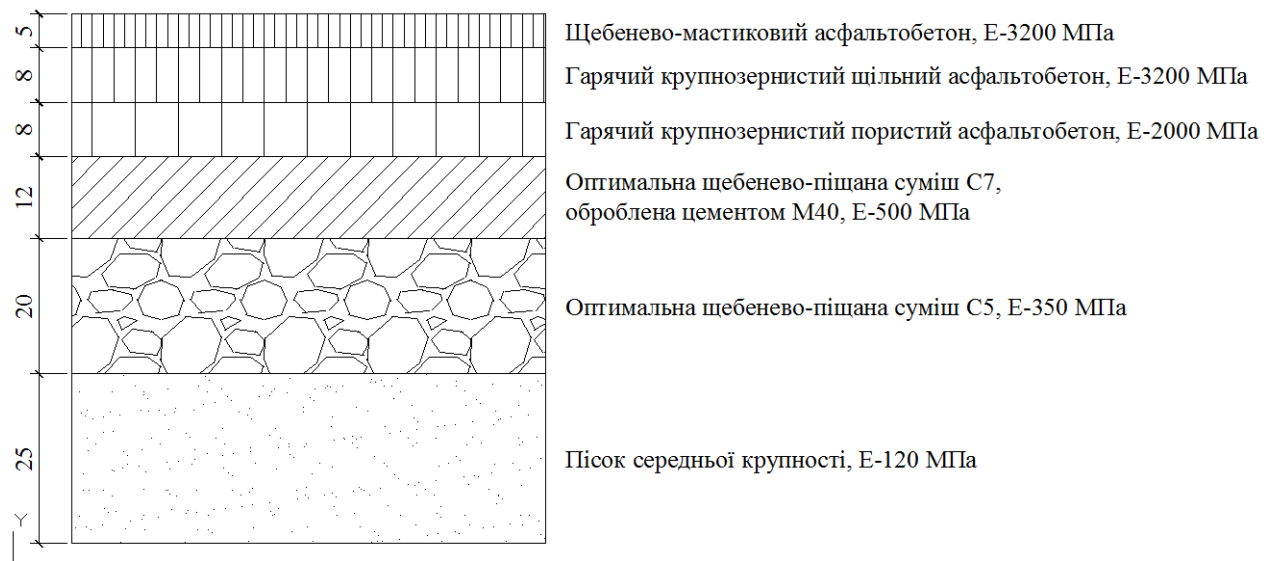


Рисунок 1 – Конструкція дорожнього одягу

Ділянка автомобільної дороги, що досліджується, проходить територією Волинської області в У-І дорожньо-кліматичній зоні. Згідно проектних даних ґрунтові води залягають на глибині від 1,0 м до 3,7 м, а в районі річки Виживка на глибині від 0,2 м до 0,6 м від денної поверхні. Після сніготанення можливе підвищення ґрунтових вод на 0,5 – 1,5 м. Згідно з [3] ділянка автомобільної дороги розташована в трьох типах місцевості за зволоженням. На ПК 4728+50 – ПК 4732+50 (район річки Виживка з близьким заляганням ґрунтових вод) відноситься до третього типу за характером зволоження земляного полотна.

Для прогнозування змінення модуля пружності дорожнього одягу в річному циклі була вибрана ділянка автомобільної дороги на ПК 4728+50 – ПК 4732+50, де ґрунтові води залягають на глибині 0,2 – 0,6 м від денної поверхні. Ділянка дороги відноситься до третього типу за характером зволоження.

Як відомо, найбільш небезпечним періодом експлуатації автомобільної дороги являється період весняного сніготанення, коли вологість земляного полотна і шарів основи дорожнього одягу досягає своїх максимальних значень. Згідно досліджень [4], період вологонакопичення для Волинської області складає 45 – 55 днів.

Формули (3-5) дозволяють розрахувати вологість по глибині в будь-який період вологонакопичення.

Оскільки ділянка, що досліджується, відноситься до третього типу за характером зволоження, то для розрахунку використовуємо залежність (3). Зміни деформаційних та міцнісних характеристик дорожнього одягу розраховувались для періодів: 10 днів, 20, 30, 40, 50 днів (відповідно 240, 480, 720, 960, 1200 годин) від початку водологонакопичення.

Вихідними даними розрахунку є: ґрунт земляного полотна – пісок пилюватий; W_1 – вологість ґрунту на початок періоду вологонакопичення ($W_1 = 0,20$ д.о., $W_T = 0,28$ д.о.); m – коефіцієнт, що характеризує зміну вологості ґрунту полотна під дорожнім одягом ($m = 2 \cdot 10^{-5}$ 1/год); T_B – період вологонакопичення, год; $h_{Г.В.}$ – відстань від розрахункового горизонту ґрунтових вод до низу дорожнього одягу, м; $W_{П.В.}$ – повна вологоємність; z – глибина на якій проводиться розрахунок вологості, м; a – коефіцієнт вологопровідності ($a = 7,5 \cdot 10^{-4}$ м²/год).

Повна вологоємність ґрунту $W_{П.В.}$ розраховується за співвідношенням:

$$W_{I.A.} = \frac{\Delta - \delta}{\Delta \cdot \delta}, \quad (4)$$

де Δ – питома вага ґрунту, г/см³;

δ – об'ємна вага скелету ґрунту, г/см³.

Відомо, що коефіцієнт пористості рівний:

$$\varepsilon = \frac{\Delta - \delta}{\delta}, \quad (5)$$

тому при відомому коефіцієнті пористості рівняння (4) перетворюється до вигляду:

$$W_{I.A.} = \frac{\varepsilon}{\Delta}. \quad (6)$$

Для супіску обчислюємо повну вологоємність за формулою (6).

$$W_{I.A.} = \frac{0,89}{2,68} = 0,33.$$

Проводимо розрахунок поля вологості підстильного ґрунту на нижній границі дорожнього одягу ($z = 0$). Виходячи з цього, рівняння (4) приймає наступний вигляд $W(z, T) = W_1 + mT_A$.

Після розрахунку поля вологості підстильного ґрунту ми встановлюємо відповідно до [5] значення модулів пружності ґрунтів для кожного періоду волого накопичення (рис. 2):

- при $T_B=0$ год, $W=W_1=0,20$ д.о. ($0,71 W_T$), $E_{zp}=78$ МПа;
- при $T_B=240$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 240=0,205$ д.о. ($0,73 W_T$), $E_{zp}=73$ МПа;
- при $T_B=480$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 480=0,210$ д.о. ($0,75 W_T$), $E_{zp}=69$ МПа;
- при $T_B=720$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 720=0,214$ д.о. ($0,76 W_T$), $E_{zp}=67$ МПа;
- при $T_B=960$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 960=0,219$ д.о. ($0,78 W_T$), $E_{zp}=65$ МПа;
- при $T_B=1200$ год, $W=0,20+2 \cdot 10^{-5} \cdot 1200=0,224$ д.о. ($0,80 W_T$), $E_{zp}=62$ МПа.

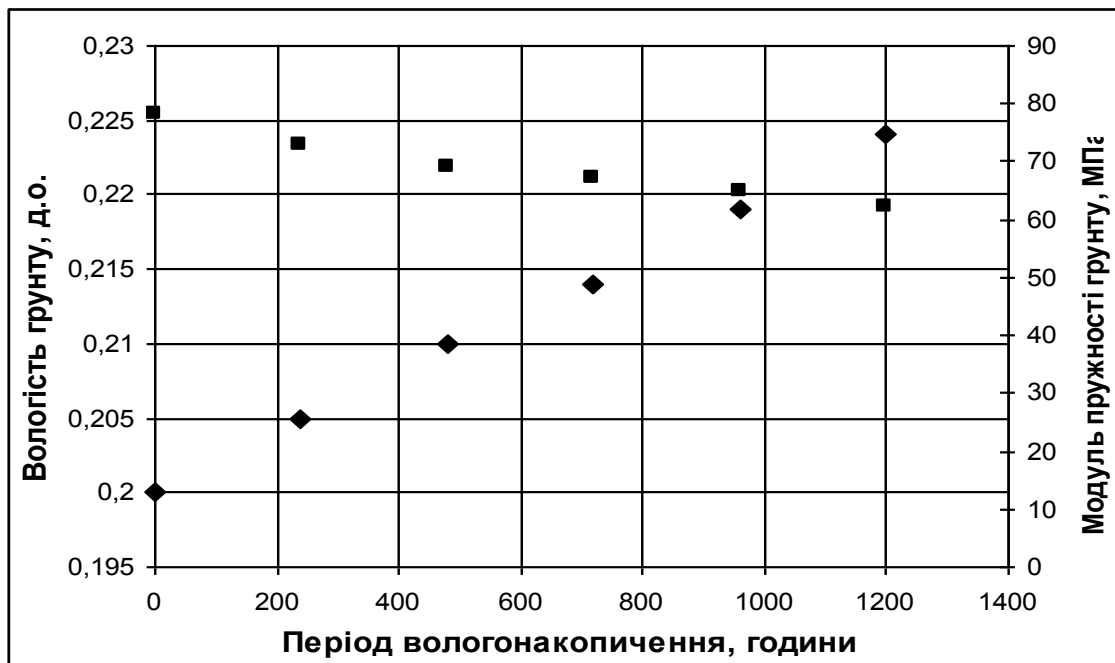


Рисунок 2 – Графік зміни фізичних і деформаційних характеристик ґрунта

Аналіз даних, що отримані при розрахунках, свідчить, що вологість ґрунту земляного полотна на межі із нижнім шаром основи за період вологонакопичення (50 днів), збільшиться з 20 % до 22,4 %, або з $0,71 W_T$ до $0,80 W_T$. Модуль ґрунту земляного полотна за цей період зменшується з 78 МПа до 62 МПа.

Подальший розрахунок дорожнього одягу при різних значеннях вологості ґрунту за критерієм пружного прогину та за критерієм опору зсуву в ґрунтах земляного полотна [5] дозволив отримати наступні значення загального модуля пружності дорожнього одягу:

- при $T_B=0$ год, $E_{заг.}=602$ МПа;
- при $T_B=240$ год, $E_{заг.}=592$ МПа;
- при $T_B=480$ год, $E_{заг.}=582$ МПа;
- при $T_B=720$ год, $E_{заг.}=573$ МПа;
- при $T_B=960$ год, $E_{заг.}=554$ МПа;
- при $T_B=1200$ год, $E_{заг.}=544$ МПа.

Загальний модуль пружності дорожнього одягу знижується з 602 МПа до 544 МПа (на 10 %). Згідно проекту реконструкції автомобільної дороги розрахунковий модуль пружності, який був прийнятий на перспективний період 11 років, складає 358 МПа. Тому коефіцієнт запасу міцності для прийнятих умов змінюється з 1,68 до 1,52.

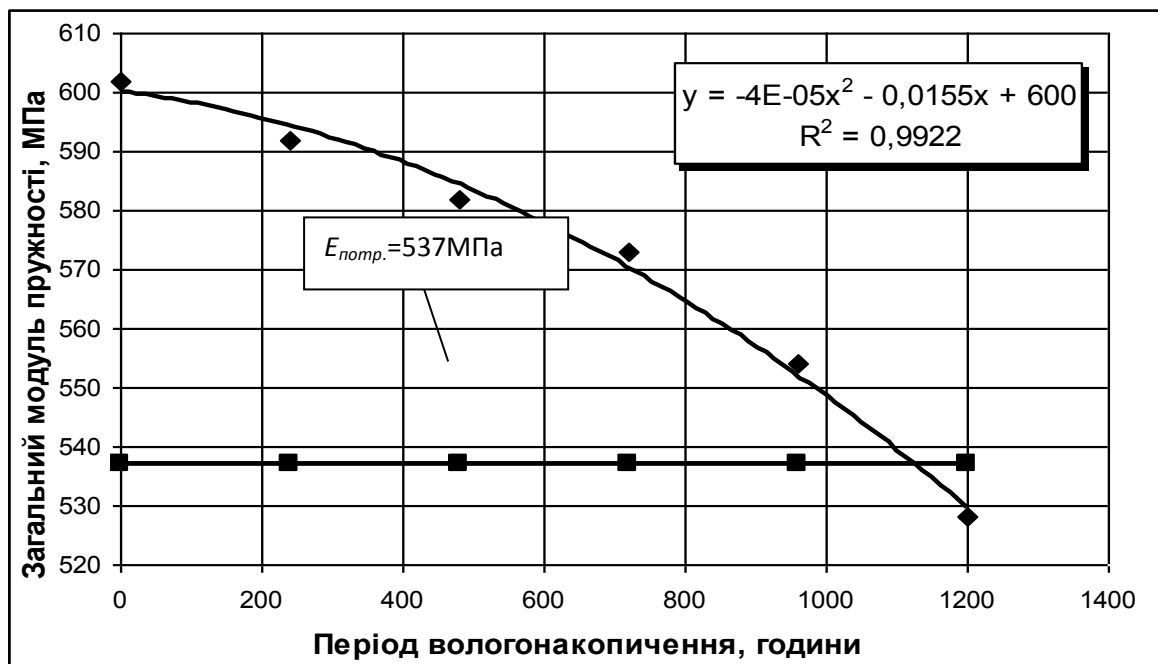


Рисунок 3 – Графік залежності модуля пружності дорожньої конструкції від вологості

Аналізуючи графік зміни модуля пружності дорожнього одягу (рис. 3), можна спрогнозувати, що дорожня конструкція на ділянці автомобільної дороги М-07 Київ–Ковель–Ягодин на ПК 4728+50 – ПК 4732+50 на 45 добу після початку періоду вологонакопичення (1076 годин) не буде задовольняти вимогам міцності за показником пружного прогину.

Тому для збереження експлуатаційних якостей даної автомобільної дороги необхідно рекомендувати заходи з обмеження руху вантажних автомобілів, в яких навантаження на вісь перевищує навантаження розрахункового автомобіля. Або передбачити оплату проїзду даною ділянкою для вантажних автомобілів, щоб компенсувати затрати на ремонт пошкодження конструкції завдане рухом автомобілів.

Реалізація методики визначення та прогнозування вологості ґрунту земляного полотна в розрахунковий період року дозволить в кінцевому результаті розробляти конструкції дорожніх одягів і земляного полотна, які б в повній мірі відповідали б умовам експлуатації.

Література

1. Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог / В.М. Сиденко, С.И. Михович – М.: Транспорт, 1976. – 288 с.
2. Сіденко В.М. Водно-тепловий режим міських доріг / В.М. Сіденко, В.О. Фомін – Харків.: Видавництво харківського університету, 1971. – 180 с.
3. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4-2007 – [Чинний від 2008-03-01]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2007. – 153 с. – (Стандарт Укравтодор).
4. Гудзинский М.Н. Основные расчетные характеристик грунтов полотна автомобильных дорог применительно к природным условиям УССР: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.11.23 / Гудзинский М.Н. – Харків, 1975. – 265 с.
5. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004 – [Чинний від 2005-01-01]. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2004. – 91 с. – (Стандарт Укравтодор)

Різніченко О.С.

ПРОЕКТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА МОСТАХ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ ЗСУВОСТІЙКІСТЮ

Анотація. У статті наведено методику прогнозування зсувостійкості асфальтобетонного покриття на залізобетонних мостах.

Ключові слова: зсувостійкість, асфальтобетонне покриття на мостах, граничні напруження.

Аннотация. В статье приведена методика прогнозирования сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия на железобетонных мостах.

Ключевые слова: сдвигоустойчивость, асфальтобетонное покрытие на мостах, предельные напряжения.

Annotation. In this article the method of forecasting shear resistance of asphalt pavement on concrete bridges.

Key words: shear resistance, asphalt pavement on bridges, threshold voltage.

Вступ

Утворення зсувних деформацій на асфальтобетонному покритті на залізобетонних мостах у вигляді колій, зсувів, напливів негативно впливають на термін служби покриття. Їх утворення призводить до поступового погіршення транспортно-експлуатаційних властивостей проїзної частини мосту, внаслідок втрати рівності покриття знижується безпека і комфортність руху, в кінцевому випадку все це призводить до передчасних витрат на ремонт і заміну асфальтобетонного покриття, а також збільшуються транспортні витрати [1]. Однією з головних причин утворення зсувних деформацій є поступове зростання інтенсивності руху і збільшення питомого навантаження на вісь автомобіля.

Методика проектування асфальтобетонного покриття на мостах за умовою зсувостійкості

Основною характеристикою зсувостійкості асфальтобетонного покриття є його опір зсувним напруженням. В залежності від навантаження, температури випробування і властивостей матеріалів буде змінюватися швидкість досягнення граничного максимального значення зсувних напружень $[\tau]$. При досягненні значення $[\tau]$ зростання переміщення δ буде супроводжуватися різким падінням зсувних напружень і як наслідок матеріал втратить властивість опору при зсуві, тобто він перестане виконувати свої технологічні функції, і відбудеться повний зсув асфальтобетонного покриття (рис.1).

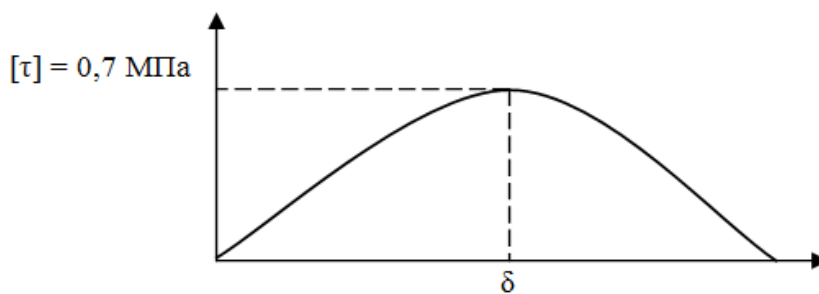


Рисунок 1 – Гранична умова зсувостійкості асфальтобетонного покриття

При наявності жорсткої основи фактичне напруження зсуву [2] можна визначити за формулою (1):

$$\tau = 0,5 \cdot p, \quad (1)$$

де p – граничний тиск на покриття від колеса розрахункового автомобіля, Па.

Для оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття на мостах їх граничний стан можна описати умовою довготривалої міцності Бейлі. Використання якої для асфальтобетонних шарів підтверджено в роботах різних вчених [3, 4]. Згідно з нею потрібно враховувати, що умовою зсуву асфальтобетонного покриття по жорсткій основі потрібно приймати такий стан їх зв'язку на контакті між ними, коли граничний опір зсуву втрачає свій ресурс в результаті поступової пошкодженості структурних зв'язків, що виражається мірою пошкодженості M :

$$M(\tau) = M_{\tau} - M_{\text{віднов.}} \leq [M] \cdot m_1 \cdot m_2, \quad (2)$$

де τ – фактичне напруження зсуву, що виникає між асфальтобетонним покриттям і залізобетонною основою, і може бути визначено за залежністю (1);

M_{τ} – міра пошкодженості від дії дотичних зусиль;

$M_{\text{віднов.}}$ – міра відновленості структурних зв'язків;

$[M]$ – граничне значення міри пошкодженості ($[M] = 1$).

m_1 – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодно-кліматичних умов;

m_2 – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в конструкції в результаті температурних впливів.

Згідно з формулою (2) міру пошкодженості M_{τ} на основі застосування критерію Бейлі можна визначити (3) як суму пошкодженостей від впливу дії довільних дотичних зусиль τ які залежать як від температури $T(t)$ так і від товщини h шару покриття, $M_{\text{віднов.}}$ – визначається експериментально.

$$M_{\tau} = \int_0^h \frac{dt}{t^{\tau}(\tau(h), T(h))}, \quad (3)$$

де $t^{\tau}(\tau(h), T(h))$ – функція тривалої довговічності від дії дотичних зусиль.

Для визначення середньоінтегральної температури асфальтобетонного шару покриття [5] можна використовувати наступну залежність:

$$T(h) = T_{\text{аб.ср}} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_p} t + \bar{A}_m(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_m} t + \bar{A}_o(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_o} t, \quad (4)$$

де $T_{\text{аб.ср}}$ – середня температура асфальтобетонного шару покриття;

$\bar{A}_p$ – середня по товщині амплітуда коливань температури асфальтобетонного шару покриття в річному циклі;

t_p – період коливань температури в річному циклі;

$\bar{A}_m$ – середня по товщині амплітуда коливань температура асфальтобетонного шару покриття в місячному циклі;

t_m – період коливань температури в місячному циклі;

$\bar{A}_d$ – середня по товщині амплітуда коливань температури асфальтобетонного шару покриття в добовому циклі;

t_d – період коливань температури в добовому циклі.

При використанні різних параметрів і характеристик, які залежать від діючих зсувних напружень, товщини шару покриття, температури можливий розрахунок деформаційної стійкості асфальтобетонного покриття на мостах при тривалому статичному і циклічних навантаженнях. Надійне прогнозування зсувостійкості асфальтобетонного покриття на мостах можна виконувати лише для тих матеріалів, що надають можливість провести коректні розрахунки для однотипних зсувів.

Для оцінки зсувостійкості асфальтобетонного покриття можна використати також степеневий вираз, що описує зв'язок між напруженням та часом до повного зсуву:

$$t_p = C_\tau(T) \tau^{-D\tau(T)} \quad (5)$$

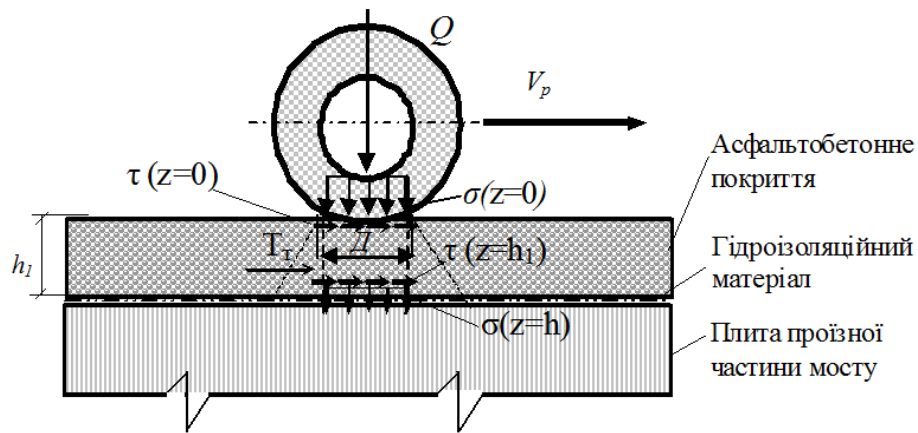
та відповідний степеневий вираз що описує зв'язок між напруженням та часом до відновлення структури асфальтобетону:

$$t_{eid} = E(T) \tau^{eid F(T)}, \quad (6)$$

Внаслідок гальмування транспортних засобів (рис.2) на границі між асфальтобетонним покриттям і жорсткою основою виникають зсувні дотичні напруження, можна припустити, що після гальмування відбувається часткове відновлення структури зв'язків на границі між асфальтобетонним покриттям і основою.

Для випадку багатоступінчастого навантаження, під час якого як зазначено вище відбувається зсув (розтяг) і часткове відновлення покриття отримаємо граничні залежності після кожного ступеню прикладання навантаження, які дозволяють визначити максимальне граничне значення $[\tau]$ (рис.1), після якого відбудеться повний зсув покриття, тобто асфальтобетонне покриття перестане виконувати свої транспортно-експлуатаційні функції.

Виконаємо опис процесу зсуву і відновлення який відбувається на границі між асфальтобетонним покриттям і залізобетонною основою мосту, більш детально цей процес розглянуто в роботі [6, 7].



Q – навантаження на покриття від колеса розрахункового автомобіля, Па; $\tau(z = h_1)$ – зсувні дотичні напруження між асфальтобетонними шарами покриття з товщиною h_1 і залізобетонною основою мосту; V_p – напрямок руху колеса автомобіля зі швидкістю V , км/год; D – діаметр відбитку колеса, що сприймає навантаження Q

Рисунок 2 – Розрахункова схема роботи асфальтобетонних шарів покриття на залізобетонних мостах при дії транспортного навантаження

Після першого циклу прикладання навантаження протягом часу t_1 міру пошкодженості структурних зв'язків асфальтобетонного покриття з основою, можна визначити за наступною залежністю:

$$M(t_1) = \frac{(\tau^p(h))^{C_\tau(T)} \cdot t_1}{D_\tau(T)} \quad (7)$$

Після відповідних аналогічних перетворень, що розглянуті в роботі [6] з урахуванням циклу навантаження загальний час деформування при зсуві в залежності від товщини покриття h можна визначити за наступною залежністю:

$$t_p = \frac{\left[1 - 2 \cdot t_1 \cdot \left(\frac{(\tau^p(h))^{D_\tau(T)}}{C_\tau(T)} - \frac{1}{(\tau^{\text{сид}}(h))^{F(T)} \cdot E(T)} \right) \right] \cdot C_\tau(T)}{(\tau^p(h))^{D_\tau(T)}} + t_1 \quad (8)$$

Висновок

Для забезпечення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на мостах на основі аналітичних залежностей була розроблена методика проектування асфальтобетонного покриття із підвищеною зсувостійкістю при спільній дії температури і навантаження, одночасно з врахуванням термореологічних властивостей, а також товщини асфальтобетонного покриття на залізобетонній основі.

Література

1. Коваль П. М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України // Дороги і мости: зб. наук. ст.. – Київ, 2003. – Вип.1. – С. 15 – 22.
2. Коган Б. И., Зинченко В. Д. Напряженное состояние неоднородного слоя покоящегося на упругом полупространстве // Известия вузов. Строительство и архитектура. – М., 1960 – №3. – С.25 – 30.
3. Мозговой В. В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 - Киев, 1996 – 406 с.
4. Смолянець В.В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст. Дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.11 / Смолянець В. В. – Київ, 2005. – 173 с.
5. Жуков О. О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг. Дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.11 / Жуков О. О. – Київ, 2011. – 176 с.
6. Онищенко А. Н. Методика прогнозирования сдвигоустойчивости асфальтобетонного покрытия на мостах / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Ризниченко А. С. // Международная научно-практическая конференция «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». – Пермь, 2012. –Том 3. – С. 305 – 310.
7. Онищенко А. М. Методика прогнозування деформаційної стійкості асфальтобетонного покриття на мостах / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Різніченко О.С., Аксьонов С. Ю. // Містобудування та територіальне планування. – Київ, 2012. – Вип.45. – С.83 – 87.

ГОРОДСКИЕ УЛИЦЫ И ДОРОГИ КАК СОСТАВНЫЕ ПРОЕКТА «ЭЛЕКТРОННЫЙ ГОРОД»

Аннотация. Приведен обзор мирового и отечественного опыта организации городского управления с использованием новейших технологий цифровых средств обработки и передачи информации на основании широкого использования современных средств связи, в первую очередь Интернета.

Ключевые слова: цифровые средства обработки, Интернет, система информатизации, пилотный проект

Анотація. Наведено огляд світового та вітчизняного досвіду організації міського управління з використанням новітніх технологій цифрових засобів обробки та передачі інформації на основі широкого використання сучасних засобів зв'язку, в першу чергу Інтернету.

Ключові слова: цифрові засоби обробки, Інтернет, система інформатизації, пілотний проект

Annotation. An overview of global and domestic experience organization of municipal government with the latest technology of digital processing and transmission, which based on the extensive use of modern means of communication, especially the Internet.

Key words: the digital processing and transmission, the Internet ,information system, a pilot project.

Электронный город («e-town») – это организация городского управления на основе цифровых средств обработки и передачи информации.

Системные подходы относительно интеграции стран и отдельных городов, или организаций в мировое электронное общество уже давно и успешно используются в развитых странах.

В Азии, в Южной Корее с нуля строится цифровой город Нью-Сонгдо с использованием новейших технологий.

В Латинской Америке, в Бразилии около года назад корпорация Intel полностью покрыла провинциальный городок Паринтинс беспроводной сетью

WiMAX, обеспечившей доступ к медицинским, образовательным и информационным ресурсам, позволяющий врачам использовать телемедицинские системы и технологию видеоконференцсвязи для дистанционного обучения, проводить онлайн-консультации и удаленную диагностику.

На Ближнем Востоке, в Саудовской Аравии с нуля строятся три интеллектуальных города общей стоимостью несколько десятков миллиардов долларов. Повсеместно доступной станет беспроводная связь, поддерживаемая сетью WiMAX и другими современными технологиями. Разработчики обещают также «интеллектуальные лифты», «невидимые» системы безопасности, средства для слежения за перемещением ресурсов.

В Европе, власти Греции начали строить инфраструктуру семи электронных городов.

Определены концепции и приоритеты создания электронных стран СНГ: «Электронная Россия», «Электронная Молдова», «Электронный Узбекистан», в т.ч. созданная долгосрочная государственная Программа «Электронная Украина», которую разработал Государственный комитет связи и информатизации Украины, и которая имеет целью развитие Интернет-индустрии и создание на ее базе «электронного государства».

«Электронное государство» предусматривает широкое использование современных средств связи, в первую очередь Интернета, – на всех уровнях государственного управления – от правительства до местных администраций и органов местного самоуправления, переход всех государственных структур на электронный документооборот, объединение локальных государственных сетей в единую сеть, доступ государственных служащих к Интернету, а также возможность интерактивного участия граждан Украины через Интернет в государственных процессах, таких, например, как выборы.

Но практических примеров реализации всех задач системного подхода в проектах «e-town» нет.

Первая причина, что данная цель является очень отдаленной и может быть достигнута лишь постепенно и со временем та, что зачастую невозможно объединить всех жителей и все учреждения в одну сеть. Существует проблема убедить людей систематически работать за компьютером, пользоваться и создавать информацию в электронном виде. Имеется большое количество законодательных, языковых, финансовых препятствий на пути обеспечения удовлетворения нужд в информационных услугах. Невозможно окончательно

определились с функциями системы в отдельном городе без интеграции в электронную систему страны (в которой очерченные условия, критерии, принципы единые программные средства электронной среды, и т.п.).

Для их решения необходимо ориентироваться на современные примеры в рамках существующих государственных программ, бюджетных возможностей. Необходимо ставить цели опережающего развития, создавать систему, которая будет обеспечивать выполнение стратегических задач развития города, реализации его миссии, и привлекать для этого все возможные ресурсы.

Возможность развертывания онлайн-сервисов возможен в городе, когда уровень проникновения широкополосного Интернета превышает отметку 12%, при этом весь бумажный документооборот заменяется эффективными онлайн-операциями.

Попытки оцифровать различные сферы городской жизни в Украине предпринимались давно. В Украине инфраструктура больших городов уже позволяет перейти на потребление таких услуг.

Толчком к созданию комплексной программы информатизации города может служить презентация компании Cisco, которая работает во многих городах Украины. При правильной организации процесса, внедренные сервисы могут стать прибыльными, т.к. в цифровом городе удобнее взаимодействовать с муниципальными службами, а автоматизация процессов позволит также избежать дублирования ведомствами трудоемкой работы.

Проект, который был разработан в г.Украинка, получил название «Электронный город» и является национальным пилотным проектом. Он предусматривает создание электронно-вычислительной системы как единого механизма, целостного комплекса учета, управления, предоставления услуг, доступа к информации и обеспечению единых подходов в решении общегородских проблем.

Особенности города Украинка способствуют практической реализации проекта. Город уже имеет три компьютерные сети на базе витой пары, проложенные воздушными путями. В городе работают 4 провайдера, предоставляющие преимущественно широкополосный доступ к Интернет. Украинка является одним из наиболее компьютеризированных городов в Украине: доступ к Интернету имеет каждая седьмая семья (квартира). Город находится на расстоянии всего 40 км от Киева, а пропускная способность высокоскоростных оптоволоконных каналов составляет около 5 Гб/с. Есть

возможность использовать канализационные колодцы и пути «Укртелекома» для укладки кабелей системы.

Цена проекта оказалась равной двум годовым городским бюджетам развития. Наилучший вариант – государственное финансирование, например субвенция на конкретный проект. Учитывая такой подход в финансировании, можно получить сравнительно небольшую абонплату для пользователей, поскольку не нужно будет в нее закладывать долю на возвращение кредита.

Идеальный вариант финансирования – единый источник, например банковский долгосрочный кредит или выпуск городом облигаций, обеспечением которых может быть земля, а погашением бюджетные отчисления.

Требования для системы: надежность, защищенность, постоянство, способность к расширению, надстройки, переоборудование, реализация функции разделенного доступа, принципа целевой функциональности, удобства в пользовании и обслуживании, внутренний самоконтроль дееспособности. Этап усовершенствования и распространения опыта является еще испытанием на эластичность (жизнеспособность) системы в разных условиях существования. Критический взгляд извне на реализацию проекта «e-town» необходим для понимания его недостатков и преимуществ.

В предложенной схеме построения городской сети передачи данных, в рамках общей концепции развития системы информатизации города, выдержаны основные принципы по надежности, совместимости и дальнейшему развитию, а это позволяет:

- оперативно собирать, передавать и отображать необходимые данные от разных городских служб;
- контролировать и управлять ими в режиме реального времени;
- отслеживать состояние денежных потоков городского хозяйства;
- прогнозировать наличие свободного денежного средства для долгосрочных программ развития города;
- построить полнофункциональную систему безопасности объектов коммунального хозяйства;
- быстро интегрировать в существующую систему современные решения и технологии передачи разных данных при возникновении новых задач и нужд.

В систему войдут следующие программные модули: 1. «Коммунальные платежи»; 2. «Население»; 3. «Геоинформационная система»; 4. «Недвижимость»; 5. «Земля»; 6. «Предприятия»;

7. «Электронный документооборот»; 8. «Медицинское обслуживание»; 9. «Безопасность и отдаленный контроль»; 10. «Образование, культура, спорт»; 11. WEB-портал города Украинка.

Для устранения реальных угроз (вандализма и инертности населения) необходимо проводить разъяснительную работу среди жителей города. Кроме того, в Украине пока существует неблагоприятная законодательная база, поэтому ряд вопросов придется решать структурам центральной власти: Кабинету Министров и Секретариату Президента с целью способствования продвижению проекта.

Многие города Украины пришли эволюционным путем к необходимости создания своей геоинформационной системы – «Электронный город».

С 2008 г. в Киеве эффективно был реализован проект «Служба помощи мэра городу». Организация городского колл-центра «051», куда любой столичный житель может позвонить и пожаловаться на муниципальные неурядицы, уменьшила сроки решения проблемы с десяти до трех дней. В настоящее время реализуется проект электронной больницы, через систему электронных платежей Portmone.com оплачиваются коммунальные услуги. Несколько лет назад городские администрации во всех областях озаботились электронным документооборотом, обеспечив треть от общего количества заказов по системам автоматизации в Украине, на основании которой внедрена распределенная информационно-аналитическая система «Экономика и инвестиции города Киева». Реализация проектов по созданию системы глобального электронного документооборота может заблокироваться по субъективным причинам. Распределенная система «Управление коммунальной собственностью Киева» должна была повысить эффективность управления собственностью столичной общины. Программа предусматривала передачу информации (в том числе и финансовой) об использовании коммунальной собственности со всех муниципальных служб в режиме реального времени. Но она не устроила некоторых руководителей коммунальных предприятий и структурных подразделений Киевской городской государственной администрации и не была введена в действие.

В Днепропетровске несколько лет действуют парковочные автоматы, успешно функционирует один из наиболее развитых в Украине городских веб-порталов

В Луганске пять лет работает центр телемедицины.

В Харькове утвердили положение «О муниципальной геоинформационной системе Харькова» и строят основу – оптоволоконную сеть, на которой развернется единая муниципальная сеть. Кроме того, Харьков намерен реализовать продажу информации о городских объектах и населении, что позволит компаниям сэкономить на маркетинговых исследованиях, а также оказывать услуги передачи данных на собственных оптоволоконных линиях.

В 2011г. в Донецком городском совете с участием компании BlomInfo A/S, Дания, обсуждали вопросы долгосрочного сотрудничества и внедрения современной системы управления городом («Электронный город») в различные отрасли городского хозяйства.

В 2012 г. в г. Горловке рассмотрены вопросы реализации проекта «Электронный город» с использованием инновационного подхода в обслуживании жителей г.Горловки путем создания центра административных услуг и муниципальной геоинформационной системы.

Для достижения наилучших результатов по скорости работы, надежности, управляемости и масштабируемости городской сети передачи данных применялся «многоуровневый подход» к дизайну сети как в рамках кампуса (группы зданий), так и в городской сети в целом. Такое решение позволяет рационально использовать функциональные возможности оборудования в соответствующих точках сети, безболезненно и быстро наращивать ресурсы, минимизировать затраты на поддержание сети, требует минимальных усилий и средств для эксплуатации, поиска и устранения повреждений.

Для реализации данного проекта на первом этапе создана геоинформационная система города, включающая информацию о едином реестре улиц и дорог города. Для устранения неточностей архивных и учетных данных и проведения технической инвентаризации были привлечены специалисты автомобильно-дорожного института ГВУЗ «ДонНТУ», которые не только провели полевые обследования, но внесли полученные результаты на электронную карту города, используя принятую систему кодирования. Полученные данные в дальнейшем будут использованы для планирования работы муниципальных служб по долгосрочному и оперативному обслуживанию города, т.к. без интеграции в информационное, электронное общество, без современных электронных средств доступа к информации и организации управления с помощью информационных технологий ни эффективное управление городом, ни его постоянное развитие невозможны.

Смолянец В.В., канд. техн. наук

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГОРОДСКИХ МАГИСТРАЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА МАГИСТРАЛИ „СЕВЕР - ЮГ” В Г. ОДЕССЕ

Анотація. У статті розглянуто проектування міських магістралей із застосуванням комп'ютерних технологій на прикладі проектування міської магістралі „Північ - Південь” в м. Одесі. Наведені значення і характеристика об'єкту, проаналізовано вихідні дані для проектування магістралей. Розглянута організація робіт по проектуванню в корпоративній базі даних з використанням єдиних ресурсів і шаблонів.

Ключові слова: міська магістраль, транспортні потоки, корпоративна база даних, єдиний інформаційний простір, єдині ресурси і шаблони, спільна робота.

Аннотация. В статье рассмотрено проектирование городских магистралей с применением компьютерных технологий на примере проектирования городской магистрали «Север - Юг» в г. Одессе. Даны значение и характеристика объекта, проанализированы исходные данные для проектирования магистралей. Рассмотрена организация работ по проектированию в корпоративной базе данных с использованием единых ресурсов и шаблонов.

Ключевые слова: городская магистраль, транспортные потоки, корпоративная база данных, единое информационное пространство, единые ресурсы и шаблоны, совместная работа.

Annotation: The article considers the design of urban highways with computer technology while using design urban highway "North - South" in Odessa The article considers the value of the objects, analyzed baseline data for the design of highways. Consider the organization of design work in the corporate database using the same resources and templates.

Key words: urban highways, traffic flows, corporate database, unified information space, common resources and templates, collaboration.

В середине ноября 2012 года в г. Санкт – Петербург состоялась VIII Международная конференция «Современные технологии изысканий, проектирования, строительства и геоинформационного обеспечения» в рамках которой было проведено подведение итогов конкурса производственных проектов. Проекту скоростной магистрали общегородского значения непрерывного движения «Север—Юг» была присуждена I премия, а проект трехуровневой транспортной развязки на ул. Михаила Грушевского отмечен II премией.

Значение и характеристика объекта. Изначально идея построить трассу «Север—Юг» возникла еще в 60-х годах прошлого столетия, генеральным планом развития города предусматривалось строительство магистрали, соединяющей тогда еще строящейся поселок Котовского с городской улицей Балковской. В начале 70-х годов было даже начато строительство объекта, но по экономическим и техническим причинам реализовать задуманное так и не удалось. В последующие годы были неоднократно предприняты попытки возродить данную идею, но по тем же причинам проект так и не был реализован. На сегодняшний день, учитывая сложившуюся транспортную связь и нынешнее развитие города, предлагается абсолютно новый вариант прохождения трассы.

Для города Одессы этот проект очень важен по нескольким причинам. Во-первых, крупный жилой массив поселок Котовского, в котором живет около 370 тысяч человек, связан с центром одной магистралью – Николаевской дорогой. В результате исследования транспортных связей города установлено, что пассажирооборот между этим поселком и другими районами города составляет около 34% от всего пассажирооборота города. Существующая интенсивность транспортного потока на данном участке дороги уже превышает пропускную способность улиц даже при благоприятных погодных условиях, а при проявлении так называемых форс-мажорных обстоятельств, как то: выпадение большого количества осадков, аварийные ситуации или ремонтные работы, жилмассив Котовского остается практически отрезанным от центра города, образуются пробки, замедляется движение городского транспорта. Такие задержки в автомобильном движении приводят к тому, что жители поселка опаздывают на работу, экстренные службы не могут своевременно приехать на вызовы и т.д.

Во-вторых, огромные потоки транспорта, соединяя крупные спальные районы и центр, проходят через архитектурно-историческую часть города. В центральной части из-за исторически сложившихся особенностей планировки ширина проезжей части улиц мала, они не оборудованы стоянками для машин и имеют множество регулируемых и нерегулируемых пересечений в одном уровне. Все это приводит к снижению скорости транспортных потоков, скоплению автомобилей вдоль тротуаров.

Для отвода интенсивных транспортных потоков от архитектурно-исторической части города, обеспечения надежной транспортной связи между жилыми массивами и центральной частью Одессы, улучшения экологии улиц, уменьшения затрат времени и материальных ресурсов на проезд по городу крайне необходимо построить скоростную магистраль непрерывного движения «Север—Юг». Строительство данного объекта даст толчок экономическому развитию депрессивных районов города и пригорода, повлияет на появление и развитие новых жилых и бизнес районов города, улучшится безопасность и комфортность движения.

Подготовительные работы. Так как с момента первоначального проложения направления магистрали в 60-х годах XX века прошло много времени (за этот период изменились транспортные потоки и улично-дорожная сеть, увеличилась интенсивность движения), то возникла необходимость выбрать новый вариант прохождения трассы, который будет соответствовать современным условиям развития города, а также не потеряет своей актуальности и в перспективе. Для прогнозирования развития транспортных потоков по проектируемой магистрали, определения перспективной интенсивности движения и составления рациональной транспортной улично-дорожной сети в районе прохождения магистрали были проанализированы статистические данные о грузовых и пассажирских автотранспортных перевозках, количеству и составу автомобильного движения, были изучены внутренние и внешние транспортные связи города. При изучении внешних транспортных связей учитывалась интенсивность движения и исследовалось распределение автомобильных потоков на основных транспортных узлах на подъездах к городу. Для исследования транспортных связей между разными районами города и пригородной территорией проводились в социальных сетях и на официальном сайте компании-проектировщика опросы жителей города о направлениях передвижения.

На основании данных исследований было назначено несколько вариантов трассы и проведено их сравнение по техническим и экономическим показателям. После выбора окончательного варианта приступили к геодезическим работам. Пройдя вдоль всей трассы и сравнив местность с полученными планшетами, инженеры определили места, где необходимо выполнить съемку.

Совместная работа в корпоративной базе данных. Проектирование выполнялось с использованием компьютерных технологий в системе КРЕДО ДОРОГИ. Проектирование началось с импорта геоподосновы и трассирования оси магистрали. Так как опыт работы с программными продуктами CREDO у специалистов разный, то работа над объектом была организована параллельным методом. Магистраль поделили на пять пусковых комплексов, которые и были закреплены за инженерами, поэтому каждый специалист, работая над своим пусковым комплексом, выполнял весь набор необходимых работ: от создания цифровой модели местности до получения и оформления чертежей и ведомостей по запроектированному им участку. Организовав работу таким образом, специалисты одновременно учились (а кто-то и учил) работе в системе CREDO ДОРОГИ и выполняли проектные задания.

Масштаб проекта таков, что на начальной стадии разработки специалисты столкнулись с тем, что персональная база данных не могла вместить весь объем информации, и уже на второй неделе оцифровки для удобного и производительного выполнения работ была создана корпоративная база данных: это и быстрота внесения изменений, и работа с большим объемом данных. Для успешной и продуктивной работы были структурированы и разделены проекты так, чтобы каждый инженер работал над своей конкретной задачей и в то же время мог получить необходимые для себя данные из других проектов (рис. 1), а также подготовлены правила работы в корпоративной базе данных для каждого специалиста.

Так как работа была организована в едином информационном пространстве, то появилась возможность использовать единые ресурсы и шаблоны. Так, при создании ЦМС были организованы «под себя» объекты классификатора, внесены необходимые изменения в оформление объектов классификатора и таким образом получен свой набор тематических объектов (ТО) с необходимыми семантическими свойствами.

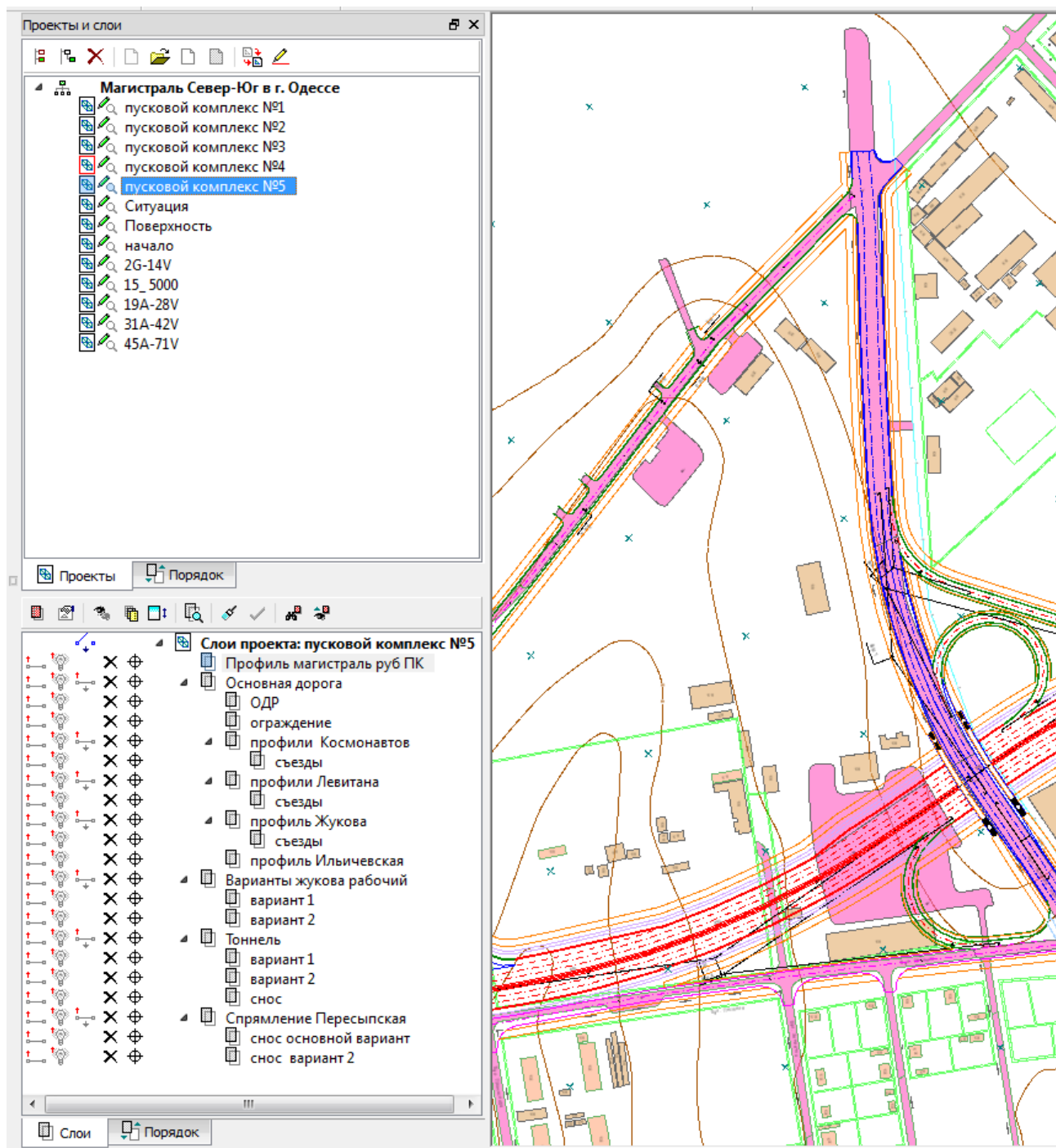


Рисунок 1 – Структура и разделение проектов в корпоративной базе данных

Использование общих тематических объектов исключает различие в оформлении. Еще одно преимущество работы в корпоративной базе данных — это упрощение поиска и обработки данных проекта. Так, при отсутствии одного из участников проектирования, другим специалистам без лишних поисков были доступны данные по его участку, что значительно экономило время и исключало лишнюю работу в случае использования неактуальной версии. Так,

благодаря возможностям корпоративной базы, работа по пяти пусковым комплексам велась одновременно.

После создания ЦММ появилась возможность приступить к проектированию плана и транспортных развязок. Анализируя ситуационные и планировочные условия прохождения трассы, были назначены участки устройства местных проездов, приняты места расположения велодорожек и тротуаров, и таким образом определена ширина поперечника и нанесены красные линии. По каждой развязке было рассмотрено несколько вариантов.

Использование возможностей CREDO. Далее, после увязки всех осей улиц и транспортных развязок, специалисты приступили к проектированию продольных и поперечных профилей. При создании проектного поперечного профиля в системе CREDO ДОРОГИ пришлось немножко поэкспериментировать. Учитывая сложность и масштабность основного поперечного профиля, проектировщики использовали все возможности программного продукта, ведь в проектном поперечном профиле магистрали есть и велодорожки, и зеленая зона, и местные проезды, и тротуары, и даже трамвайные пути (рис. 2).

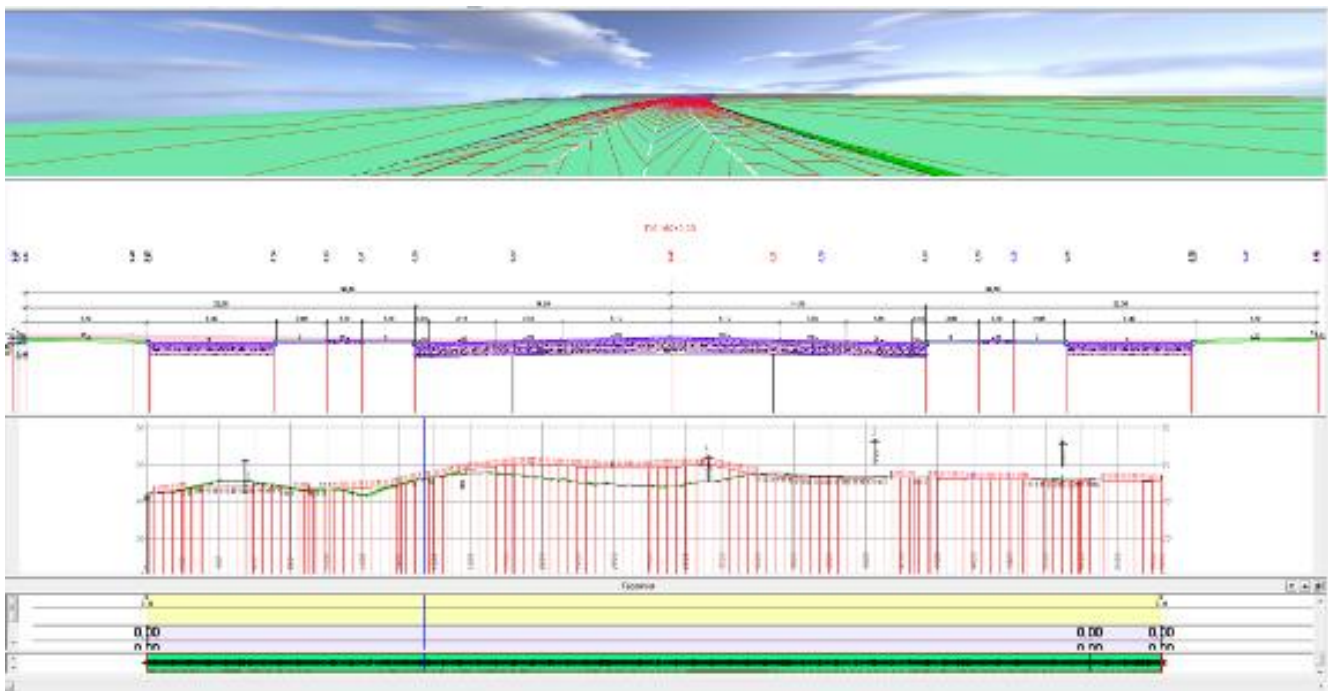


Рисунок 2 – Проектирование профилей магистрали

В проекте большое количество развязок и еще большее количество съездов на них, при их проектировании очень помогла функция Импорт параметров и проектов профиля. Было разработано несколько типов поперечных профилей съездов: левоповоротный, правоповоротный, двухсторонний, двухполосный и т. д., а затем они переносились на нужный съезд. Таким образом было запроектировано 114 съездов общей протяженностью 31,253 км.

Далее приступили к формированию чертежей по всем видам работ. При проектировании старались нанести все обозначения, размеры, чтобы получить готовый чертеж из системы CREDO ДОРОГИ.

Наиболее опытные сотрудники, благодаря возможности создания различных ведомостей тематических объектов, сформировали в Редакторе свои шаблоны ведомостей и таким образом получили ведомости объемов работ по устройству ограждения и разметки (ведомость ЛТО), сносу зданий и строений (ведомость ПТО) с привязкой к пикетажу трассы.

Итоги. При разработке стадии ТЕО данной магистрали, работы в системе CREDO ДОРОГИ выполняли пять специалистов одновременно и на работу было затрачено три месяца. Был выполнен большой объем работы, так общая длина магистрали составляет около 28 километров, количество транспортных развязок в двух уровнях – 20, и по каждой было разработано несколько вариантов. Проектировщиками был создан необычный поперечный профиль, при его описании в программе использовался нестандартный подход.

При выполнении этого проекта была прекрасно организована совместная работа специалистов в среде CREDO, создана корпоративная база данных и сформирован свой набор ТО, налажен импорт параметров профиля.

УДК 625.851

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Новаковський Д.М., канд. техн. наук,
Мінаков О.С., Пархоменко О.Ю.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОСТИГАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЇ СУМІШІ В КУЗОВІ АВТОСАМОСКИДА ПІД ЧАС ТРАНСПОРТУВАННЯ

Анотація. У статті розглянуто фактори, що впливають на інтенсивність охолодження асфальтобетонної суміші в кузові транспортного засобу. Запропоновано термовимірювальне обладнання для моделювання та оцінки інтенсивності теплообмінних процесів асфальтобетонної суміші з навколишнім середовищем.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, транспортування, втрати тепла, термовимірювальний комплекс.

Аннотация. В статье рассмотрены факторы, которые влияют на интенсивность охлаждения асфальтобетонной смеси в кузове транспортного средства. Предложено термоизмерительное оборудование для моделирования и оценки интенсивности теплообменных процессов асфальтобетонной смеси с окружающей средой.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, транспортировка, потери тепла, термоизмерительный комплекс.

Annotation. The article describes the factors that affect the intensity of cooling asphalt mix in the trailer body of the vehicle. The equipment for measure the temperature to evaluate the intensity on the heat transfer processes of asphalt mixes with the environment is proposed.

Key words: asphalt concrete mix, transportation, heat loss, equipment for measure the temperature.

Значний вплив на забезпечення необхідних експлуатаційних якостей асфальтобетонних шарів чинить температура гарячої асфальтобетонної суміші при технології укладання і ущільнення. За останні 10-20 років дослідники звернули увагу на те, що однією з причин передчасного руйнування асфальтобетонних покриттів є вплив температурної сегрегації суміші, яка виникає при транспортуванні, перевантаженні суміші з автосамоскида до бункера асфальтоукладача і укладанні її в дорожній одяг [1].

На основі аналізу літературних джерел можна зробити висновок про те, що при транспортуванні асфальтобетонної суміші в кузові транспортного засобу остигання її значною мірою проявляється тільки в поверхневих шарах з усіх боків, при цьому з боку та дна кузова в меншій мірі [2]. В той же час велика маса суміші, що розташована в середині її об'єму, зберігає початкову температуру практично без змін. Це можна пояснити тим, що при охолодженні асфальтобетонної суміші на поверхні утворюється прошарок, що перешкоджає вивільненню тепла з внутрішнього простору на поверхню, за рахунок зниження температури зовнішніх шарів, які набувають властивостей теплоізолятора. Товщина теплоізолюючого шару і розподіл температур по глибині буде безпосередньо залежати від багатьох факторів, основні з яких: початкова температура асфальтобетонної суміші при завантаженні в автосамоскид, температура навколишнього середовища, швидкість і напрямок вітру при транспортуванні, відносна вологість повітря, наявність підігріву та теплоізоляції кузова, розмір кузова автомобіля-самоскида і його геометричні параметри [3, 4]. Вплив вище зазначених факторів тим значніше, чим більше часу гаряча суміш, що перевозиться, знаходиться в кузові автосамоскида.

Вхідний контроль температури асфальтобетонної суміші, доставленої до місця укладання в шари дорожнього одягу, дозволить своєчасно виявляти асфальтобетонну суміш непридатну з порушення температурних режимів для укладання та ущільнення, тим самим підвищити якість влаштування асфальтобетонних шарів в конструкції дорожнього одягу. Оперативно і з достатньою точністю виміряти температуру асфальтобетонної суміші на поверхні, без використання тепловізора, можливо безконтактним способом за допомогою пірометра або контактним способом з використанням біметалевого термометра. Визначив для кожного типу асфальтобетонної суміші температуру на поверхні її об'єму та враховуючи закономірність розподілу температури за глибиною в залежності від умов і часу транспортування визначену попередньо

в лабораторних умовах, можливо спрогнозувати середню температуру асфальтобетонної суміші в кузові автомобіля-самоскида. На основі отриманих даних приймається рішення щодо придатності даної суміші для укладання або про призначення технологічних схем і режимів для її ущільнення. Для реалізації поставленого завдання на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О.К. Біруля Харківського національного автомобільно-дорожнього університету розроблений комплекс устаткування, який дозволяє змодельовати та відстежувати зміну температури асфальтобетонної суміші на різних глибинах досліджуваного матеріалу на протязі заданого часу з обраною частотою вимірювань при зміні наступних зовнішніх факторів: температури навколишнього середовища, швидкості вітру та відносної вологості повітря (рис 1).

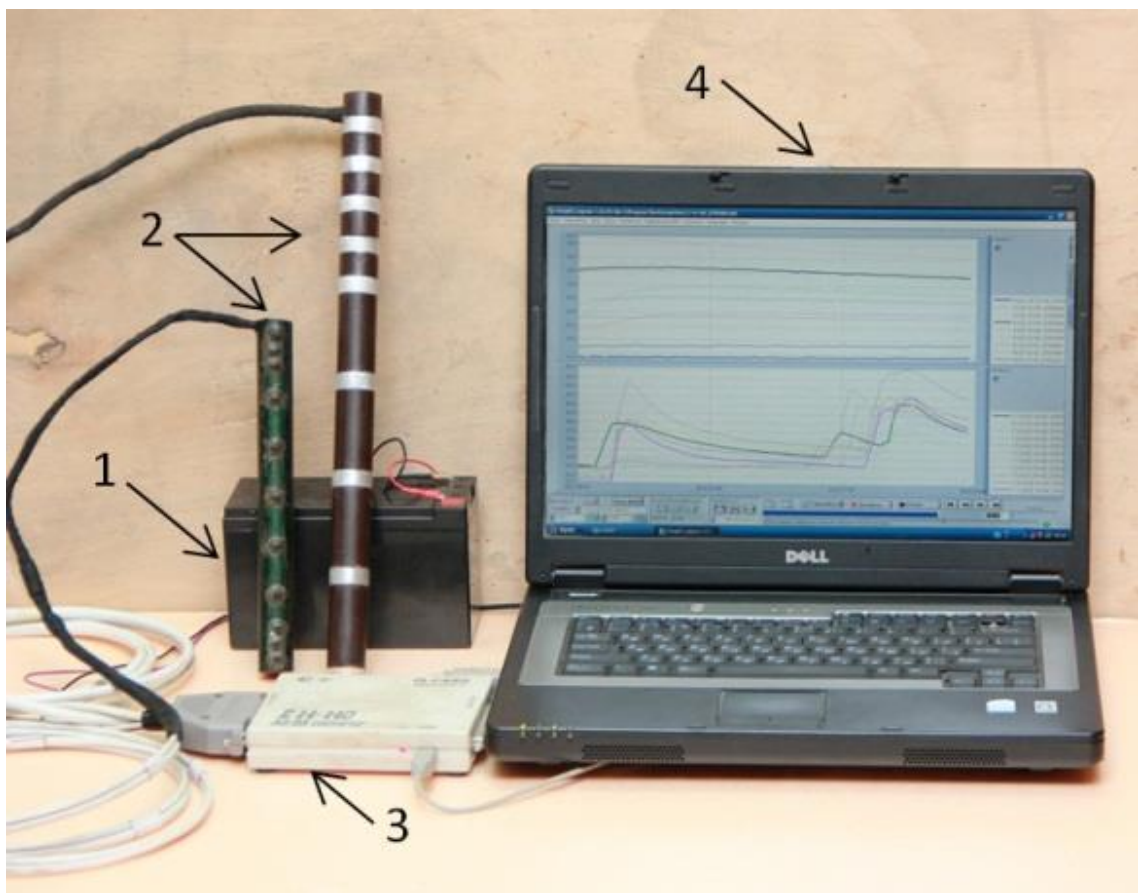


Рисунок 1 – Термовимірювальний комплекс для визначення температур асфальтобетонної суміші по глибині 1 – джерело живлення приладу; 2 – термовимірювальні зонди; 3 – аналого-цифровий перетворювач; 4 – портативний комп'ютер (ноутбук)

Термовимірювальний комплекс складається з: термовимірювального зонда (рис.2), який при проведенні експерименту занурюється в асфальтобетонну суміш і дозволяє фіксувати температуру суміші в точках на рівні розташування датчиків, закріплених по довжині зонда; аналого-цифрового перетворювача (АЦП), призначеного для отримання від датчиків температури аналогових даних, які оцифровуються для передачі із заданою частотою значень температури суміші до персонального комп'ютера; портативного комп'ютера для обробки отриманих даних і подальшого їх збереження; джерела живлення.



Рисунок 2 – Термовимірювальний зонд

Для запису і подальшої обробки сигналів, які надходять від датчиків температури, за допомогою обчислювальної техніки аналоговий потік інформації повинен бути трансформований в дискретний ряд. Така процедура називається оцифруванням і виконується блоками аналого-цифрових перетворювачів. В якості пристрою для збереження і подальшої обробки інформації обрано портативний комп'ютер типу "notebook", що дозволяє використовувати вимірювальний комплекс в лабораторних і польових умовах завдяки компактності обладнання та наявності автономного живлення. Передача даних, їх збереження та подальша обробка реалізована за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Актуальність роботи, а також її науковий інтерес полягає у вивченні в лабораторних умовах комплексного впливу на інтенсивність остигання асфальтобетонної суміші факторів навколишнього середовища, таких як – температура і вологість повітря, швидкість вітру. Втрати тепла з асфальтобетонної суміші в навколишнє середовище можуть здійснюватися

через борти і дно, а також через відкриту або вкриту тентом верхню частину кузова транспортного засобу. Конфігурація бортів і дна кузова мають різні конструкції, найбільш поширені коробчастого перетину. Багато сучасних автомобілів мають підігрів кузова відпрацьованими газами від двигуна, що знижує тепловтрати асфальтобетонної суміші при транспортуванні через металеві стінки кузова. Найбільш інтенсивні тепловтрати спостерігаються з верхньої поверхні асфальтобетонної суміші. Для зниження тепловтрат через відкриту верхню частину кузова суміш накривають брезентом або іншим міцним термостійким матеріалом, який запобігає обдуванню поверхні суміші вітром і створює теплоізолюючий прошарок.

Для прогнозування остигання асфальтобетонної суміші в кузові транспортного засобу необхідно знати, як відбувається охолодження суміші в напрямку відкритої поверхні, або ж накритою тентом, через борти і дно кузова. Визначивши дані залежності окремо, можна на основі принципу суперпозиції розрахувати їхній спільний вплив і виділити температурні поля для асфальтобетонної суміші по всьому об'єму в кузові транспортного засобу. При цьому можна проаналізувати вплив різних факторів на інтенсивність теплообмінних процесів асфальтобетонної суміші з навколишнім середовищем в кузові транспортного засобу. На початковому етапі лабораторних досліджень передбачається розглянути втрати тепла через відкриту верхню частину кузова без тенту, при моделюванні впливу температури повітря на інтенсивність теплообмінних процесів гарячої асфальтобетонної суміші. Для вирішення даної задачі в лабораторних умовах, запропонована модель верхньої частини кузова у вигляді розбірної конструкції прямокутної форми розміром 220x220x360 мм, з якої тепло втрачається тільки через верхню відкриту поверхню асфальтобетонної суміші. Втратами тепла через стінки форми можна знехтувати за рахунок використання в цих напрямках теплоізоляції. Розмір пропонованої конструкції (форми) підбирався виходячи з можливості в лабораторних умовах приготувати або одночасно розігріти необхідний для експерименту об'єм гарячої асфальтобетонної суміші, однорідної за температурою, а також виключити вплив втрат тепла через стінки і дно на температуру в ядрі об'єму суміші.

Для проведення експериментальних досліджень була використана готова гаряча асфальтобетонна суміш типу В. Температура суміші на початку експерименту становила близько 160 °С. Теплоізольована форма прогрівалась

до температури асфальтобетонної суміші, що дозволяє мінімізувати втрати тепла на нагрів стінок форми з теплоізолятором. Розігріта форма заповнювалася асфальтобетонною сумішшю, занурювався термовимірювальний зонд, після чого з датчиків, які розташовані на зонді, знімалися відліки температури, які змінюються в часі. Теплоізольована форма з термовимірювальним зондом, яка використовується для проведення експерименту представлена на рисунку 3.



Рисунок 3 – Моделювання остигання асфальтобетонної суміші в теплоізольованій формі при проведенні експерименту

Експерименти проводилися без обдування теплоізольованої форми повітрям при температурі навколишнього повітря 6 °С і 22 °С. Результати експерименту показали, що середня температура асфальтобетонної суміші при температурі повітря навколишнього середовища 22 °С в часі, змінюється практично по лінійній залежності (рис. 4). Протягом першої півгодини в порівнянні з експериментом, де температура повітря становила 22 °С, при температурі навколишнього середовища 6 °С спостерігається більш інтенсивне

зниження середньої температури асфальтобетонної суміші через більшу різницю температур гарячої суміші та температури повітря. У наступний час середня температура суміші зменшується менш інтенсивно. Це можна пояснити утворенням на поверхні теплоізолюючого прошарку, який перешкоджає проникненню тепла на поверхню і віддачу в навколишнє середовище.

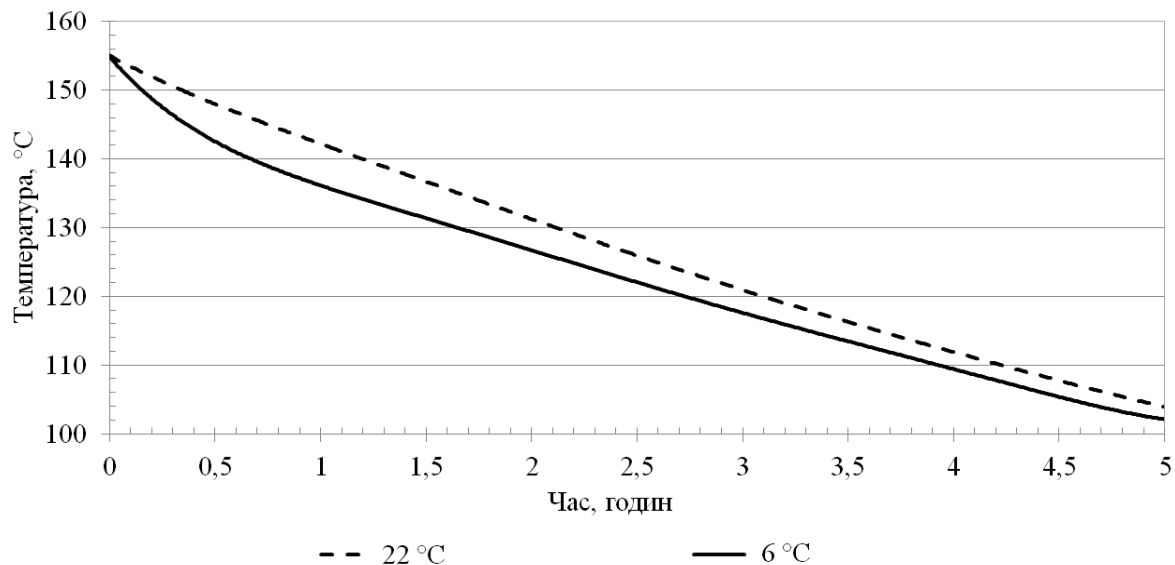


Рисунок 4 – Динаміка зміни середньої температури асфальтобетонної суміші при температурі навколишнього середовища 6 °C та 22 °C

Для визначення глибини так званої «корки», яка утворюється на поверхні асфальтобетонної суміші при транспортуванні, граничною (базовою) була прийнята температура, для суміші на бітумі марки БНД 90/130, близько 90 °C [5], при якій суміш втрачає необхідну рухливість, що ускладнює процес подальшого укладання та ущільнення.

Динаміка зміни глибини «корки» асфальтобетонної суміші з температурою нижче 90 °C при різних температурах повітря навколишнього середовища наведена на рисунку 5.

Залежності температури асфальтобетонної суміші за глибиною в часі при температурі навколишнього середовища 6 °C представлена на рисунку 6.

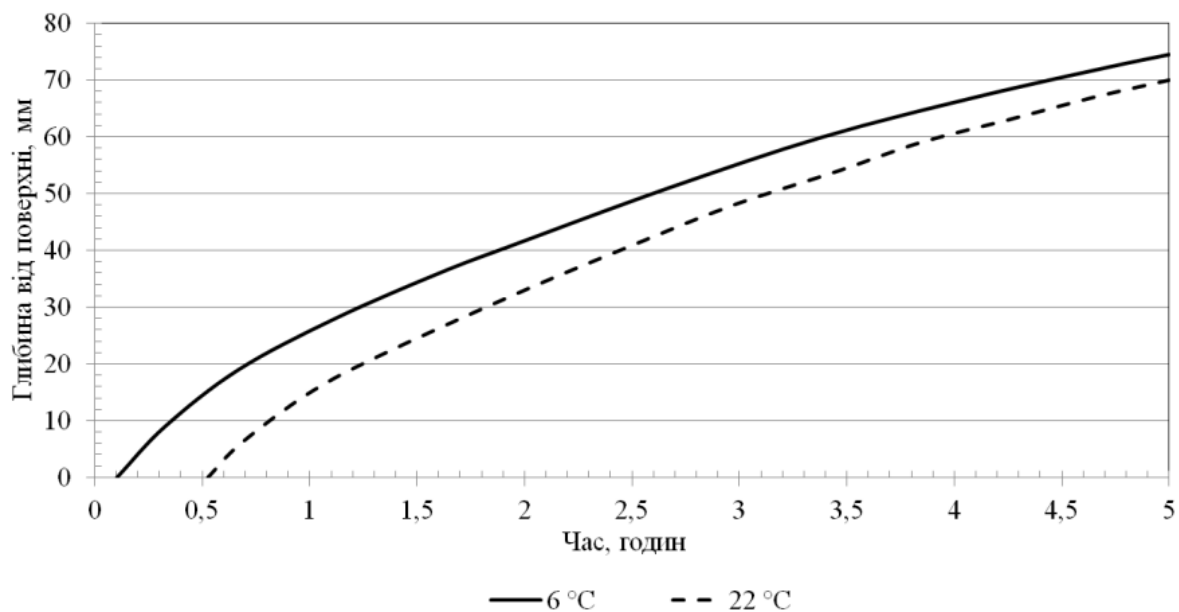


Рисунок 5 – Динаміка збільшення глибини «корки» асфальтобетонної суміші з температурою нижче 90 °C при температурі навколишнього середовища 6 °C і 22 °C

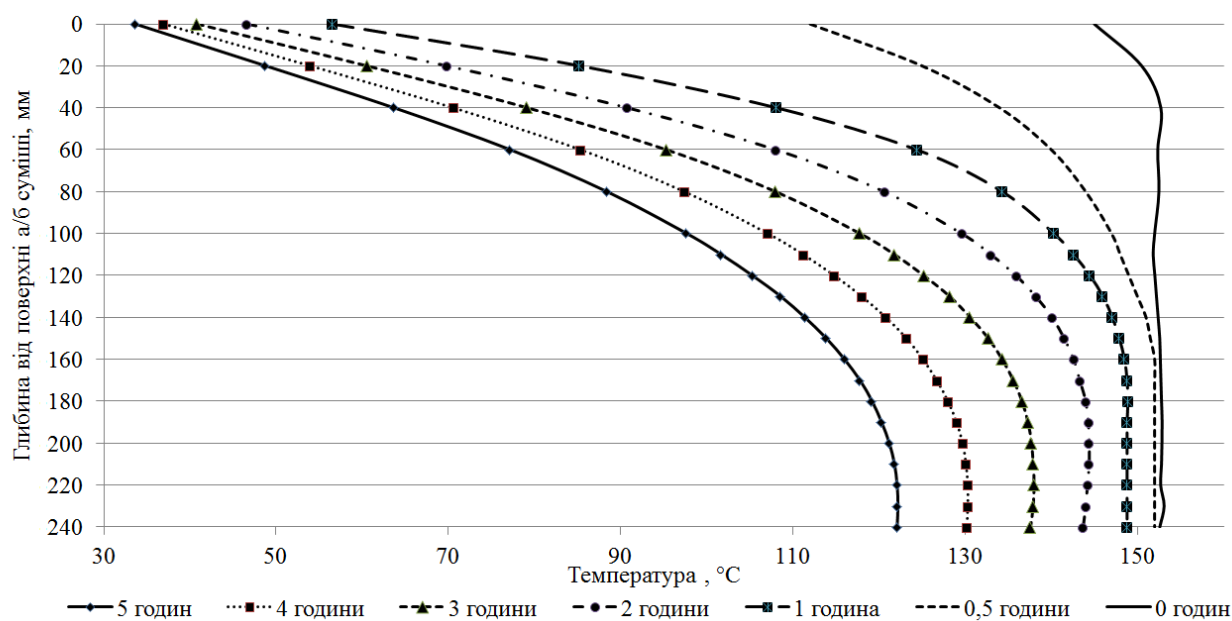


Рисунок 6 – Зміна температури асфальтобетонної суміші за глибиною при температурі навколишнього середовища 6 °C в різні періоди часу

Для отримання ряду необхідних даних планується провести розширений експеримент на асфальтобетонах різних типів при різних значеннях

температури навколишнього повітря, швидкості вітру і вологості повітря, визначити ступінь впливу даних факторів на інтенсивність теплообмінних процесів гарячої асфальтобетонної суміші з навколишнім середовищем, моделюючи в лабораторних умовах втрати тепла через відкриту і вкриту тентом поверхню, через борти і дно кузова. Отримані результати нададуть можливість обґрунтувати закономірності остигання асфальтобетонної суміші в кузові автосамоскида на етапі транспортування, ранжувати фактори за ступенем їх впливу на інтенсивність охолодження, а також на основі значень температур в контрольних точках суміші в кузові визначити середню температуру асфальтобетонної суміші по її об'єму, розподіл температур в кузові транспортного засобу.

Література

1. Brock J.D. Temperature Segregation. Temperature Differential Damage: Technical Paper T-134 / Brock J.D., Jakob H. – ASTEC Industries Inc. Chattanooga, USA, 1998. – pp. 23.
2. Минаков А.С. Прогнозирование температуры асфальтобетонной смеси при транспортировании ее к месту укладки. / Минаков А.С., Кияшко И.В., Шрестха Раджу Баде. // Науч.-техн. Сборник «Градостроительство и территориальное планирование». Вып.45, часть 3. – К., КНУБА, 2012. – С. 78-82.
3. Вознесенский В.А. Однородность как критерий оценки качества бетона / Вознесенский В.А., Должинков Ю.П., Ламин В.Г. – Кишинев, 1967. – 239с.
4. Семенов В. А. Качество и однородность автомобильных дорог / Семенов В.А. – М.: Транспорт, 1989. – 125 с.
5. Зубков А.Ф. Технология устройства покрытий нежесткого типа из асфальтобетонных горячих смесей: учеб. Пособие / А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, Т.И. Любимова. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 80 с.

Ряпухін В.М., канд. техн. наук, Дорожко Є.В.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЧИСЕЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація. У статті наведено схему розробленого дилатометру та перевірку його працездатності. Представлені чисельні значення експериментально визначеного температурного коефіцієнта лінійного розширення асфальтобетонів різних типів для різних температурних режимів в діапазоні плюсових температур.

Ключові слова: температурний коефіцієнт лінійного розширення, асфальтобетон, дилатометр.

Аннотация. В статье представлена схема разработанного дилатометра і виконана перевірка його работоспособности. Представлены численные значения экспериментально определенного температурного коэффициента линейного расширения асфальтобетонов разных типов для разных температурных режимов в диапазоне плюсовых температур.

Ключевые слова: температурный коэффициент линейного расширения, асфальтобетон, дилатометр.

Annotation. The article presents a diagram of the developed dilatometer and test its efficiency. The numerical values of experimental determination of the temperature coefficient of linear expansion of different types of asphalt for different temperatures in the range of zero temperature.

Key words: temperature coefficient of linear expansion, asphalt concrete, dilatometer.

Однією з важливих задач розрахунку дорожніх конструкцій з асфальтобетонним покриттям є врахування температурних деформацій і напружень. Температурні напруження з'являються в наслідок неможливості, або обмеження температурного розширення (стискання) асфальтобетонного

шару. Прикладом такого обмеження є конструкція дорожнього одягу з цементобетонною плитою, перекритою зверху асфальтобетонним шаром. Якщо асфальтобетонний шар і цементобетонна плита омоноличені (спаяний контакт) у них будуть однакові температурні деформації. Одночасно з цим слід взяти до уваги, що температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) цементобетону відрізняється від ТКЛР асфальтобетону.

В літературних джерелах ТКЛР асфальтобетону наводиться переважно для вирішення питань температурної тріщиностійкості. Експериментально чисельні значення ТКЛР визначалися в режимі охолодження, для діапазону температур від $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-30\text{ }^{\circ}\text{C}$) [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Виникає необхідність експериментального дослідження з визначення чисельного значення середнього ТКЛР для різних типів асфальтобетонів при нагріві та охолодженні в діапазоні плюсових температур від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище.

Згідно з існуючими правилами визначення ТКЛР різних матеріалів дилатометр повинен відповідати таким вимогам [6, 7, 8, 9]:

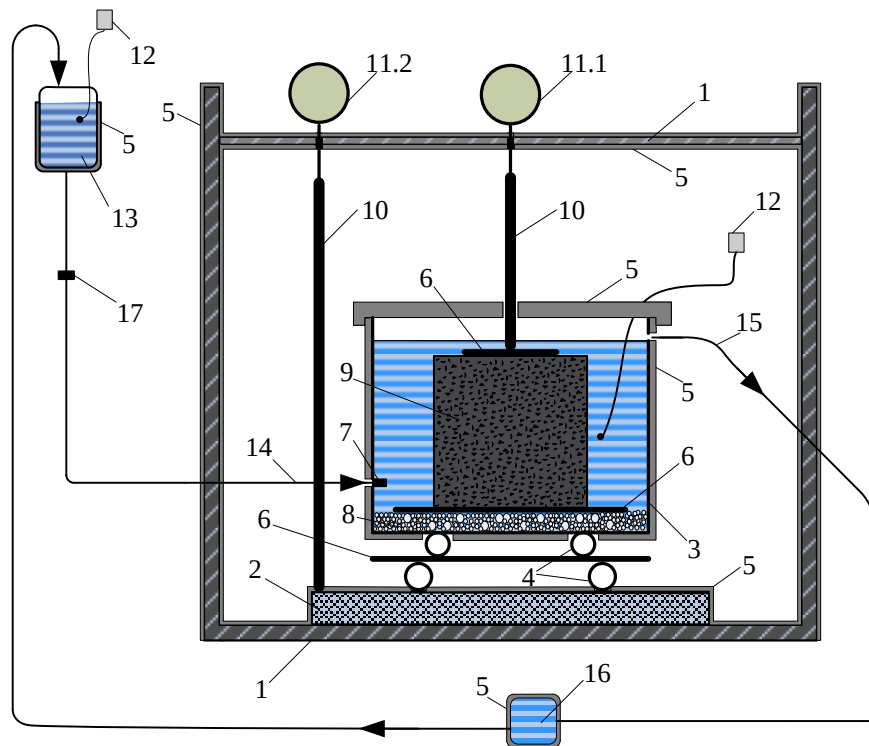
- вимірювач подовження досліджуваних зразків повинен мати високу чутливість і достатню точність;
- тиск пристрою для вимірювання подовження на зразок не повинен перевищувати $0,15\text{ МПа}$;
- теплоносій має забезпечувати рівномірність нагрівання (охолодження) на всій поверхні досліджуваного зразка;
- похибка підтримання сталості температури зразка не повинна перевищувати $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- пристрій для вимірювання температури зразка має володіти високою точністю і чутливістю;
- прилад повинен бути надійним і простим в експлуатації, а виготовленні для дослідження зразки не мають суперечити прийнятим для даного матеріалу нормативним документам.

З урахуванням вище викладених вимог до визначення ТКЛР твердих тіл і специфічних вимог до асфальтобетону запропонована наступна схема дилатометру, призначеного для роботи при нагріванні та охолодженні (рисунок 1).

Асфальтобетонний зразок розміщується у ємкості з кварцевого скла, заповнену теплоносієм. Зразок стоїть на пластині з кварцевого скла, яка в свою

чергу розміщена на крихтах з кварцевого скла. Крихти зі скла виконують дві функції:

- дозволяють рівно встановити зразок;
- дозволяють теплоносію, проникаючи в пори між крихтами рівномірно прогрівати асфальтобетонний зразок не тільки зверху і з боків, а і знизу.



- 1 – металевий каркас установки; 2 – бетонна підставка; 3 – ємкість із кварцевого скла;
 4 – трубочки із кварцевого скла; 5 – теплоізолюючий матеріал (вспінений поліетилен);
 6 – пластинка із кварцевого скла; 7 – пристрій для розподілення теплоносія;
 8 – крихти із кварцевого скла; 9 – асфальтобетонний зразок; 10 – штовхач із кварцевого скла;
 11.1 – електронний індикатор для фіксації деформації зразка; 11.2 – контрольний індикатор;
 12 – термометр; 13 – терморегуляційна камера теплоносія;
 14 – трубочка для подачі теплоносія; 15 – трубочка для відводу теплоносія;
 16 – пристрій для перекачування теплоносія; 17 – регулятор швидкості руху теплоносія.

Рисунок 1 – Схема установки для визначення ТКЛР асфальтобетону

Зміна розміру асфальтобетонного зразка через штовхач з кварцевого скла вимірюється електронним індикатором переміщень з точністю 0,001 мм. Між штовхачем і зразком розташована пластинка з кварцевого скла розміром 40×40 мм для того, щоб виключити можливість вдавлювання штовхача в зразок, для більш точного вимірювання зміни розміру зразка. Тиск пружини електронного

індикатора переміщення становить 0,11 кг, а віднесене до поверхні скляної пластини складе 0,0007 МПа, тобто є допустимим.

Штовхачі, пластини, трубки, крихти і ємкість виконані з кварцевого скла, оскільки цей матеріал має незначну теплопровідність і дуже малий ТКРЛ ($0,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) в порівнянні з асфальтобетоном, цементобетоном і металом (відрізняється приблизно в 100 раз) [6]. Загальна товщина пластини під зразком, скляних крихт і дна ємкості складають 10 мм. Оскільки вони виконані з кварцевого скла, то при зміні температури теплоносія на 40 $^{\circ}\text{C}$ (максимальний діапазон температур при випробуваннях) змінять розмір на 0,00024 мм і ніяк не вплинуть на результат вимірювань.

Ємність з теплоносієм, розміщена на трубочках і пластині виконаних з кварцевого скла з метою зменшення можливості теплової деформації установки і впливу на кінцевий результат, а також зменшення передачі температури від ємкості з теплоносієм до бетонної основи.

Теплоносій доводиться до необхідної температури в терморегуляційній камері і подається до ємкості з зразком за рахунок дії сили тяжіння, з швидкістю, яку можливо регулювати. За допомогою пристрою для розподілення при попаданні в ємкість з зразком теплоносій рівномірно розподіляється навколо зразка, що дає змогу з усіх боків рівномірно нагрівати, охолоджувати або підтримувати сталу температуру досліджуваного зразка. Через отвір у верхній частині ємкості теплоносій відводиться за рахунок вільного витікання і подається до терморегуляційної камери.

Таким чином теплоносій циркулюючи між терморегуляційною камерою, в якій встановлюється необхідний температурний режим, та ємкістю з досліджуваним зразком рівномірно і поступово нагріває, охолоджує або підтримує сталу температуру асфальтобетонного зразка. Температура окремо контролюється у терморегуляційній камері і безпосередньо біля зразка.

Для випробування були використані асфальтобетонні зразки циліндричної форми з діаметром 71,4 мм та висотою $71,4 \pm 1,5$ мм. Підготовка зразків до випробувань полягає в наступному:

- підбирається не менше 3-х зразків одного типу;
- бокова поверхня зразка змазується силіконом, для захисту від розмиву і вологонасичення;
- у кожного зразка на металевій плиті шліфуються торцеві поверхні;

- заміряються розміри зразка (висота і діаметр) мікрометром з точністю до 0,01 мм в 4 – 5 місцях по висоті зразка та в 2 – 3 місцях при вимірюванні діаметра зразка.

Асфальтобетонний зразок на початку випробування розміщується у ємність із кварцевого скла, заповнену теплоносієм. Теплоносій повинен мати таку саму температуру, що і зразок (відхилення не більше ніж 5 °С), щоб уникнути різкої зміни температури зразка і як наслідок його можливого руйнування. Зразок витримується при постійній температурі для стабілізації температурних деформацій, оскільки асфальтобетон і теплоносій можуть мати різні температури. Випробування можна розпочинати після стабілізації деформації, коли протягом години не змінюються значення на електронному індикаторі. Після цього зі швидкістю 0,1 °С за хвилину нагрівається або охолоджується теплоносій в терморегуляційній камері і відповідно в ємності з зразком.

ТКЛР асфальтобетону різний для різних діапазонів температур [1, 2, 3, 4, 12]. В результаті аналізу попередніх дослідників і виконання пошукових експериментів прийняті наступні температурні інтервали в середині яких ТКЛР можна вважати майже незмінним: від 0 °С до + 5 °С, від + 5 °С до + 20 °С, від + 20 до + 40 °С. Максимальна температура + 40 °С обрана з тих міркувань, щоб при нагріванні зразка не перевищити температуру розм'якшення бітуму.

Для визначення часу, необхідного для стабілізації температури по всьому об'єму асфальтобетонного зразка після його нагрівання або охолодження було виконано ряд пошукових експериментів для кожного температурного інтервалу. Для цього у асфальтобетонному зразку діаметром 71,4 мм і висотою 71,4 мм на глибину 35 мм було просвердлено отвір діаметром 6 мм, в який вставлявся температурний датчик (термопара) електронного термометра. Отвір закривається теплоізолюючим матеріалом і зверху вкривається шаром силікону.

Теплоносій нагрівається зі швидкістю 0,1 °С і подається в ємність з кварцевого скла з асфальтобетонним зразком. Паралельно замірюється температура в середині зразка. Нагрів всередині зразка починається з 7 хвилини. Після 10 – 12 хвилин нагріву різниця температури теплоносія і середини асфальтобетонного складає 0,9 °С – 1,0 °С і залишається постійною.

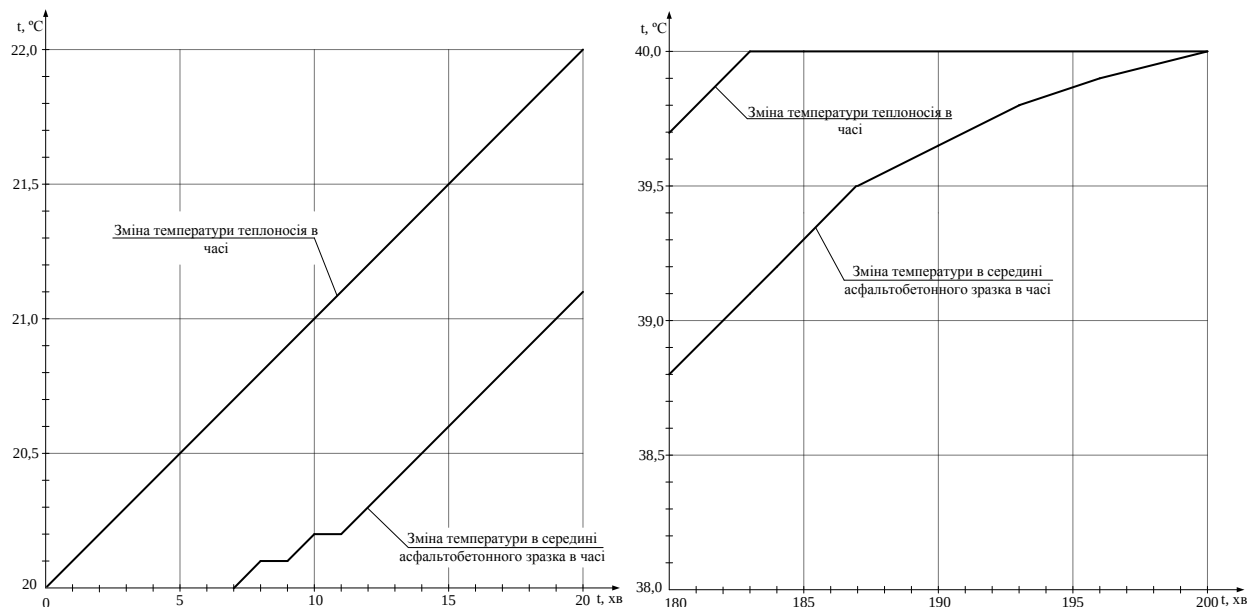


Рисунок 2 – Зміна температури в асфальтобетонному зразку на початковій та завершальній стадіях нагріву

Після доведення теплоносія до необхідної температури визначався час, необхідний для вирівнювання температури теплоносія і в середині зразка. В результаті серій пошукових експериментальних випробувань, виявилось, що для стабілізації температури необхідно 17 – 20 хвилин. Ця залежність спостерігається при нагріві та охолодженні для усього обраного інтервалу температур, тобто від 0 °C до + 5 °C, від + 5 °C до + 20 °C, від + 20 °C до + 40 °C.

Згідно з пошуковим експериментальним нагрівом і охолодженням асфальтобетонного зразка, прийнято, що після набуття необхідної температури теплоносія необхідно протягом 20 хвилин підтримувати цю температуру, для її вирівнювання по всьому об'єму досліджуваного зразка. За кінцевий приймається відлік, який не змінюється протягом 30 хвилин після стабілізації температури по всьому об'єму асфальтобетонного зразка.

Для визначення середнього диференційного ТКЛР асфальтобетону в інтервалі температур ($t_i - t_{i+1}$) використовується залежність [6]:

$$\alpha = \frac{1}{L_1} \cdot \frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

де L_1 – розмір зразка на початку випробування, при температурі t_1 , мм;

L_2 – розмір зразка при температурі t_2 , мм.

Перед початком випробувань по визначенню ТКЛР асфальтобетону необхідно було перевірити правильність роботи обраної моделі дилатометру і переконатися у точності отриманих результатів. У відповідності до розробленої схеми перевірки дилатометри можна повірити за зразковою мірою відповідного порядку та перевіркою зміщення нуля дилатометра. Зразкові міри повинні виконуватись з матеріалу, який не змінює свій коефіцієнт лінійного розширення в обраному для роботи інтервалі температур і при повторних випробуваннях. Бажано, щоб температуропровідність і коефіцієнт лінійного розширення цього матеріалу була близька до відповідних властивостей матеріалу, який буде вимірюватись на даному приладі [6].

Для вирішення цієї задачі було вирішено визначити ТКЛР матеріалів, для яких ці значення є заздалегідь відомі з довідкових даних. Порівнявши отримані в результаті експерименту значення ТКЛР з довідковими даними можна переконатись у правильності роботи системи і достовірності отриманих результатів. В якості матеріалів з відомим значенням ТКЛР було обрано алюмінієвий ливарний сплав АЛ 33 і сталь марки 45. В результаті серії випробувань на нагрів і охолодження в діапазоні температур від 0 °С до + 40 °С для алюмінію сплаву АЛ 33 отримано наступний ряд значень: $22,9 \cdot 10^{-6}$, $23,2 \cdot 10^{-6}$, $23,5 \cdot 10^{-6}$, $23,9 \cdot 10^{-6}$, $24,6 \cdot 10^{-6}$. Як видно з отриманого ряду значень, результат кожного наступного вимірювання не співпадає з попередніми результатами, оскільки на значення результатів впливають помилки вимірювання.

При проведенні статистичної обробки результатів вимірювань перш за все слід виключити із ряду одержаних результатів грубі помилки. Але для цього слід визначити, чи дійсно сумнівні результати відносяться до грубих помилок. При незначній кількості вимірювань (менше ніж 30) можливо використовувати для визначення грубих помилок методику, в основу якої покладені розробки акад. Н.В. Смирнова [10]. З 95 %-ю довірчою ймовірністю результатів вимірювань (надійністю результатів) і з урахуванням кількості результатів вимірювань, що підлягають статистичній обробці, максимальне і мінімальне значення ТКЛР алюмінію АЛ 33 не відносяться до грубих помилок. Їх необхідно враховувати при подальшій обробці результатів вимірювань.

В теорії ймовірності розроблений метод обробки результатів вимірювань при незначній їх кількості (від 2 до 30) на основі розподілу випадкової величини (розподілу Стюдента). Цей метод дозволяє визначити дійсне значення величини, що вимірюється, оскільки за допомогою його

встановлюють довірчий інтервал залежно від надійності результату і кількості вимірів [10].

Таким чином, визначене значення ТКЛР сплаву алюмінію АЛ 33 дорівнює $(23,6 \pm 0,83) \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ при надійності результатів вимірювань 0,95. Довірчий інтервал при цьому складає 3,5 % від середньоарифметичного значення, а коефіцієнт варіації 0,03.

Згідно з довідковими даними ТКЛР сплаву алюмінію АЛ 33 дорівнює $23,4 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Порівнявши довідкові дані з розрахованим інтервалом значень ТКЛР алюмінію можна зробити висновок, що довідкові дані попадають в розрахований інтервал значень і відрізняється від мінімального значення з розрахованого інтервалу на 2,7 %, від максимального значення на 4,4 %.

В результаті серії випробувань для зразка з сталі марки 45 отримано наступний ряд значень: $11,3 \cdot 10^{-6}$, $11,7 \cdot 10^{-6}$, $12,2 \cdot 10^{-6}$, $12,3 \cdot 10^{-6}$, $11,3 \cdot 10^{-6}$. З 95 %-ю довірчою ймовірністю результатів вимірювань максимальне і мінімальне значення ТКЛР сталі 45 не відносяться до грубих помилок.

При надійності результатів вимірювань 0,95 визначене значення ТКЛР сталі марки 45 дорівнює $(11,76 \pm 0,58) \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Довірчий інтервал при цьому складає 4,9 % від середньоарифметичного значення, а коефіцієнт варіації 0,04. Згідно з довідковими даними ТКЛР сталі марки 45 дорівнює $11,9 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Перевірка зміщення нуля дилатометра полягає у спостереженням за показниками контрольного датчика (11.2 на рисунку 1) і перевіркою, чи дійсно штовхачі (10 на рисунку 1) виконані з кварцового скла. Для цього була виконана серія випробувань в режимах нагрівання та охолодження в діапазоні температур від 0 $^{\circ}\text{C}$ до + 40 $^{\circ}\text{C}$ без зразків у дилатометрі, а штовхач ставився безпосередньо на дно ємкості з кварцового скла на пластину. В результаті нагрівання або охолодження штовхач відповідно подовжується або скорочується, а зміна розміру фіксуються електронним індикатором. Знаючи довжину штовхача, яка перебувала у теплоносієві, перепад температур і зафіксовану електронним індикатором зміну розміру можна перерахувати значення його ТКЛР. В результаті 5 вимірів для кожного з штовхачів та трубочок у всіх випадках виявилось, що ТКЛР дорівнює $(0,6 \div 0,7) \cdot 10^{-6}$, що відповідає довідковим значенням для кварцового скла [6].

В результаті перевірки зміщення нуля розробленого дилатометру, порівняння експериментально отриманих значень ТКЛР зразків з сплаву

алюмінію АЛ 33 і сталі марки 45 з довідковими даними та статистичною обробкою результатів вимірювання, можна зробити наступні висновки:

- під час проведення випробувань не відбувається зміщення нуля дилатометру;

- отримані значення ТКЛР для кварцового скла співпадають з довідковими даними [6], що свідчить про правильність роботи дилатометру і високу точність отриманих результатів (оскільки ТКЛР кварцового скла на півтора – два порядки менше ТКЛР асфальтобетону, для випробування якого розроблявся дилатометр);

- обрана модель дилатометру для прийнятої надійності результатів 0,95 не дає грубих помилок вимірювання (в подальших вимірюваннях це ствердження необхідно перевіряти для кожного отриманого ряду значень, оскільки грубі помилки можуть виникнути з ряду причин не пов'язаних з методикою проведення експерименту і принципом роботи дилатометру);

- похибка отриманих результатів не перевищує 5 % і обрану модель в подальшому можна використовувати для визначення ТКЛР в інтервалі температур від 0 °С до + 40 °С в режимах нагрівання та охолодження.

Отримані в результаті експерименту дані мають цінність лише в тому випадку, якщо з потрібною надійністю гарантується необхідна точність вимірювання. Мала кількість вимірювань може негативно вплинути на надійність і точність визначеної величини ТКЛР асфальтобетону. А велика кількість вимірювань пов'язана з збільшенням витрати часу на одну серію випробувань. Виходячи з цього до початку випробувань було встановлено мінімальну кількість вимірювань ТКЛР асфальтобетону в кожному діапазоні температур, що забезпечуватиме необхідну точність.

Для вирішення цієї задачі вимірювався ТКЛР асфальтобетону типа Г з розміром зерен до 2,5 мм з використанням 8 % бітуму БНД 40/60. В результаті серії випробувань отримано наступний ряд значень: $35,9 \cdot 10^{-6}$, $39,3 \cdot 10^{-6}$, $35,5 \cdot 10^{-6}$, $37,3 \cdot 10^{-6}$, $32,7 \cdot 10^{-6}$, $36,1 \cdot 10^{-6}$, $37,2 \cdot 10^{-6}$, $39,7 \cdot 10^{-6}$, $34,1 \cdot 10^{-6}$, $38,3 \cdot 10^{-6}$. Спочатку необхідно виконати перевірку наявності грубих помилок, аналогічно перевірці ряду отриманих значень для сплаву алюмінію та сталі марки 45, за методикою в основу якої покладені розробки акад. Н.В. Смирнова. Для визначення необхідної кількості вимірювань ТКЛР асфальтобетонних зразків, задаємося умовою, щоб помилка середньої арифметичної з довірчою ймовірністю 0,95 % не перевищувала 5 %. Для вирішення поставленої задачі використовуємо так

званий інтеграл ймовірностей (інтеграл Лапласа), [10]. Ця величина являє собою частку від поділу довірчого інтервалу на середнє квадратичне відхилення середнього значення шуканої величини. В результаті розрахунку виявилось, що необхідно виконувати не менше 6 вимірювань кожного асфальтобетонного зразка.

При випробуванні підбирається не менше 3-х зразків одного типу, для врахування структурної неоднорідності асфальтобетону та можливого браку при формуванні. Після чого перевіривши наявність грубих помилок можна розраховувати величину довірчого інтервалу для середньоарифметичного значення ТКЛР. Результати отримані під час випробування зведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Зведена таблиця експериментально отриманих значень ТКЛР асфальтобетонів

Вид асфальтобетону	Температурний режим					
	нагрів, °C			охолодження, °C		
	0 → +5	+5 → +20	+20 → +40	+40 → +20	+20 → +5	+5 → 0
Піщаний, тип Г з розміром зерна до 2,5 мм. БНД 40/60 8% бітуму	$(39,4 \div 42,6) \cdot 10^{-6}$	$(41,3 \div 44,7) \cdot 10^{-6}$	$(35,6 \div 38,4) \cdot 10^{-6}$	$(46,4 \div 49,6) \cdot 10^{-6}$	$(43,5 \div 46,5) \cdot 10^{-6}$	$(45,6 \div 48,4) \cdot 10^{-6}$
Дрібнозернистий, тип Б з розміром зерна до 20 мм. БНД 40/60 6% бітуму	$(28,8 \div 31,2) \cdot 10^{-6}$	$(26,9 \div 29,1) \cdot 10^{-6}$	$(19,1 \div 20,9) \cdot 10^{-6}$	$(23,0 \div 25,0) \cdot 10^{-6}$	$(30,7 \div 33,3) \cdot 10^{-6}$	$(32,7 \div 35,3) \cdot 10^{-6}$
ЩМА – 5. 60/90 7,2 % бітуму	$(32,1 \div 34,7) \cdot 10^{-6}$	$(27,9 \div 30,1) \cdot 10^{-6}$	$(21 \div 23) \cdot 10^{-6}$	$(23,7 \div 26,3) \cdot 10^{-6}$	$(31,8 \div 34,2) \cdot 10^{-6}$	$(35,6 \div 38,4) \cdot 10^{-6}$
ЩМА – 5. 90/130 7,2 % бітуму	$(30,7 \div 33,3) \cdot 10^{-6}$	$(26,9 \div 29,1) \cdot 10^{-6}$	$(18,1 \div 19,9) \cdot 10^{-6}$	$(21,9 \div 24,1) \cdot 10^{-6}$	$(30,7 \div 33,3) \cdot 10^{-6}$	$(34,8 \div 37,2) \cdot 10^{-6}$
ЩМА – 15. 60/90 6,2 % бітуму	$(24,9 \div 27,1) \cdot 10^{-6}$	$(23,8 \div 26,2) \cdot 10^{-6}$	$(17,3 \div 18,7) \cdot 10^{-6}$	$(22,0 \div 24,0) \cdot 10^{-6}$	$(25,8 \div 28,2) \cdot 10^{-6}$	$(26,8 \div 29,2) \cdot 10^{-6}$
ЩМА – 15. 90/130 6,2 % бітуму	$(24,9 \div 27,1) \cdot 10^{-6}$	$(19,8 \div 22,2) \cdot 10^{-6}$	$(13,3 \div 14,7) \cdot 10^{-6}$	$(18,9 \div 21,1) \cdot 10^{-6}$	$(23,8 \div 26,2) \cdot 10^{-6}$	$(26,8 \div 29,2) \cdot 10^{-6}$

Аналізуючи результати випробувань можна зробити наступні висновки:

1. ТКЛР асфальтобетонів різних типів при нагріві та охолодженні відрізняється. Ця різниця збільшується при зростанні температури.

2. Підтвердилося ствердження, ТКЛР відрізняється для різних інтервалів температур.. Це пояснюється тим, що при збільшенні плюсових температур змінюються властивості бітуму і як наслідок асфальтобетону.

3. ТКЛР асфальтобетону збільшується, при збільшенні в'язкості бітуму.

4. ТКЛР асфальтобетону збільшується, при збільшенні вмісту бітуму в асфальтобетоні.

Література

1. Сюньи Г. К. К вопросу об определении коэффициента линейного расширения асфальтобетона // Труды ХАДИ сборник 7, 1941. – С. 95–102.
2. Іщенко О. М. Розробка методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг: дис. канд. техн. наук: 05.22.11 – К., 2003.– 180 с.
3. Сюньи Г.К. Дорожный асфальтовый бетон. - К.: Госиздат лит-ры по строит. и архитектуре, 1962. – 235 с.
4. Богуславский, А. М. О деформативной способности асфальтобетона при охлаждении Текст. / А. М. Богуславский // Труды ХАДИ, вып.26. - Харьков, 1961. – С. 81–90.
5. Гезенцвей Л. Б. Дорожній асфальтобетон / Гезенцвей Л. Б., Горелышев Н. В., Богуславський А. М. и др. – М.: Транспорт, 1976. – 351 с.
6. Аматауни А. Н. Методы и приборы для определения температурных коэффициентов линейного расширения материалов. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 140 с
7. ГОСТ 10978-83 Стекло неорганическое и стеклокристаллические материалы. Метод определения температурного коэффициента линейного расширения. – М.: Изд-во стандартов, 1983.
8. ГОСТ 15173-70 Пластмассы. Метод определения среднего коэффициента линейного теплового расширения. – М.: Изд-во стандартов, 1970.
9. ГОСТ 8.018-2007 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температурного коэффициента линейного расширения твердых тел в диапазоне температуры от 90 до 1800 К.
10. Випробування дорожньо-будівельних матеріалів: Лабораторний практикум / Золотарьов В. О., Братчун В. І., Космін О. В. та інш.; за ред. Золотарьова В. О. Навчальний посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2006. – 352 с.

Фоменко Г.Р., канд.техн.наук, Нечитайло Н.О.

ДОРОЖНІ ОДЯГИ В МІСЬКИХ УМОВАХ

Анотація. У статті розглянуті особливості, які впливають на роботу конструкцій дорожніх одягів міських вулиць і доріг та принципи їх конструювання.

Ключові слова: міські вулиці і дороги, інтенсивність руху, дорожній одяг, конструктивні шари, навантаження, транспортні засоби.

Аннотация. В статье рассмотрены особенности, влияющие на работу конструкций дорожных одежд городских улиц и дорог и принципы их конструирования.

Ключевые слова: городские улицы и дороги, интенсивность движения, дорожная одежда, конструктивные слои, нагрузки, транспортные средства.

Annotation. In the article the features influencing work of road covering designs of urban streets and roads as well as the principles of their designing are considered.

Key words: urban streets and roads, intensity of traffic, road covering, constructive layers, loadings, vehicles.

Сучасні міста потребують розвитку усіх галузей міського господарства, задовільнення потреб міста у вантажних та пасажирських перевезеннях, що суттєво впливає на стан міських вулиць і доріг.

Збільшення інтенсивності руху потребує розвитку вулично-дорожній мережі міст та вимогам до конструктивних елементів дорожнього одягу та їх довговічності.

Умовами для забезпечення довговічності дорожнього одягу є відповідність її конструкції категорії вулиці чи дороги, фактичній та

перспективній інтенсивності руху, кліматичним та ґрунтово-геологічним умовам.

При проектуванні дорожніх одягів міських вулиць і доріг необхідно враховувати особливості, що пов'язані із характером навантажень від рухомого складу, особливостями водно-теплогового режиму, розвинутій мережі підземних інженерних комунікацій, умов будівництва та реконструкції. Різноманітність рухомого складу та умов руху потребує особливого підходу при виборі навантажень і приведення їх до розрахункових.

Міські вулиці і дороги мають велику кількість перехресть, примикань, зупинок для різних видів міського пасажирського транспорту, смуг для парковки автомобілів, які потребують розрахунку і призначення конструкцій дорожнього одягу відповідно умовам їх роботи.

Процес конструювання дорожнього одягу вміщує:

- вибір виду покриття;
- призначення кількості конструктивних шарів, вибір матеріалів для їх влаштування, розміщення шарів в конструкції та призначення їх товщини;
- попередню оцінку необхідності використання додаткових морозозахисних заходів з врахуванням дорожньо-кліматичної зони, типу ґрунту робочого шару земляного полотна та режиму його зволоження;
- попередню оцінку необхідності призначення заходів для осушення конструкції, а також підвищення її тріщиностійкості;
- доцільність укріплення верхньої частини робочого шару земляного полотна;
- порівняння і вибір варіанту з врахуванням використання місцевих природних матеріалів та проектних умов роботи.

Також необхідно враховувати деякі особливості пов'язані з умовами будівництва та експлуатації вулиць і доріг міст:

- обмежену можливість варіювати проектними відмітками поздовжнього профілю.;
- необхідність тимчасового збирання води біля кромки проїзної частини з послідуочим її відведенням за допомогою зливової каналізації;

- необхідність розміщення інженерних комунікацій;
- необхідність влаштування сполучень дорожнього одягу з люками та трамвайними коліями.

Вимоги дорожніх одягів проїзної частини різноманітні і залежать від розміру міста, категорії вулиці чи дороги, а також кліматичних умов. Важливе значення має водно-тепловий режим, що впливає на призначення розрахункових параметрів ґрунтових основ та шарів дорожнього одягу.

При конструюванні дорожнього одягу необхідно враховувати наступні умови:

- а) тип дорожнього одягу і вид покриття, конструкція повинна задовольняти транспортно-експлуатаційним вимогам категорії міської вулиці чи дороги і перспективній інтенсивності руху з врахуванням міжремонтних строків, умов ремонту та утримання;
- б) конструкцію дорожнього одягу можна приймати, як типовою, так і індивідуальною, розробляти для кожної конструктивної ділянки;
- в) перевагу слід віддавати найменш матеріалоємній конструкції;
- г) конструкція повинна бути технологічною і забезпечувати максимальну механізацію дорожньо-будівельних процесів.

Призначення типу покриття для різних варіантів конструкцій дорожнього одягу необхідно здійснювати згідно діючим стандартам та нормам на дорожньо-будівельні матеріали і вироби, та нормам на проектування автомобільних доріг.

Конструкції дорожнього одягу повинні забезпечувати пропуск транспортних засобів із різними швидкостями та навантаженням незалежно від пори року, змін водно-теплогового режиму і відповідати вимогам нормативних навантажень.

Нежорсткі дорожні одяги на зупинках автобусів і тролейбусів, ділянках під'їздів до перехресть, перетинів з трамвайними та залізничними коліями необхідно розраховувати на повну дію короткочасного та дію нерухомого

статичного навантаження і за результатами розрахунків приймати конструкцію з більшим показником зсувостійкості.

Дорожні одяги велосипедних доріжок, автостоянок та місцевих проїздів необхідно проектувати як для вулиць і доріг полегшеного та перехідного типів. Конструкції дорожнього одягу повинні забезпечувати пропуск прибиральної техніки, а пожежні проїзди – пропуск пожежних машин.

Земляне полотно тротуарів, велосипедних доріжок, автостоянок, проїздів необхідно проектувати відповідно з вимогами, які встановлені для влаштування земляного полотна вулиць і доріг. Також, вищевказані споруди допускається влаштовувати як на відокремленому, самостійному земляному полотні, так і на сумісному земляному полотні вулиць і доріг.

Для забезпечення довгострокової роботи дорожніх одягів міських вулиць, доріг, тротуарів необхідна розробка типових конструкцій дорожніх одягів. Конструкції мають бути класифіковані в залежності від категорії вулиці чи дороги, умов розташування, дорожньо-кліматичної зони, виду дорожнього одягу (жорсткого або нежорсткого типу), показників ґрунту основи.

Література

1. Споруди транспорту. Вулиці і дороги населених пунктів: ДБН В.2.3-5-2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – Київ: Держбуд України, 2001. – 51 с.
2. Споруди транспорту. Автомобільні дороги: ДБН В.2.3-4-2007. – [Чинний від 2008-03-01]. – Київ: Держбуд України, 2007. – 117 с.
3. Дубовин Е.Н. Изыскания и проектирование городских дорог / Е.Н.Дубовин, Ю.С.Ланцберг. – Москва: Транспорт, 1981. -471с.
4. Мозговий В.В. Покращення якості проектів міських вулиць і доріг за розрахунок оптимізації проектування дорожнього одягу / В.В. Мозговий, О.М. Бесараб, В.В. Смолянець // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2003. – № 68. – С. 3–11.

УДК 625.76

Роман С.В., канд. техн. наук

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ СОБІВАРТОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МІСЬКИХ УМОВАХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТАНУ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ

Анотація. Проведено дослідження процесу формування собівартості перевезень в специфічних умовах міських населених пунктів в залежності від стану вулиць і доріг та умов роботи їх дорожніх конструкцій.

Ключові слова: собівартість перевезень, рівність проїзної частини, швидкісні режими міських вулиць і доріг.

Аннотация. Проведено исследование процесса формирования себестоимости перевозок в специфических условиях городских населенных пунктах в зависимости от состояния улиц и дорог и условий работы их дорожных конструкций.

Ключевые слова: себестоимость перевозок, ровность проезжей части, скоростные режимы городских улиц и дорог.

Annotation. A investigation of the formation of the cost of transportation to the specific conditions of the urban areas, depending on the condition of the streets and roads and working conditions of road constructions.

Key words: cost of transportation, evenness of the carriageway, speed modes of city streets and roads.

Найбільш ефективним в сучасних умовах підходом до обґрунтування дорожньо-ремонтних робіт є підхід, який базується на основі техніко-економічного аналізу робіт. При цьому, обов'язковою умовою і найбільш вагомою частиною проведення техніко-економічного аналізу дорожньо-ремонтних робіт є визначення і прогнозування зміни в часі собівартості автотранспортних перевезень на дорожніх об'єктах.

Собівартість автотранспортних перевезень є функцією великої кількості факторів різної природи, вивчення впливу яких ускладнюється надто великою різноманітністю їх комбінацій, а також тим, що кожен з окремих факторів може варіюватися на різних рівнях. Умовно всі фактори можна поділити на такі групи:

- 1) фактори, що характеризують конструкцію автомобіля (вага автомобіля, характеристики трансмісії, фактор обтічності та ін.);
- 2) фактори, що характеризують технічний стан автомобіля (справність робочих систем автомобіля – паливної, гальмівної, ходової, трансмісії та ін.);
- 3) фактори, що характеризують професійні здібності водія (професійна кваліфікація, стаж роботи, вік водія);
- 4) фактори, що характеризують економічну обстановку на міських вулицях та дорогах (інтенсивність та склад руху);
- 5) фактори, що характеризують дорожні умови (розміри геометричних елементів вулиць і доріг, плану та поздовжнього профілю, організація дорожнього руху на них, погодно-кліматичні умови, їх транспортно-експлуатаційний стан та ін.).

При побудові математичної моделі прогнозування собівартості перевезень фізичні значення факторів першої групи можуть бути прийняті за заводськими технічними характеристиками транспортних засобів.

Фактори, що характеризують технічний стан автомобіля та професійні здібності водія, є випадковими і мало вивченими, їх відносять до області експлуатації автомобіля, тому будемо вважати, що вони задані в оптимальних співвідношеннях, тобто в таких, які сприятливо впливають на реалізацію тягово-швидкісних якостей автомобілів.

Інтенсивність та склад руху на міських вулицях і дорогах враховують шляхом прямого їх обліку.

Підгрупи факторів, що характеризують геометричні параметри міських доріг та вулиць і організацію дорожнього руху, приймаємо постійними, оскільки нами розглядається період, упродовж якого вони не змінюються.

Вплив погодно-кліматичних умов на собівартість перевезень завжди має місце та є неконтрольованим. З метою його послаблення процес формування собівартості перевезень нами умовно розглядається за сприятливих погодно-кліматичних умов.

Основними показниками підгрупи факторів, які характеризують транспортно-експлуатаційний стан міських вулиць і доріг, є рівність їх проїзної частини та коефіцієнт зчеплення коліс із проїзною частиною.

Рівність проїзної частини впливає на процес реалізації тягово-швидкісних та паливно-економічних показників роботи автомобілів. Цей показник відносять до групи управляємих характеристик, який регулюється системою дорожніх ремонтно-відновлювальних робіт.

Відносно коефіцієнта зчеплення можна стверджувати, що при деяких його допустимих значеннях $\varphi_{дон} \geq 0,35$ вплив його на реалізацію тягово-швидкісних характеристик автомобілів практично перестає бути вагомим. На основі досліджень [1, 2], можна стверджувати, що значення φ міських доріг і вулиць в переважній більшості перевищує допустиме значення ($\varphi_{дон}$), тому у подальшому вплив цього фактора не розглядається.

Таким чином, основним управляємим фактором, який впливає на процес формування собівартості перевезень на міських вулицях і дорогах є показник рівності їх проїзної частини.

Вивчення природи процесу зміни стану проїзної частини міських вулиць і доріг дозволило зробити такі висновки. Деградація стану дорожніх одягів – це негативний процес, який є монотонно зростаючим у часі. Його протікання передусім пов'язане з процесами втомлювання в шарах дорожніх конструкцій, які зумовлені комплексною дією великої кількості факторів різної природи. Основними із них є: запас міцності дорожнього одягу по відношенню до існуючого руху та неоднорідність його міцнісних властивостей; вантажний режим роботи одягу; міцнісні властивості матеріалів; ґрунтово-гідрологічні і погодно-кліматичні умови його служби та ін. За результатами аналізу досліджень встановлено, що фізичну суть процесу зміни рівності проїзної частини доріг в часі найбільш повно розкриває математична модель, яку

розроблено для умов служби замських доріг і яку використано в розробленій під керівництвом проф. Кизими С.С. та впровадженій в системі Укравтодору системі управління станом покриттів (СУСП). Остання має вигляд

$$S(t) = S_0 + \alpha \cdot t \cdot \exp(c \cdot t), \quad (1)$$

де S_0 – початкове значення показника рівності проїзної частини, см/км;
 α – комплексний параметр, який враховує властивості дорожньої конструкції і умови її роботи, визначається як функціонал параметрів: $K_{зм}$ – коефіцієнта запасу міцності дорожнього одягу; $K_{н}$ – коефіцієнта неоднорідності міцності одягу; $h_{зв}$ – зведеної до асфальтобетону товщини верхніх зв'язних шарів одягу; τ – показника структурної міцності несучого дискретного шару одягу; δ , η – коефіцієнтів, які враховують дорожньо-кліматичну зону та тип місцевості за характером зволоження; N_p – інтенсивності руху в розрахункових осьових навантаженнях групи А₂; B_c – ширини смуги руху, м.;

q – показник середньорічного приросту руху на дорозі.

Враховуючи однакову природу процесу деградації рівності проїзної частини доріг у замських і в міських умовах, модель (1) використано нами в якості базової для міських умов. Специфічні міські умови, до яких передусім треба віднести наявність на проїзній частині вулиць і доріг люків колодязів інженерних мереж, запропоновано враховувати параметром k як функції щільності розташування колодязів на проїзній частині n , шт./км.

Математичний зв'язок $k = f(n)$ було встановлено на основі експериментальних досліджень. Результати проведених досліджень наведені в [3]. Отримана формула має вигляд:

$$k = 1,0 + 0,006 \cdot n. \quad (2)$$

З використанням (2) відкоригована базова модель (1)

$$S(t) = S_0 + (1 + 0,006 \cdot n) \cdot \alpha \cdot t \cdot \exp(c \cdot t). \quad (3)$$

Основна стаття витрат на автоперевезення, за даними автогосподарств, складається із вартості пального, витрат на гуму і ремонту. Інші витрати складають близько 10 – 20 % від суми попередніх [4]. Тому для визначення собівартості перевезень нами використана формула:

$$a = \gamma(p + r) + \frac{\beta}{V} + \frac{\delta}{l}, \quad (4)$$

де γ – коефіцієнт пропорційності між парковими витратами і витратами на пальне та гуму;

p, r – відповідно вартість витраченого автомобілем палива та зносу гуми;

V, l – відповідно швидкість руху і плече пробігу автомобіля;

β і δ – коефіцієнти, що характеризують організацію автогосподарств. За даними [5] їх приймають рівними $\beta \approx 0,9$, $\delta \approx 0,25$.

Собівартість перевезень в (4) представлена у вигляді двох складових. Перша – змінна, яка залежить від взаємодії автомобіля з проїзною частиною дороги і враховує в собі вплив її транспортно-експлуатаційного стану на собівартість перевезень, і друга, яка мало пов'язана з цією взаємодією, тому практично не впливає на зміну a .

Паркові витрати в (4) враховані коефіцієнтом пропорційності γ між сумою витрат на пальне та гуму, їх визначають за формулою:

$$\gamma = 1,745 + 0,0011 \cdot S. \quad (5)$$

Вплив рівності проїзної частини на собівартість перевезень у (4) враховано зміною параметрів V, p, r . Тому завдання побудови математичної моделі процесу з врахуванням проведеного аналізу практично зводиться до пошуку окремих залежностей:

$$V = j(S, z), \quad (6)$$

де z – коефіцієнт завантаженості проїзної частини рухом;

$$p = \psi(V, S), \quad (7)$$

$$r = \varphi(S). \quad (8)$$

Розглянемо окремо кожний із виразів.

Дослідженням впливу транспортно-експлуатаційного стану доріг на швидкісні режими руху автомобілів присвячено роботи багатьох учених, однак практично всі вони проводилися в умовах служби доріг загального користування. Формування цього процесу в умовах міських населених пунктів має ряд своїх особливостей, до яких можна віднести: систему організації дорожнього руху (обмеження швидкості руху автомобілів, наявність світлофорних об'єктів та нерегульованих пішохідних переходів); параметри геометричних елементів (багатосмуговість проїзної частини, наявність перехресть); склад руху (наявність у транспортних потоках пасажирського та іншого спеціального транспорту); високу насиченість інформаційного потоку, який активно впливає на водіїв тощо. Поставлена задача вирішувалася в межах дисертаційного дослідження автора [3].

Дослідження швидкісних режимів руху автомобілів проводили у два етапи. І-й етап полягав у перевірці прийнятої гіпотези про близькість розподілу швидкостей руху автомобілів у поперечних перетинах міських вулиць і доріг до нормального. Перевірка експериментальних даних за λ -критерієм Колмагорова підтвердила прийняту гіпотезу. Виходячи з цього, на II-у етапі визначали характеристики розподілів миттєвих швидкостей руху автомобілів MV і σ_v і будували математичні вирази їх зміни в залежності від рівності проїзної частини та рівня завантаженості ділянок рухом z . Конкретний вигляд функцій $MV^m = f(S, z)$ і $\sigma_v^m = f(S, z)$, де m - група міських вулиць і доріг (А, Б, В), встановлювали на основі кореляційного аналізу. При апроксимуванні зв'язків $MV^m = f(S, z)$ і $\sigma_v^m = j(S, z)$ встановлено, що емпіричним даним найкраще відповідають залежності виду $MV^m = MV_0^m \cdot \exp(-b^m \cdot z)$ і $\sigma_v^m = \sigma_0^m - k^m \cdot z$ відповідно. За результатами оброблення даних були отримані математичні моделі (9) – (11) для визначення параметрів швидкісних режимів руху автомобілів на міських вулицях і дорогах різних груп:

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 MV^A &= 110,2 \cdot \exp[-0,0036 \cdot S_{cz} - (0,654 - 0,00338 \cdot S_{cz}) \cdot z] \\
 \sigma_V^A &= (16,79 - 0,0477 \cdot S_{cz}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right)
 \end{aligned} \right\}, \\
 (9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 MV^B &= 91,09 \cdot \exp[-0,0023 \cdot S_{cz} - (0,555 - 0,0021 \cdot S_{cz}) \cdot z] \\
 \sigma_V^B &= (13,43 - 0,0372 \cdot S_{cz}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right)
 \end{aligned} \right\}, \\
 (10)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 MV^B &= 87,7 \cdot \exp[-0,00234 \cdot S_{cz} - (0,875 - 0,00223 \cdot S_{cz}) \cdot z] \\
 \sigma_V^B &= (11,96 - 0,0316 \cdot S_{cz}) \cdot \left(1 - \frac{z}{1,1}\right)
 \end{aligned} \right\}. \\
 (11)
 \end{aligned}$$

де S_{cz} - середньозважений показник рівності міських вулиць і доріг з багатосмуговою проїзною частиною.

Математичні моделі для визначення S_{cz} для міських вулиць і доріг з різною кількістю смуг руху наведені в [3].

Вартість витраченого автомобілем палива визначають за формулою

$$p = K \cdot Q \cdot c, \quad (12)$$

де K – коефіцієнт, який враховує збільшення витрат автомобілями палива при зменшенні відстані між перехрестями;

Q, c – витрати палива, л/км та його вартість за 1 літр відповідно.

За даними [6] вплив відстані між перехрестями на витрати автомобілями палива практично перестає бути вагомим при $L > 600$ м. З проведених раніше досліджень відомо, що витрати палива при зменшенні відстані між перехрестями з 600 до 200 м збільшуються близько на 30 %. Використовуючи ці крайові умови і приймаючи закономірність зміни p від відстані між перехрестями за лінійну, формула для визначення K має вигляд

$$K = 1,6 - 10^{-3} \cdot l, \quad (13)$$

де l – відстань між перехрестями, м. При $l > 600$ м, приймають $K=1$.

Для побудови математичного зв'язку між показниками паливної економічності роботи автомобілів та рівністю проїзної частини міських доріг

використаємо відому із теорії автомобіля формулу, в якій витрати палива на одиницю пробігу автомобіля пов'язані з поточною ефективною потужністю, яку витрачає їх двигун. Формула має вигляд

$$Q = \frac{N_e \cdot g_e}{V \cdot \rho_n}, \text{ літр./км} \quad (14)$$

де N_e – поточна ефективна потужність двигуна, кВт ; g_e – поточні питомі витрати палива, г/е.к.с.год ; V – швидкість руху автомобіля, в км/год ; ρ_n – об'ємна вага пального, г/літр.

В [7] детально описано процес побудови математичних моделей прогнозування витрат економічно-розрахунковим автомобілем палива в літрах/100км у залежності від середньозваженого показника рівності проїзної частини міських вулиць і доріг та рівня завантаженості їх рухом. Останні мають вигляд:

- для міських вулиць і доріг групи А

$$Q_e^A = \left[(-1,022 \cdot \ln S_{сз} + 5,203) \cdot z^2 + (2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{сз}^2 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot S_{сз} - 0,1226) \cdot z + \right. \\ \left. + 5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{сз}^2 - 0,0039 \cdot S_{сз} + 10,88 \right]; \quad (15)$$

- для міських вулиць і доріг групи Б

$$Q_e^B = (3 \cdot 10^{-5} \cdot S_{сз}^2 + 0,005 \cdot S_{сз} + 0,35) \cdot z + 0,008 \cdot S_{сз} + 10,126; \quad (16)$$

- для міських вулиць і доріг групи В

$$Q_e^B = (0,005 \cdot S_{сз} + 10,678) \cdot \exp[(7 \cdot 10^{-4} \cdot S_{сз} - 0,031) \cdot z]. \quad (17)$$

В табл. 1 наведено значення коефіцієнтів приведення автомобілів різних вагових груп до економічно-розрахункового.

Витрати на гуму в (1.4) залежать від умов, які визначають інтенсивність її зносу. Загальна формула для визначення вартості амортизації гуми має вигляд

$$r = c' \cdot r_{відн}, \quad (18)$$

де c' – вартість амортизації гуми на 1км її пробігу в хороших умовах;
 $r_{відн}$ – коефіцієнт, який враховує збільшення відносного зносу гуми при погіршенні рівності проїзної частини міських вулиць і доріг.

Вартість амортизації гуми c' на 1км її пробігу в хороших умовах визначають за формулою

$$c' = \frac{c'' \cdot n}{L_{норм}}, \quad (19)$$

де $c'' \cdot n$ – вартість комплекту гуми транспортного засобу;
 $L_{норм}$ – середня норма пробігу комплекту гуми.

Таблиця 1 – Значення групових коефіцієнтів приведення транспортних засобів різних вагових груп до економічно-розрахункового автомобіля

Категорія транспортного засобу та його вагова група		Розмір коефіцієнта приведення - ξ_u
Легкові автомобілі	Малі	1,0
	Середні	1,31
Вантажні автомобілі	Легкі	1,61
	Середні	2,80
	Важкі	2,38
	Напівпричепи	4,99
Автобуси	Середні	2,17
	Важкі	3,28
Тролейбуси	-	3,46

З аналізу довідкової літератури, а також звітних даних автогосподарств [8] зробили висновок, що із погіршенням рівності проїзної частини до незадовільної – $S \approx 250$ см/км, відносний знос гуми збільшується близько в 1,45 рази. Приймаючи пряmolінійну залежність збільшення відносного зносу гуми з погіршенням рівності проїзної частини, після певних математичних перетворень математична формула для його визначення приймає вигляд

$$r_{відн} = 1 + 0,0018 \cdot S. \quad (20)$$

Підставивши (19) і (20) в (18), формула для визначення вартості амортизації гуми в залежності від рівності проїзної частини міських вулиць і доріг прийме вигляд

$$r = \frac{c' \cdot n}{L} \cdot (1 + 0,0018 \cdot S). \quad (21)$$

Таким чином, із врахуванням формул (4), (5), (12), (14), (21), (3) а також математичних моделей (9) – (11) та (15) – (17), економіко-математична модель для прогнозування собівартості перевезень економічно-розрахункового автомобіля на міських вулицях і дорогах різних груп в залежності від стану,

властивостей дорожніх конструкцій та умов їх служби *грн./маш.км* приймає вигляд

$$\left. \begin{aligned}
 a_e^m [S_{c3}(t), z] &= \gamma [S_{c3}(t)] \cdot \{K(l) \cdot c \cdot Q_e^m [S_{c3}(t), z] + r_e [S_{c3}(t)]\} + \frac{\beta}{MV^m [S_{c3}(t), z]} + \frac{\delta}{l}; \\
 \gamma [S_{c3}(t)] &= 1,745 + 0,0011 \cdot S_{c3}(t); \\
 K(l) &= 1,6 - 10^{-3} \cdot l, \quad l \leq 600 \text{ м. При } l > 600 \text{ м приймають } K = 1; \\
 S_{c3}(t) &= \frac{\sum_{i=1}^m [S_i(t) \cdot \%N_i]}{100}; \\
 S_i(t) &= S_0 + k_i \cdot \alpha \cdot t \cdot \exp(c \cdot t); \\
 k_i &= 1 + 0,006 \cdot n_i; \\
 \alpha &= \frac{0,57 \cdot (7,62 - B_c) \cdot \eta \cdot \delta \cdot t}{(h_{36} - 2)^{0,6} \cdot K_n \cdot \sqrt{(K_{3M} - 0,7)^3 \cdot \tau}} \cdot \exp \left[\frac{0,87 \cdot (K_{3M} - 0,7) -}{-0,023 \cdot h_{36} + 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot N_p} \right]; \\
 c &= 0,02 + 0,0035 \cdot q; \\
 r_e [S_{c3}(t)] &= \frac{c'' \cdot 4}{L_{норм}} \cdot [1 + 0,0018 \cdot S_{c3}(t)]; \\
 z &= \frac{N_{\text{з.л.}}}{P_{\text{max}}}; \\
 &\text{— для міських вулиць і доріг групи А} \\
 Q_e^A [S_{c3}(t), z] &= \left\{ [-1,022 \cdot \ln S_{c3}(t) + 5,203] \cdot z^2 + \left[\frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2(t) -}{-6 \cdot 10^{-4} \cdot S_{c3}(t) - 0,1226} \right] \cdot z + \right. \\
 &\quad \left. + 5 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2(t) - 0,0039 \cdot S_{c3}(t) + 10,88 \right\}; \\
 &\text{— для міських вулиць і доріг групи Б} \\
 Q_e^B [S_{c3}(t), z] &= [3 \cdot 10^{-5} \cdot S_{c3}^2(t) + 0,005 \cdot S_{c3}(t) + 0,35] \cdot z + 0,008 \cdot S_{c3}(t) + 10,126; \\
 &\text{— для міських вулиць і доріг групи В} \\
 Q_e^B [S_{c3}(t), z] &= [0,005 \cdot S_{c3}(t) + 10,678] \cdot \exp \left\{ [7 \cdot 10^{-4} \cdot S_{c3}(t) - 0,031] \cdot z \right\};
 \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Висновки

Результати дослідження дозволили встановити математичні зв'язки між собівартістю автотранспортних перевезень та параметрами і показниками, які характеризують властивості та умови роботи дорожніх конструкцій міських вулиць і доріг. Таким чином, це забезпечило можливість прогнозування зміни собівартості перевезень в залежності від реалізації конкретних управляючих дій, а саме різних видів та варіантів дорожньо-ремонтних робіт для підвищення

їх обґрунтованості у процесі формування міськими дорожніми господарствами програм ремонтів.

Розроблена економіко-математична модель покладена в основу методики техніко-економічного обґрунтування програм ремонтно-відновлювальних робіт на вулично-дорожніх мережах міських населених пунктів.

Література

1. Андреев С.І. Прогнозування зчпних якостей проїзної частини доріг / Андреев С.І., Охрименко В.Д. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. праць : Вип. 44. – К. : КАДІ, 1988. – С. 24 – 25.
2. Павлюк Д.О. Визначення залежності коефіцієнта зчеплення від швидкості / Павлюк Д.О., Кизима С.С., Андреев С.І. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. праць : Вип. 42. – К. : КАДІ, 1988. – С. 99 – 101.
3. Роман С.В. Удосконалення методів обґрунтування ремонтно-експлуатаційних робіт на вулично-дорожніх мережах міських населених пунктів : дис. на здобуття наукового ступеню канд. техн. наук: спец. 05.22.11 / Роман Сергій Вікторович. – К., 2009. – 240 с.
4. Варенцов И.Б. Эмпирическая формула себестоимости перевозок / Варенцов И.Б. // Организация автомобильных перевозок и безопасности движения : труды МАДИ : Вып. 12. – М. : Транспорт, 1975. – С. 80 – 82.
5. Кизима С.С. Исследование изменение ровности нежестких дорожных одежд в условиях УССР как показателя их качества : дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.22.10 «Автомобильные дороги» / Кизима С.С. – К., 1975. – 249 с.
6. Шилова Т.А. Обоснования мероприятий по улучшению условий движения на улично-дорожных сетях городов с учетом расхода топлива : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.14 «Строительство автомобильных дорог» / Шилова Т.А. – К., 1987. – 149 с.
7. Роман С.В. До прогнозування витрат автомобілями палива в залежності від стану проїзної частини в умовах дорожніх мереж міських населених пунктів / Роман С.В., Кизима С.С. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво : зб. наук. праць : Вип. 86. – К. : НТУ, 2012. – С. 88 – 99.
8. Справочник инженера-автомобилиста автомобильного транспорта : [справочник] : под ред. проф. Голованенка С.Л. – К. : Техника, 1991. – 351 с.

Нечитайло Н.О.

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ ЗСУВОСТІЙКОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ

Анотація. У статті наведені основні принципи розрахунку асфальтобетонних шарів на зсувостійкість. Вперше запропоновано використовувати критерій міцності Писаренко – Лебедева (2) для розрахунку асфальтобетону як термопластичного матеріалу. Визначені розрахункові характеристики для аналізу асфальтобетонних шарів по прийнятому критерію міцності.

Ключові слова: критерій міцності, асфальтобетон як термопластичний матеріал, напружено-деформований стан, фізико-механічні характеристики асфальтобетону.

Аннотация. В статье приведены основные принципы расчета асфальтобетона на сдвигустойчивость. Впервые предложено использовать критерий Писаренко – Лебедева (2) для расчета асфальтобетона как термопластичного материала. Определены расчетные характеристики для анализа асфальтобетонных слоев по принятому критерию прочности.

Ключевые слова: критерий прочности, асфальтобетон, как термопластичный материал, напряженно – деформированное состояние, физико – механические свойства асфальтобетона.

Annotation. This article describes the basic principles for the calculation of the asphalt layers at shearing strength. At the first time suggested that the criterion of Pisarenko-Lebedeva II for the calculation of the asphalt concrete as thermoplastic material. Calculated characteristics are defined for the analysis of asphalt layers on the adopted criterion of strength.

Key words: strength criterion, asphalt concrete as thermoplastic material, stress-strained states, physical and mechanical properties.

Властивості асфальтобетону тісно пов'язані з температурою, матеріал є термопластичним. При підвищених експлуатаційних температурах для асфальтобетону характерні пластичні деформації - зсуви, колія, і перехід у в'язко-пластичний стан. Забезпечення зсувостійкості асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів, в основному, виконується за рахунок використання експериментального підбору асфальтобетонних сумішей, які менше здатні до колієутворення під навантаженням.

Існуючі методи розрахунку монолітних шарів нежорстких дорожніх одягів базуються на теоріях міцності, які враховують крихкий стан матеріалу, що характерне для роботи асфальтобетону при низьких температурах. Такий підхід законодавчо закріплений нормативними документами [1]. Але він не відтворює реальні умови механізмів руйнування асфальтобетону.

Асфальтобетон, який працює в широкому діапазоні експлуатаційних температур, може знаходитись у різних станах – і у крихкому, і у пластичному. Для крихкого стану матеріалу при від'ємних температурах і до 0°C - $+10^{\circ}\text{C}$, характерне руйнування відривом, за рахунок дії нормальних розтягуючих напружень. Для пластичного при високих позитивних температурах – зрізом або зсувом, за рахунок дії дотичних зсуваючих напружень. Тому для асфальтобетонів у різних станах слід застосовувати різні схеми руйнування.

Методи розрахунку монолітних шарів дорожніх одягів на міцність в більшості країн і на Україні передбачають застосування першої або другої теорії міцності для оцінки міцності асфальтобетонних шарів на розтяг при згині, такий підхід законодавчо закріплений нормативними документами [1]. Але такий підхід відтворює тільки механізми руйнування асфальтобетону як для крихкого стану матеріалу, і руйнуванню тільки на відрив. Таким чином застосування в існуючих нормативних документах єдиної теорії міцності і руйнування для асфальтобетону не допустимо. У існуючих методиках розрахунків асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу в Україні відсутні розрахунки на зсувостійкість. Опір зсуву визначається лише побічно, шляхом експериментальних досліджень конструкцій дорожнього одягу на колієутворення.

До теперішнього часу недостатньо проведено системних досліджень і теоретичних обґрунтувань оцінки зсувостійкості асфальтобетону, як термопластичного структурно-неоднорідного матеріалу і в Україні, і в інших країнах СНД. Це свідчить про актуальність наукового дослідження.

Недоліки теорій міцності, які використовують для розрахунку асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів, а також поява нових теорій міцності, дає можливість вибору такої теорії для асфальтобетону, яка б максимально враховувала всі його властивості. Більшість нових теорій оснований на виборі такої форми граничної поверхні, що дозволяє врахувати поведінку матеріалу в умовах складного напруженого стану і різний опір матеріалу розтягу і стиску.

Для асфальтобетону як структурно – неоднорідного матеріалу не підходять класичні і навіть деякі узагальнюючі теорії міцності. З урахуванням структурно-текстурних особливостей асфальтобетону, вперше запропоновано і обґрунтовано застосування узагальнюючій теорії (критерій) Писаренко – Лебедєва (2). В критерії Писаренко – Лебедєва (2) враховані механізм руйнування, стан матеріалу і міцність. Фізико – механічні властивості асфальтобетону оцінюють основними фізико - механічними показниками, які визначаються експериментами на одновісний стиск, розтяг і кручення [2]. Міцність асфальтобетонних шарів на зсувостійкість за критерієм Писаренко – Лебедєва (2):

$$\chi \times \sigma_i + (1 - \chi) \times \sigma_1 \times A^{(1 - \frac{3 \times \sigma_{\bar{n}\bar{o}}}{\sigma_i})} \leq |\sigma_+| \quad (1)$$

$$\text{де } \chi = \frac{R_{\delta\bar{i}\zeta}}{R_{\bar{n}\bar{o}}};$$

$R_{\delta\bar{i}\zeta}$ – міцність асфальтобетону на розтяг, МПа;

$R_{\bar{n}\bar{o}}$ – міцність асфальтобетону на стиск, МПа;

σ_i – еквівалентні напруження за енергетичною теорією міцності, МПа;

$|\sigma_+|$ – граничні напруження на розтягування, МПа;

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \quad (2)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження, МПа ;

$$A = \frac{\frac{R_{\delta\bar{i}\zeta}}{\tau_{\bar{e}}} - 1,732 \times \chi}{1 - \chi} \quad (3)$$

де τ_k – міцність асфальтобетону на кручення, МПа;

$$\sigma_{\text{нв}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (4)$$

Для вирішення поставленої в дослідженні задачі оцінки зсувостійкості за критерієм Писаренко – Лебедева (2) необхідно провести попередній аналіз і встановити об'єм і структуру безпосередньо вихідної інформації і похідні від неї розрахункові параметри. Критерій Писаренко – Лебедева (2) складається з двох різних за походженням груп параметрів [3].

Перша група параметрів характеризує напружено-деформований стан прийнятої конструкції і носить чисто розрахунковий характер. При вирішенні цієї задачі визначають головні напруження $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ на найбільш небезпечних перетинах конструкції пакету асфальтобетонних шарів; еквівалентне напруження за IV (енергетичною) теорією міцності і середнє арифметичне головних напружень.

Як, відомо для вирішення подібних задач використовується рішення лінійної або нелінійної теорії пружності. В якості математичного апарату, у теперішній час, найбільш придатним є метод кінцевих елементів. Для заданих умов асфальтобетон прийнято як в'язко-пружне тіло, що працює в стадії зворотних (пружних) деформацій, і приймається як квазіоднорідне, квазіізотропне. Теоретичною основою є теорія пружності, а в'язкі властивості враховуються конкретними температурою і часом дії навантаження. Для практичної реалізації розрахунків напружено-деформованого стану за теорією пружності необхідно реальну конструкцію дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям привести до певної розрахункової схеми, яка б відповідала поставленій задачі.

У нашому випадку багатошарову конструкцію дорожнього одягу доцільно привести до розрахункової схеми, де верхні два – три шари є асфальтобетонними шарами покриття, а всі нижче розташовані шари замінити на еквівалентний напівпростір. Для такого приведення необхідно задати конструкцію дорожнього одягу з конкретними товщинами і модулями шарів.

Крім того, значний вплив на напружено-деформований стан конструкції мають параметри розрахункового навантаження, які необхідно визначити для фактичних умов руху транспортного потоку.

Для аналізу напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетонів необхідна більш детальна інформація. Вона відноситься до визначення модулів пружності і коефіцієнта Пуассона асфальтобетонних шарів при розрахунково - експлуатаційних температурах.

Друга група параметрів у критерії Писаренко – Лебедева (2) стосується фізико-механічних характеристик асфальтобетону шарів покриття. Згідно структури прийнятого критерію міцності необхідно мати показники міцності асфальтобетону за трьома різними методами випробувань: міцність на одновісний стиск і розтяг, і міцність на кручення. Третім випробуванням крім кручення може бути випробування на чистий зріз, але з певних міркувань, нами було вибрано випробування на кручення. Характеристики міцності асфальтобетону шарів покриття не залишаються постійними на весь період експлуатації, а залежать від розрахункової температури і інтенсивності навантаження, що також необхідно враховувати.

На підставі безпосередніх вихідних даних визначено розрахунково - експериментальні параметри: температура шарів покриття, вид і характер розрахункового навантаження; розрахункові характеристики пружності і міцності матеріалу шарів.

Для визначення даних першої групи було проведено моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетону як термопластичного матеріалу в програмі ANSYS. В результаті проведеного аналізу епюр напружень і таблиць розрахунків було встановлено:

- найбільше значення по абсолютній величині еквівалентних напружень може бути або по вісі штампа ($\chi=0$), або на відстані $0,6D$ від вісі штампа;
- при завантаженні вертикальним навантаженням епюри симетричні і не має значення на якій ділянці епюри визначати еквівалентне напруження;
- при дії вертикального і горизонтального навантаження небезпечним є перетин по вісі штампа ($\chi=0$) і на відстані $0,6D$ на ділянці завантаження ($\chi=-0,6D$).

На підґрунті всього масиву результатів моделювання були розроблені розрахункові таблиці для визначення напружень в конструкції при дії вертикального і комплексного вертикального + горизонтального навантаження. Головні напруження ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_m$) визначаються для прийнятої розрахункової схеми за розрахунковими таблицями [3].

Для визначення даних другої групи було проведено експериментальне дослідження міцностних характеристик асфальтобетону при високих розрахункових температурах [3]. По результатах експериментальних досліджень були вирішені наступні задачі:

- встановлено значення граничної міцності асфальтобетону на одновісний стиск і розтяг в залежності від часу дії навантаження і від температури асфальтобетону;

- встановлено загальний порядок і умови методики випробування асфальтобетону на стиск, розтяг і кручення;
- визначена межа міцності при довготривалому і короточасному навантаженні зразків;
- визначена міцність асфальтобетонів на розтяг.

Крім того, вперше теоретично обґрунтовано визначення міцності на розрив за результатами випробування асфальтобетону на кручення. Запропонована методика визначення міцності асфальтобетону на розрив. Обґрунтовано і визначено значення розрахункового навантаження в залежності від умов руху. Запропоновано доповнити районування території України даними за зсувонебезпечними періодами.

Отримані результати досліджень були впроваджені в М 218-02071168 - 681:2011 «Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість» [4], яка визначає порядок оцінки міцності асфальтобетонних шарів покриття нежорсткого дорожнього одягу на зсувостійкість.

Методика включає визначення розрахункового навантаження, визначення розрахункової температури шарів покриття, визначення розрахункових характеристик асфальтобетону і розрахунок асфальтобетонних шарів на зсувостійкість. Завдання розрахунку - оцінка зсувостійкості асфальтобетонних шарів по прийнятому критерію міцності і вибір матеріалу з відповідними фізико - механічними характеристиками при заданій товщині шарів або розробка іншої конструкції, що відповідає вимогам міцності на зсув.

Література

1. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3-218-186 2004 – Офіц. вид – К. : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2004 – 176 с. – (Національний стандарт України).
2. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии. / Писаренко Г.С., Лебедев А.А. – К.: Наукова думка, 1976. – 415 с.
3. Ряпухін В.М., Нечитайло Н.О. Вдосконалення методів розрахунку асфальтобетонних шарів нежорстких дорожніх одягів з урахуванням їх термопластичних властивостей / В.М. Ряпухін, Н.О. Нечитайло // Інноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва: Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів, 25-26 жовтня 2012 р.: стаття - Луцьк, вип.5 частина 3, с.108-112.
4. М 218-02071168-681:2011. Методика розрахунку асфальтобетонних шарів на зсувостійкість. – Офіц. вид – К. : Державна служба автомобільних доріг України «Укравтодор», 2011. – 66 с.

Сєдов А.В., канд. техн. наук, Фоменко О.О.

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ В УМОВАХ ВІД'ЄМНИХ ТЕМПЕРАТУР

Анотація. У статті розглянуті особливості технології влаштування асфальтобетонних шарів в умовах від'ємних температур. Наведені результати лабораторних досліджень по визначенню основних теплофізичних характеристик асфальтобетону залежно від його складу; визначенню темпу охолодження асфальтобетону залежно від температури повітря, швидкості вітру і наявності на його поверхні теплоізолятора.

Ключові слова: асфальтобетон, від'ємна температура, теплофізичні характеристики, темп охолодження, теплоізолятор, коефіцієнт теплопровідності, об'ємна теплоємність, темп остигання.

Аннотация. В статье рассмотрены особенности технологии устройства асфальтобетонных слоев в условиях отрицательных температур. Приведены результаты лабораторных исследований по определению основных теплофизических характеристик асфальтобетона в зависимости от его состава; определению темпа остывания асфальтобетона в зависимости от температуры воздуха, скорости ветра и наличия на его поверхности теплоизолятора.

Ключевые слова: асфальтобетон, отрицательная температура, теплофизические характеристики, темп остывания, теплоизолятор, коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость, темп остывания.

Annotation. The article describes the features of the technology unit of asphalt layers in freezing temperatures. The results of laboratory studies to determine the basic thermal properties of asphalt concrete, depending on its composition, the definition of the rate of cooling of asphalt, depending on air temperature, wind speed and the presence on the surface of insulation.

Key words: asphalt, negative temperature, thermal characteristics, the rate of cooling, heat insulator, the thermal conductivity and volumetric heat capacity, the rate of cooling.

Підвищення ефективності будівництва автомобільних доріг можливо за рахунок продовження будівельного періоду з подальшим переходом на цілорічне дорожнє будівництво. Вузким місцем у цьому питанні є будівництво асфальтобетонних покриттів з гарячих асфальтобетонних сумішей при від'ємних температурах повітря.

За існуючими нормами влаштування таких покриттів повинно здійснюватися при температурі повітря не нижче плюс 5 °С весною і плюс 10 °С восени. Дослідження, що проводяться впродовж ряду років, показують, що влаштування асфальтобетонних покриттів технічно можливо і при від'ємних температурах повітря.

Охолодження асфальтобетонного шару в процесі його укладання і ущільнення по висоті відбувається нерівномірно. При цьому змінюються теплофізичні характеристики матеріалу залежно від його температури і щільності, погіршується ущільнення асфальтобетонних сумішей по мірі зниження температури. Тому в задачі досліджень входило:

- визначити основні теплофізичні характеристики асфальтобетону залежно від його складу;
- визначити темп охолодження асфальтобетону по висоті перетину залежно від температури повітря, швидкості вітру і наявності на його поверхні тепло ізолятора.

Методика випробувань наступна. Формувалися асфальтобетонні зразки розміром 50х50 мм і 70х70 мм. В центрі зразків висвердлювали отвір діаметром 3 мм до їх середини, в яке вводили хромель-копелеву термопару. Отвір засипали гарячою сумішшю і ретельно затрамбовували, а зверху заливали бітумом.

Підготовлені таким чином зразки поміщали в термостат і нагрівали до температури плюс 140 °С, плюс 150 °С. Після чого зразки остигали на повітрі з теплоізолятором і без нього. З метою імітації дії вітру на остигаючий зразок проводили обдування його вентилятором. Швидкість вітру вимірювалася анемометром і складала 3 м/с. Зниження температури в часі в процесі охолодження зразка оцінювалося за допомогою чутливого потенціометра Р-348.

За отриманими в результаті даними обчислювалися теплофізичні характеристики асфальтобетону і середній темп охолодження зразків.

Коефіцієнт теплопровідності

$$a = \frac{h^2 R^2}{\pi^2 R^2 + 2,048^2 h^2} J, \text{ м}^2/\text{год}, \quad (1)$$

де h, R – висота та радіус зразка, м;

Об'ємна теплоємність

$$C = \rho(C_m + C_6 \frac{Б}{100}), \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \text{град}}, \quad (2)$$

де ρ – середня щільність зразка, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_m – питома теплоємність мінеральної частини асфальтобетону, $\text{ккал}/\text{кг} \cdot \text{град}$;

C_6 – питома теплоємність бітуму, $\text{ккал}/\text{кг} \cdot \text{град}$;

Б – вміст бітуму в зразку, %.

Коефіцієнт теплопровідності

$$\lambda = c \cdot a, \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{град}}. \quad (3)$$

Темп остигання

$$J = \frac{t_k - t_6}{a_v \sqrt{h^3}}, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{хвил}, \quad (4)$$

де t_k – температура зразка, яка відповідає допустимому її значенню для закінчення ущільнення, $^\circ\text{C}$;

t_6 – температура повітря, $^\circ\text{C}$;

a_v – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру, $1/\text{хвил} \cdot \text{см}^{2/3}$.

Результати експерименту приведені в таблицях 1-4.

Таблиця 1 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі плюс 5 °С і швидкості вітру 3 м/с

Вид асфальтобетону № випробування	Марка в'язучого та його вміст, %	Щільність, ρ , кг/м ³	Темп остиган., J , °С/м	Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год	Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град
Крупнозернистий	БНД 130/200				
№6	6,5	2240	2,34	0,186	0,17
№7	7,5	2300	2,10	0,177	0,16
Дрібнозернистий	БНД 130/200				
№11	6,0	2180	2,13	0,22	0,21
№12	7,5	2210	1,96	0,21	0,21
Дрібнозернистий	БНД 130/200				
№34	7,0	2160	2,17	0,23	0,23
№35	7,0	2180	2,13	0,22	0,22
№36	7,0	2210	2,06	0,22	0,22
№37	7,0	2240	2,01	0,21	0,21
Дрібнозернистий	БНД 60/90				
№22	6,0	2200	1,71	0,19	0,18
№23	7,5	2240	1,53	0,17	0,17
Дрібнозернистий	БНД 40/60				
№16	6,5	2320	1,64	0,18	0,18
№17	7,5	2410	1,49	0,17	0,16

Таблиця 2 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі мінус 5 °С швидкості вітру 3 м/с

Вид асфальтобетону № випробування	Марка в'язучого та його вміст, %	Щільність, ρ , кг/м ³	Темп остиган., J , °С/м	Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год	Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град
Крупнозернистий	БНД 130/200				
№6	6,5	2240	2,46	0,23	0,22
№7	7,5	2300	2,40	0,22	0,24
Дрібнозернистий	БНД 130/200				
№11	6,0	2180	2,93	0,27	0,26
№12	7,5	2210	2,76	0,26	0,25
Дрібнозернистий	БНД 130/200				
№34	7,0	2160	2,97	0,29	0,27
№35	7,0	2180	2,87	0,27	0,26
№36	7,0	2210	2,86	0,26	0,25
№37	7,0	2240	2,81	0,26	0,25
Дрібнозернистий	БНД 60/90				
№22	6,0	2200	2,61	0,23	0,22
№23	7,5	2240	2,33	0,21	0,21
Дрібнозернистий	БНД 40/60				
№16	6,5	2320	2,44	0,22	0,22
№17	7,5	2410	2,29	0,21	0,20

Таблиця 3 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі плюс 5 °С і швидкості вітру 3 м/с з відкритою поверхнею та під теплоізолятором

Вид асфальтобетону № випробування	Марка в'язучого та його вміст, %	Щільність, ρ , кг/м ³	Темп остиган., J , °С/м	Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год	Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град
Крупнозернистий	БНД 60/90				
Відкрита поверхня	6,0	2340	2,29	0,22	0,21
Під брезентом	6,0	2340	1,62	0,15	0,14
Дрібнозернистий	БНД 130/200				
Відкрита поверхня	6,5	2250	1,98	0,19	0,17
Під брезентом	6,5	2250	1,32	0,12	0,13
Дрібнозернистий	БНД 90/130				
Відкрита поверхня	6,0	2250	1,82	0,17	0,16
Під брезентом	6,0	2250	1,27	0,12	0,13
Дрібнозернистий	БНД 40/60				
Відкрита поверхня	8,5	2160	2,36	0,22	0,21
Під брезентом	8,5	2160	1,77	0,17	0,16

Таблиця 4 – Теплофізичні характеристики асфальтобетонів, що остигають на повітрі при температурі мінус 5 °С і швидкості вітру 3 м/с з відкритою поверхнею та під теплоізолятором

Вид асфальтобетону № випробування	Марка в'язучого та його вміст, %	Щільність, ρ , кг/м ³	Темп остиган., J , °С/м	Коефіцієнт температуропров. a , м ² /год	Коефіцієнт теплопровід. λ , ккал/м·год·град
Крупнозернистий	БНД 60/90				
Відкрита поверхня	6,0	2340	2,50	0,24	0,24
Під брезентом	6,0	2340	1,88	0,17	0,18
Дрібнозернистий	БНД 130/200				
Відкрита поверхня	6,5	2250	2,45	0,22	0,23
Під брезентом	6,5	2250	1,84	0,16	0,17
Дрібнозернистий	БНД 90/130				
Відкрита поверхня	6,0	2250	2,86	0,26	0,27
Під брезентом	6,0	2250	2,15	0,19	0,2
Дрібнозернистий	БНД 40/60				
Відкрита поверхня	8,5	2160	2,60	0,24	0,25
Під брезентом	8,5	2160	2,14	0,21	0,22

Аналізуючи результати експериментів, можна зробити наступні висновки:

– істотний вплив на теплофізичні характеристики асфальтобетону надає в'язкість бітуму. Так, бетони, які приготовлені на більш в'язких бітумах, мають значення коефіцієнта теплопровідності на 10 % нижче і температуропровідності на 9 % нижче, ніж приготовані на менш в'язких бітумах. Знижується також в цьому випадку і темп охолодження на 12 %;

– збільшення щільності асфальтобетону приводить до зменшення темпу охолодження на 5 %, коефіцієнта температуропровідності в 1,5 рази, а коефіцієнта теплопровідності в 2 рази;

– зміна фракційного складу мінеральної частини асфальтобетону істотного впливу на зміну теплофізичних характеристик не надає;

– при від’ємних температурах показники теплофізичних характеристик асфальтобетону вище, ніж при позитивних. При цьому вплив негативної температури позначається сильніше на характеристиках асфальтобетону, приготованого на менш в’язких бітумах;

– використання теплоізолятора знижує величини теплофізичних характеристик асфальтобетону, як при позитивних температурах повітря, так і при негативних температурах повітря при одній і тій же швидкості вітру. При цьому, ефективність використання теплоізолятора вище при негативних температурах, ніж при позитивних.

Дослідження динаміки охолодження асфальтобетону по висоті шару проводилося на зразках, які були приготовлені з дрібнозернистих сумішей типу А і Б на бітумі марки БНД 90/130 при різному ступені ущільнення. Висота зразків при коефіцієнтах ущільнення 0,8; 0,9; 1,0 складала відповідно 125, 110 і 100 мм

Інтенсивність охолодження зразків з відкритою поверхнею і під теплоізолятором визначалася при температурі повітря плюс 10 °С, плюс 5 °С, 0 °С, мінус 5 °С, мінус 10 °С. З цією метою в зразки в трьох точках по їх висоті закладалися термопари: в 10 мм від верхньої площини зразка, в середині і в 10 мм від нижньої площини зразка.

Результати випробувань охолодження зразків при різних температурах і швидкості вітру 3 м/с наведені в табл. 5

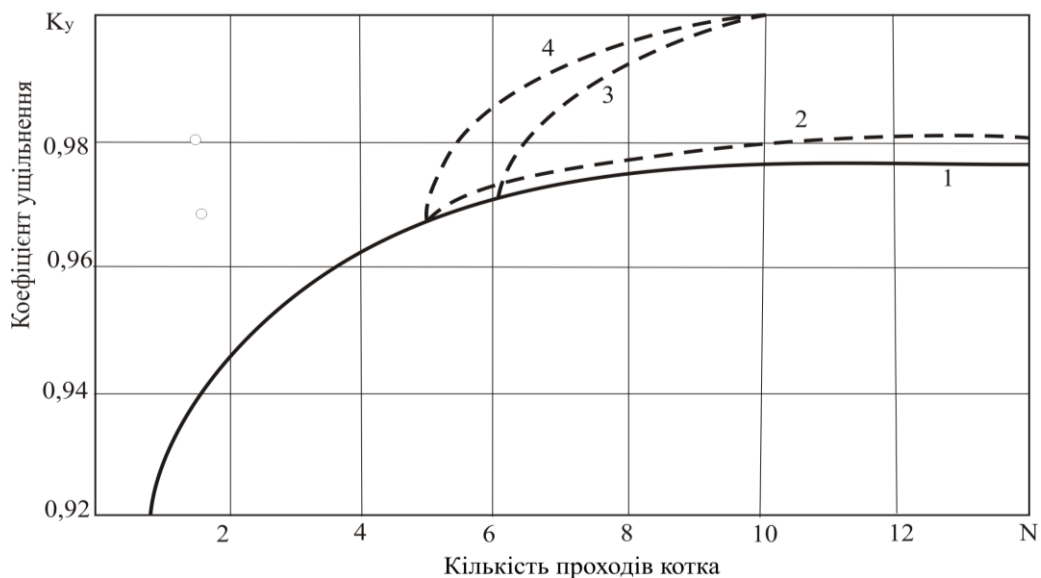
Таблиця 5 – Параметри охолодження асфальтобетону при різних температурах повітря

Температура повітря, $t_{\text{в}}$, °С	Місцезнаходження в зразках	Інтенсивність J , °С/хв., та час остигання зразків, τ , хв.	
		з відкритою поверхнею	під теплоізолятором
Плюс 10	верх	1,09/80	0,8/101
	середина	1,02/78	1,04/62
	низ	1,43/53	1,14/70
Плюс 5	верх	1,32/60,6	1,01/75
	середина	1,24/62,1	1,25/67,4
	низ	1,72/53,1	1,40/58,3
0	верх	1,67/49,9	1,25/65,6
	середина	1,47/54,9	1,36/59,7
	низ	2,01/40,4	1,58/52,1
Мінус 5	верх	1,94/42	2,53/59,3
	середина	1,70/44,6	2,67/41,2
	низ	2,29/35,8	2,14/37,6
Мінус 10	верх	2,17/36,4	1,58/51,9
	середина	2,05/37	1,89/44,6
	низ	2,63/31	2,12/34,6

Аналіз даних таблиці 5 показує:

- охолодження зразків відбувається нерівномірно по висоті;
- найбільш інтенсивно остигає низ зразка за рахунок впливу температури основи, дещо повільніше верх зразка і відстає в охолодженні від низу і верху середина зразка;
- під теплоізолятором охолодження зразка відбувається повільніше, причому вплив теплоізолятора позначається більш ефективно на уповільненні темпу охолодження верху зразка;
- при позитивних температурах більш інтенсивно остигає верхня частина зразка за рахунок конвективного теплообміну, середня інтенсивність охолодження складає $1,2-1,6\text{ }^{\circ}\text{C/хв.}$;
- при від'ємних температурах в перші 5-10 хв. найбільш інтенсивно остигає нижня частина зразка за рахунок кондуктивного теплообміну з холодною основою, середня інтенсивність охолодження підвищується при цьому до $1,4-2,3\text{ }^{\circ}\text{C/хв.}$

Дослідження процесів ущільнення асфальтобетонних покриттів в умовах негативних температур на промислових об'єктах в Харківській області дозволили встановити режими роботи загону котків двох типів: вібраційних, масою 6-8 т і важких гладковальцевих котків. На рисунку 1 наведений графік зміни коефіцієнта ущільнення асфальтобетонних сумішей в процесі їх ущільнення загonom котків двох типів і кількістю проходів котків на кожній з трьох стадій ущільнення.



1 – ущільнення вібракотком масою 6-8 т з вимкненим вібратором;

2 – те ж з включеним вібратором; 3 – ущільнення важким статичним котком

Рисунок 1 – Зміна коефіцієнту ущільнення асфальтобетонного шару при ущільненні його загonom з двох котків

В таблиці 6 наведені параметри охолодження асфальтобетонних сумішей на різних основах.

Таблиця 6 – Параметри охолодження асфальтобетонних сумішей на різних основах

Товщина шару, см	Вид основи	Температура повітря $t_{в}$, °C	Швидкість вітру, $V_{в}$, м/с	Інтенсивність остигання, °C /хвил.			Час остигання по товщині шару, хвил.		
				верх	середині	низ	верх	середині	низ
9	асфальтобетонне	плюс 5	8	1,09/78	1,02/89	1,49/56	0,83/109	0,89/101	1,38/59
	щебеневе			1,10/69	0,99/74	1,59/47	0,79/99	0,97/79	1,50/51
	цементобетонне			1,18/58	0,99/68	2,1/36	0,76/87	0,87/75	1,90/39
9	асфальтобетонне	мінус 10	8	1,49/61	1,30/72	1,90/42	0,92/97	0,97/86	1,71/84
	щебеневе			1,49/53	1,27/60	2,30/36	0,99/89	1,51/71	1,93/43
	цементобетонне			1,57/42	1,35/55	1,99/33	0,91/79	1,24/66	1,81/41

На основі дослідження технології будівництва асфальтобетонних шарів в умовах від'ємних температур повітря можна зробити наступні **висновки**:

– будівництво асфальтобетонних покриттів з гарячих асфальтобетонних сумішей в умовах негативних температур технічно можливо без зниження якості робіт;

– для досягнення необхідної щільності асфальтобетонних шарів в зимовий період необхідно підтримувати нормальний температурний режим гарячих сумішей в процесі їх укладання і ущільнення за рахунок підігріву основи і використання теплоізолятора на поверхні шару, що укладається;

– інтенсивність охолодження низу залежить від температури і матеріалу основи, верху шару – від швидкості вітру, температури повітря, наявності теплоізолятора;

– експериментальні дослідження охолодження асфальтобетонного шару в лабораторних умовах і на дорозі показали задовільну збіжність отриманих результатів;

– використання теплоізолятора дозволяє почати ущільнення гарячих сумішей при відносно більш високих температурах без зсувів матеріалу і утворення тріщин. Як теплоізолятор рекомендується застосовувати міцний брезент, який окрім теплозахисних функцій виконує роль розподільника напруг, що виникають в шарі при дії вальця котка.

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Коц І.В., канд. техн. наук, Бадьора Н.П.

ВИКОРИСТАННЯ СТАТИКО-ДИНАМІЧНОГО СПОСОБУ ІН'ЄКТУВАННЯ ПРИ ПІДСИЛЕННІ ГРУНТОВОЇ ОСНОВИ СХИЛІВ ДОРІГ

Анотація. В статті запропонований новий спосіб підсилення схилів ін'єкцією, який полягає у накладанні на стаціонарний потік розчину динамічної складової. Побудовані графіки зміни розповсюдження розчину при різних частотах пульсації. Виконане порівняння зміни розповсюдження розчину навколо ін'єкторів при статичному та динамічному нагнітанні.

Ключові слова: ін'єктування схилів, підсилення ґрунтової основи, динамічне нагнітання, радіус розтікання розчину, ін'єктор.

Аннотация. В статье предложен новый способ усиления склонов инъекцией, который заключается в наложении на стационарный поток раствора динамической составляющей. Построены графики изменения распространения раствора при разных частотах пульсации. Выполнено сравнения распространения раствора в ґрунтовой основе при статическом и динамическом нагнетании.

Ключевые слова: инъектирование склонов, усиление ґрунтовой основы, динамическое нагнетание, радиус распространения раствора, инъектор.

Annotation. In the article we propose a new method for enhancing the slopes injection, which is applied to a stationary solution flow dynamic component. Graphs were constructed changes in distribution of the solution at different frequencies of pulsation. Comparisons were made in the soil solution distribution based on static and dynamic injection.

Key words: injection of slopes, increased soil foundation, dynamic injection, the radius distribution solution injector.

Актуальність проблеми

Досить часто виникає необхідність в підсиленні та закріпленні ґрунтової основи схилів доріг, що пов'язана з неточностями в проектуванні схилів, і залежить від місцевості розташування та типу ґрунтової основи. Всі ці причини призводять до порушення фізико-механічних характеристик схилів на яких розташоване дорожнє покриття. Внаслідок цього схили починають руйнуватись, а на дорогах з'являються тріщини та перекоси, які становлять під небезпеку для руху транспортних засобів. Тому виникає необхідність в розробці нового способу та технологій з ремонту і підсилення ґрунтової основи схилів доріг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав [1-3], що закріплення схилів способом ін'єктування здійснюється переважно при статичному тисковій нагнітання, що не завжди забезпечує якісне просочення скріпним розчином ґрунтового масиву, що, в кінцевому рахунку, не гарантує досягнення необхідної стійкості цього масиву та потребує застосування більшого тиску ін'єктування.

Мета та завдання дослідження

Метою даної статті є розробка нового способу закріплення ґрунтової основи схилів доріг, який поєднує в собі використання постійного та динамічного тиску нагнітання розчину. Задачею роботи є дослідження зміни радіуса розповсюдження розчину при статичному та динамічному циклічно-повторюваному тисковій ін'єктування.

Виклад основного матеріалу

Одним із перспективних напрямків закріплення ґрунтової основи схилів доріг є ін'єктування високонапірного розчину в товщу ґрунтового масиву. Авторами був розроблений спосіб закріплення схилів ін'єктуванням, який полягає в наступному. Встановлюються координати вводу точок ін'єкторів на поверхні ґрунту і визначаються кути нахилу для кожної із точок розташування ін'єктора. На поверхні схилу розміщуються ін'єктори по площині ковзання схилу. Визначають необхідну витрату ущільнюючого скріпного розчину та здійснюють його подачу під певним визначеним тиском у місцях розташування ін'єкторів. Завдяки застосуванню генератора гідравлічних імпульсів здійснюється додаткове накладання створених періодичних імпульсів тиску в розчині, що сприяє підвищенню проникності розчину та збільшенню області

насичення. Після завершення процесу тверднення розчину в ґрунтовому масиві утворюються жорсткі включення, які армують товщу ґрунту навколо ін'єктора. В кінцевому рахунку в місцях ін'єктування утворюються зони закріпленого ґрунту, які дотикаються і перекривають одна одну по всьому периметру ґрунтового масиву. Отриманий ґрунтовий масив має підвищені фізико-механічні показники та забезпечує необхідну стійкість схилу.

Обладнання для реалізації способу включає занурений в свердловину ін'єктор 6, манометр 5 для вимірювання тиску розчину, насосну станцію 4, розчинозмішувач 3, трубопроводи високого тиску 2, генератор гідравлічних імпульсів тиску – клапан-пульсатор 1 (рис.1.).

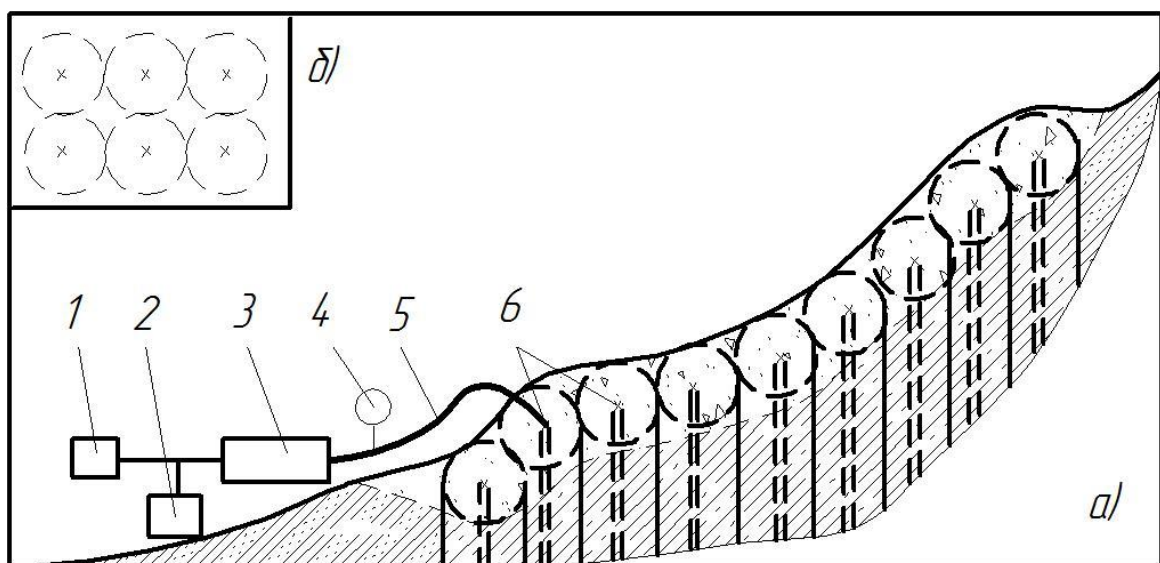


Рисунок 1 – Схема закріплення ґрунтової основи схилів ін'єкцією: а) схема розташування ін'єкторів; б) вигляд свердловин схилу в плані

Ефективний об'єм закріпленої ґрунтової основи визначається згідно формули (1):

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot \beta_3 \cdot \chi_s, \quad (1)$$

де r – радіус розповсюдження технологічного розчину в товщі ґрунтового масиву, м;

h – максимальна глибина проникнення технологічного розчину, м;

β_3 – коефіцієнт запасу розчину, що пов'язаний з втратами на формування циліндра;

χ_s – коефіцієнт, що враховує перекриття ефективних контурів розповсюдження розчину і приймається 10-15% від загального об'єму розчину[4,5].

З врахуванням того, що $N_{скв}$ – це необхідна кількість свердловин для закріпленої ґрунтової основи схилу, то загальний об'єм технологічного розчину буде визначатись згідно формули:

$$V_{заг} = N_{скв} \cdot V, \quad (2)$$

де V – об'єм розчину, який необхідний для закріплення однієї свердловини, м³.

$N_{скв}$ – загальна кількість свердловин, шт.

Основним показником, що визначає ефективність закріплення ґрунтової основи схилів доріг є радіус розтікання розчину навколо ін'єктора (1), який повинен створити надійну суцільну завісу із розчину для забезпечення необхідної стійкості та міцності.

Радіус розповсюдження технологічного розчину визначається згідно формули (3) [6]:

$$r_{\kappa} = \frac{P_{cm} (1 + \cos \omega t) \cdot \delta_0 \cdot D}{2\tau_0 - \delta_0 \cdot D \cdot \lambda_p \cdot \cos \varphi \cdot \cos \alpha} + r_c \quad (3)$$

P_{cm} – статичний тиск ін'єкування, Па;

t – тривалість циклу нагнітання, с;

ω – частота повторення імпульсів тиску, Гц;

δ_0 – початкове розкриття каналу ґрунту, м;

D – параметр, що враховує криволінійність розташування каналів, $D=1,5-4$ [7];

τ – динамічне напруження зсуву технологічного розчину, Па;

λ – питома вага технологічного розчину, Н/м³;

φ – полярний кут розтікання розчину, град;

α – кут нахилу каналу до вертикалі, град;

r_0 – радіус ін'єктора, м.

Згідно формули (3) були побудовані графіки залежності радіуса розповсюдження розчину від статичного та динамічного тиску нагнітання, що зображені на рис.2.

З графіку на рис.2 видно, що радіус розповсюдження розчину буде більший при дії імпульсної складової на стаціонарний потік розчину, ніж при постійному статичному нагнітанні, причому, при статико-динамічному нагнітанні розчину радіус розповсюдження збільшується приблизно в 1,25-1,4 рази, що значно впливає на забезпечення більшої несучої здатності та підвищення міцності ґрунтової основи схилів доріг. Додаткові періодичні гідравлічні імпульси тиску створюються за допомогою спеціального устаткування, яке захищено патентами України на корисну модель [8,9].

Було виконано порівняння зміни радіуса закріпленої ґрунтової основи при різних частотах пульсації розчину, що наведено на рис. 3. З графіка видно, що при більших частотах пульсації радіус проникнення розчину збільшується, але частоту пульсації ґрунтового масиву потрібно підбирати в залежності від властивостей ґрунту та умов розташування ґрунтової основи. При великих частотах пульсації відбувається руйнування структури ґрунту та відбувається гідророзрив середовища.

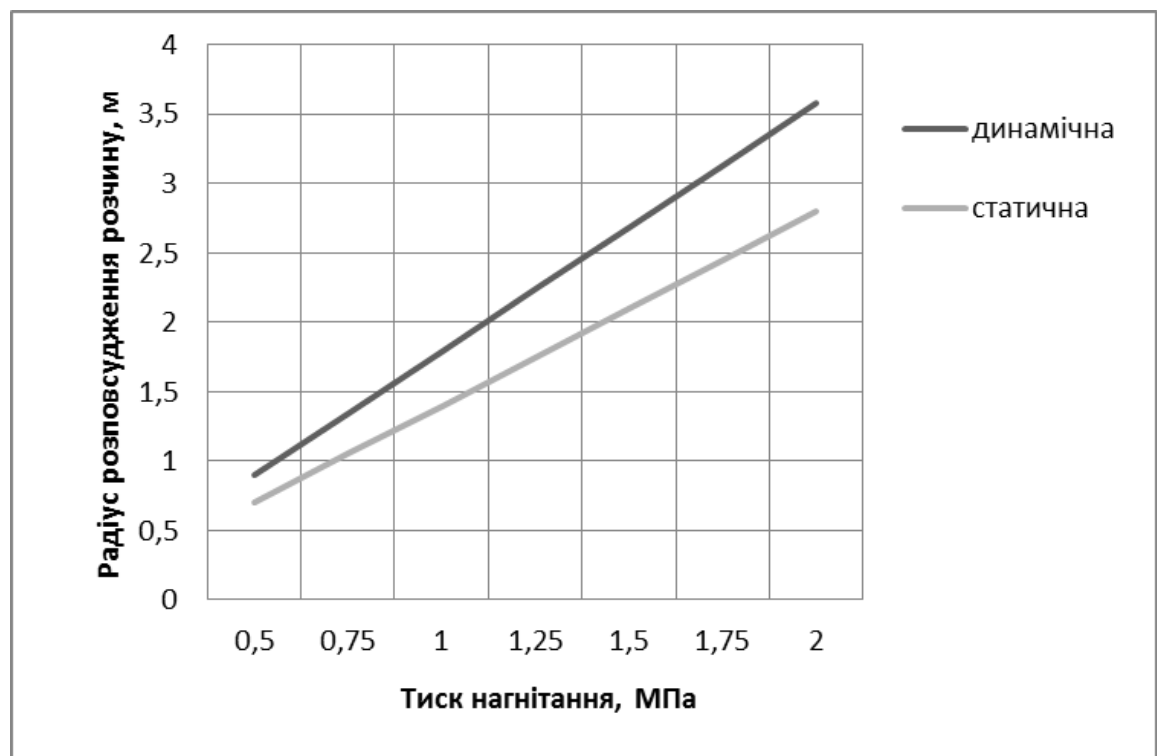


Рисунок 2 – Графік залежності радіуса розповсюдження розчину від статичного та динамічного тиску нагнітання

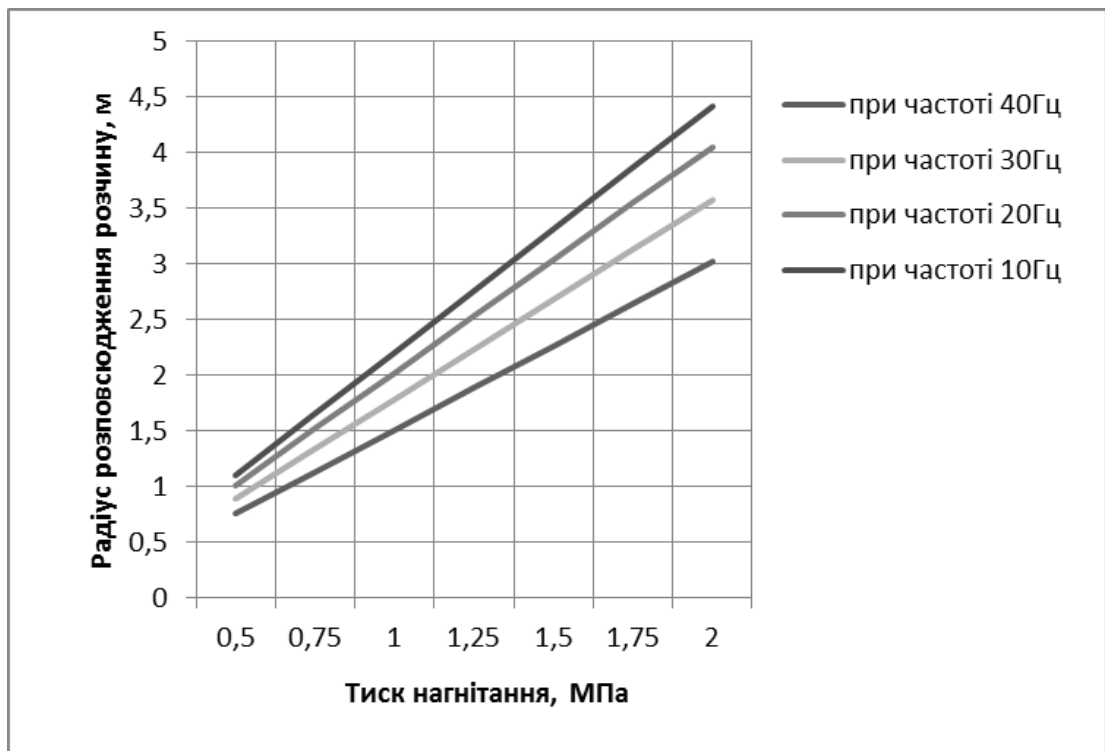


Рисунок 3 – Графік залежності радіуса розповсюдження розчину в залежності тиску нагнітання при різних частотах повторювання гідравлічних імпульсів тиску

Висновки

1. В статті запропоновано розроблений новий спосіб закріплення ґрунтової основи схилів доріг, який поєднує в собі забезпечення постійного та динамічного тиску нагнітання ін'єктуючого розчину, що дозволяє збільшити радіус розтікання розчину за рахунок зменшення його в'язкості і збільшення проникності у пори ґрунтового масиву.

2. Здійснено аналіз зміни радіуса розповсюдження розчину при статичному та динамічному тиску ін'єкування. Побудовані залежності показують, що при впливі імпульсної складової на стаціонарний потік рідини, збільшується радіус розповсюдження розчину у 1,25 – 1,40 разів.

3. Побудовані графіки зміни радіуса розповсюдження скріпного розчину при різних частотах пульсації, які показують, що зі збільшенням частоти пульсації розчину радіус розповсюдження розчину навколо свердловини збільшується. Слід зауважити, що збільшувати частоту пульсації і максимальний тиск нагнітання можливо тільки до граничного значення, при якому відбувається гідророзрив середовища, який визначається для кожного типу ґрунтової основи окремо.

Література

1. Патент RU № 2191866, М. Кл. E02D17/20. Способ закрепления оползневых склонов / Т. М. Ядлось, В.Д. Карминский, В.П. Галайко; – № 2000122228/03; заявл. 22.08.2000, опубл. 27.10.2002.
2. Патент RU № 2275467. М. Кл. E02D3/12. Способ закрепления оползневых склонов / В. И. Осипов, С. Д. Филимонов, Б. О. Снежкин; заявл. 21.12.2004, опубл. 27.04.2006.
3. Ланис А.Л. Использование метода напорной инъекции при усилении земляного полотна железных дорог : автореф. дис. на соискание ученой степени к.т.н.: спец. 05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог» / Ланис Алексей Леонидович – М., 2009. – 24 с.
4. Айтматов И.Т. Тампонирующее обводнение горных пород в шахтном строительстве / И.Т. Айтматов, Б.И. Кравцов, Б.Д. Половов– М.: Недра, 1972. – 142 с.
5. Кипко Э.Я. Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: Учеб. пособие / Э.Я. Кипко, П.Н. Должиков, Н.А. Дудля и др. – Днепропетровск: НГУ, 2004. – 367 с.
6. Бадьора Н.П. Особливості розповсюдження технологічних розчинів при ін'єкційному підсиленні ґрунтових масивів / Н.П. Бадьора, І.В. Коц – Збірник наукових праць «Науковий вісник будівництва» – № 71 (2013). – С. 161-165.
7. Герасимов О. В. Изучение процессов укрепления неустойчивых грунтов оснований сооружений сейсмическим методом / О. В. Герасимов, С.М. Простов // Вестник КузГТУ.– 2006. –№ 6. – С. 15 –19.
8. Патент на корисну модель № 54122U Україна, МПК8 E02D 3/00, E21B 43/16, E21D 20/00. Установка імпульсної дії для нагнітання сумішей в ґрунтовий масив / Коц І. В., Бадьора Н. П.; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201005469; заявл. 05.05.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.
9. Патент на корисну модель № 63266U Україна, МПК8 E02D 3/00, E21B 43/16, E21D 20/00. Установка для нагнітання будівельних розчинів в ґрунтовий масив / Коц І. В., Бадьора Н. П.; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № u201100502; заявл. 17.01.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19.

Тимченко О.М.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОРУШЕНЬ СТІЙКОСТІ СХИЛІВ І УКОСІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ

Анотація. У роботі визначено порушення стійкості схилів і укосів на автомобільних дорогах у гірській місцевості. Запропонована класифікація зсувних деформацій на основі механізму руйнування порід і динаміки зміщення зсувних мас.

Ключные слова: зсувні деформації, механізм руйнування, динаміка зсуву.

Аннотация. В работе определены нарушения стойкости склонов и укосов на автомобильных дорогах в горной местности. Предложена классификация оползневых деформаций на основе механизма разрушения пород и динамики смещения оползневых масс.

Ключные слова: оползневые деформации, механизм разрушения, динамика смещения.

Annotation. In the article destabilizations of slopes and cuts on highways in mountainous areas were defined. Classification of landslide deformations is offered on the basis of rock breaking mechanism and shifting dynamics of the landslide masses.

Key words: landslide deformations, rock breaking mechanism, shifting dynamics.

Постановка проблеми. Згідно з регіональним картуванням зсувів та створенням за цими роботами кадастру, в межах України виділено більше 20 000 зсувних геосистем. У цю кількість не ввійшли зсуви в межах лінійних об'єктів, гідротехнічних комплексів та інших природно-техногенних геосистем спеціального призначення. Крім цього зсуви поширені майже в 200 містах та селищах міського типу, в Автономній республіці Крим нараховується 1576 зсувів, 232 з яких руйнують автомобільні дороги, що створює постійну загрозу

виникнення надзвичайних ситуацій та небезпеки для життєдіяльності населення. Катастрофічна руйнівна дія зсувів та значні економічні збитки великою мірою зумовлені недоліками існуючої системи протизсувних заходів. Одним з важливих недоліків існуючої системи народногосподарського освоєння зсувонебезпечних територій є недостатнє врахування під час планування та здійснення господарської діяльності механізму та динаміки розвитку зсувного процесу.

Основними зсувоутворюючими факторами є геологічні, геоморфологічні, гідрогеологічні та ландшафтно-кліматичні, на які накладається техногенна діяльність людини. Вивчення умов розвитку зсувного процесу на автомобільних дорогах у гірській місцевості надасть реальну можливість науково обґрунтованого передбачення зсувного процесу як у просторовому, так і при певних обмеженнях у часовому проміжку.

Суттєвий вклад у вивчення закономірностей виникнення та протікання зсувів на автомобільних дорогах у гірській місцевості внесли російські та українські вчені, серед яких: Саваренський Ф.П., Бернацький Л.Н., Пузирівський М.К., Дранніков О.М., Малющицький Ю.М., Білеуш О.І., Яковлев Є.О., Рижий М.М., Єриш І.Ф., Рудько Г.І., Демчишин М.Г. та ін.

Метою роботи є визначення порушень стійкості схилів і укосів для встановлення характерних типів зсувних деформацій на автомобільних дорогах у гірській місцевості та призначення основних заходів захисту від зсувів.

Отримані результати. Різноманітність причин і чинників, різноманіття інженерно-геологічних особливостей в будові схилів та їх морфології ускладнюють класифікацію зсувів. Запропоновано безліч класифікацій зсувних процесів за різними ознаками. Відомі загальні, часткові, регіональні класифікації, класифікації за характером захоплення гірських порід, за структурою зсуву, за видами зсувних деформацій, за віком зсувів, за морфологією зсувів тощо [1-4].

В роботі були проаналізовані різні класифікації зсувних процесів. Опис форм порушення стійкості схилів і укосів за М.М. Масловим наведено в табл. 1 [5].

Характер деформації визначає форму зсувного процесу. Швидкість деформації дає можливість намітити захисні заходи. Так, швидкість зсувного процесу в декілька сантиметрів на рік може бути допустимою для укосу каналу та незабудованих схилів. Проте обрушення з такою швидкістю зсувного

процесу на будівлю або споруди небезпечно та вимушує проектувати захисні протизсувні заходи.

Таблиця 1 - Форми порушення стійкості схилів і укосів (за М.М. Масловим)

Форми порушення стійкості	Характер деформації	Швидкість деформації
Обвали гірських порід	Падіння та кочення	Катастрофічна (м/с)
Обвал зі зрізом і обертанням	Переміщення масивів по поверхнях із найменшим запасом стійкості та з деяким обертом навколо горизонтальної осі	Висока (м/хв)
Сколювання при просіданні	Опускання з бічним переміщенням	Висока (м/хв)
Ковзання	Зрушення по площині напластування, розломах, зміщеннях	Висока (м/год)
Зсув-зрушення	Горизонтальне переміщення по слабкому прошарку	Невисока (см/добу)
Зповзання	Зповзання гірських порід по нерівній поверхні підстилюючої товщі	Невисока (до м/добу)
Зплив	Поверхнєве обпливання перезвожених ґрунтових мас	Висока (м/хв)
Пластична та в'язка деформація	Деформація глинистої товщі як пластичного та в'язкого матеріалу	Мала (см/рік)
Вікова переробка схилу	Поверхнєві явища, пов'язані з фізичними процесами	Мала та виключно мала (см/рік, мм/рік)

Є.П. Ємельяною детально описані цикли порушення загальної рівноваги схилу, виділено стадії та фази зсувного процесу [1, 6]. В роботі [1] виділено стадію підготовки зсуву, стадію зсувного зрушення, стадію вторинних зсувів і стадію стабілізації (рис. 1).



Рисунок 1 – Класифікація зсувів

Також виділені наступні фази: фаза наростання швидкості деформації; фаза швидкого наростання швидкості зсуву; фаза загасання швидкості зсуву; фаза затухаючих деформацій; фаза глибинної повзучості та фаза відновлення локальних порушень рівноваги.

У класифікації зсувів дорожньо-дослідницького бюро США, що викладена Е.Б. Екелем [7, 8], зсуви поділено за ознаками, які можна встановити при мінімальному обсязі досліджень, не вдаючись до причин їх утворення (табл. 2).

При цьому розглянуті дві основні складові (змінні): а) вид ґрунту зсувного процесу; б) тип руху, що може бути встановлений в період спостережень за формою зсувного процесу або розташуванню зсувних мас.

Таблиця 2 - Стисла схема класифікації зсувів за Е.Б. Екелем

Тип руху	Види ґрунтів				
	Скельні		Нескельні		
I. Обвал	Скельні обвали		Нескельні обвали		
II. Ковзання	Обертове	Плоске	Плоске	Обертове	
II А. Невелике число крупних глиб	Зсув	Бічне зрушення	Бічне зрушення	Бічний зсув-обертання	
II Б. Безліч окремих частин	-	Скельне ковзання	Ковзання наносів		
III. Течія	Всі незцементовані				
Суха	Скельні уламки	Піски	Пильоваті ґрунти	Змішані відкладення (наноси)	Пластичні ґрунти (загалом)
	Кам'яний осип	Пісчаний осип-потік	Осип-потік	-	-
	-	-	Швидкі зпливи	Лавина в наносах	Повільні зпливи
Мокра	-	Перебіг пісків або пильоватих ґрунтів (розрідження)		Перебіг наносів	Грязьові потоки
IV. Змішаний	Поєднання ґрунтів або типів руху				

Типи руху Е.Б. Екель (див табл. 2) поділив на три основні групи: обвал, ковзання та течія. В четверту він ввів змішані види руху, що охоплюють комбінацію будь-яких двох або всіх трьох попередніх типів руху. Тип руху або вид матеріалу в різних точках або в різний час може бути неоднаковим у одному й тому ж зсуві, тому дуже строга класифікація небажана.

Проаналізувавши класифікації схилових процесів встановлено, що не всі схили руйнуються по схемах, прийнятих у розрахункових моделях. У роботі запропоновано класифікацію по визначенню зсувних деформацій на підставі механізму руйнування порід і динаміки зміщення зсувних мас (табл. 3).

Таблиця 3 - Запропонована класифікація по визначенню зсувних деформацій

Тип руйнування порід схилу та руху порід	Геологічні особливості будови схилу	Швидкість зміщення	Основні особливості оцінки стійкості та вибору захисних заходів
1. Обвали Обвалення, падіння та скочування глиб і окремих масивів	Скельні та напівскельні круті схили, що підмиваються або підробляються, складені глинистими, суглинистими, гравелистими або піщаними зцементованими, легко вивітряними породами	Максимальна швидкість, що залежить від крутизни схилу та коефіцієнту тертя коченню	Нагляд і профілактика нестійких масивів. Уположення, укріплення стінами, контрфорсами, анкерами, пальовими конструкціями. Влаштування протиобвальних галерей, тунелів
2. Обвалення (осови) Зміщення масиву схилу, укосу, виїмки внаслідок перевищення навантажень, у тому числі і динамічних, поблизу бровки, необґрунтоване збільшення крутизни схилу, укосу або глибини виїмки	Схили або укоси виїмок, складені глинистими, суглинистими та піщаними слабозцементованими породами	От декількох сантиметрів на добу до 0,8-0,9 швидкості обвалів	Робота захватками, розміщення механізмів на плитах, розпо-діляючих навантаження, розосередження механізмів. Використання механізмів із малими динамічними впливами на ґрунти. Підпирні споруди, розпірки, анкери
3. Зсуви ковзання Ковзання верхньої частини порід схилу або укосу по поверхнях послаблення: площинах напластування, тектонічних тріщинах, увігнутих і криволінійним поверхнях ковзання, що сформувались	Скельні та напівскельні породи з наявністю поверхонь послаблення, тектонічних тріщин і на шарувань, зпрямованих у бік падіння схилу. Перебудова структури глинистих або суглинних порід під впливом напруг і формування криволінійної поверхні ковзання	Від міліметрів на добу до метрів на годину	Уположення схилу, утримуючі та анкерні споруди. Контр-форси, контрбанкети. Дренажі в якості допоміжних споруд

Кінець таблиці 3

Тип руйнування порід схилу та руху порід	Геологічні особливості будови схилу	Швидкість зміщення	Основні особливості оцінки стійкості та вибору захисних заходів
4. Зсуви по зоні деформованого горизонту Руйнування в більш слабких породах структурних зв'язків під впливом напруги від над-верхніх порід, гідродинамічних або хімічних впливів. Пластичні деформації гірських порід, витискування, утворення валів. Тріщини розриву та зсуву в верхніх, міцніших породах	Наявність у схилі слабких глинистих порід, які після руйнування структурних зв'язків схильні до повзучості, течії, витискування	Від метрів на хвилину до десятків метрів на секунду	Дренажні споруди різних конструкцій, контрфорси, контр-банкети
5. Суфозійні зсуви Утворення в шарах гірських порід, що складають схил, в межах фільтраційного потоку ходів, порожнеч, збільшення пористості внаслідок виносу дрібних мінеральних частинок або розчинення окремих мінералів водою. Просідання верхніх шарів порід і зсув їх по гідродинамічному прошарку	Наявність у схилах або укосах шарів, де поширені водоносні горизонти, в яких може розвиватись механічна або хімічна суфозія	Від метрів на хвилину до десятків метрів на секунду	Дренажі, екрани, хімічне закріплення – переведення розчинних мінералів у нерозчинні
6. Зсуви течії Зволоження та перехід у пластичний перебіг верхнього шару гірських порід, що розтікаються по нерівній поверхні більш стійких порід	Наявність у верхній частині схилів або укосів, складених відносно міцними породами, менш міцних, вивітрених і слабоушільнених порід	Від метрів на добу до десятків метрів на хвилину	Видалення слабких порід, захист від інфільтрації та зволоження
7. Зсуви по гідродинамічному прошарку Зсув по водонасиченому прошарку верхньої частини порід, що складають схил і укіс	Наявність у схилі шарів гірських порід, розташованих із боку падіння схилу, схильних до набухання, суфозійних або просадкових деформацій	Від десятка сантиметрів на добу, метрів на годину до десятків метрів на секунду. Швидкість залежить від в'язкості матеріалу прошарку	Дренажні споруди, утримуючі конструкції з жорстких елементів

Для кожного типу руйнування порід схилу обґрунтовані особливості оцінки стійкості схилу та визначено основні захисні заходи.

Висновок

Запропонована класифікація по визначенню зсувних деформацій дозволить більш чітко підходити до питання вибору розрахункових положень, призначення виду протизсувних заходів, своєчасного проведення профілактичних робіт або влаштуванню основних захисних заходів для попередження руйнування схилів, укосів і споруд у межах зсувної зони.

Література

1. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов / Емельянова Е.П. – М.:Недра, 1972. – 310 с.
2. Демчишин М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины (инженерно-геологические аспекты) / Демчишин М.Г. – К.: Наук. думка, 1992. – 254 с.
3. Маслов Н.Н. Инженерная геология / Н.Н. Маслов, М.Ф. Котов. – М.: Стройиздат, 1971. – 341 с.
4. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов / Маслов Н.Н. – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.
5. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними) / Маслов Н.Н. – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.
6. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней / Емельянова Е.П. – М.: Недра, 1971. – 102 с.
7. Эккель Э.Б. Оползни и инженерная практика / Эккель Э.Б. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – 275 с.
8. Эккель Э.Б. Борьба с оползнями на автомобильных дорогах / Эккель Э.Б. – М.: Изд-во Автотранспорта и шоссейных дорог, 1960. – 183 с.

УДК 625.7/.8:658.562

Батракова А.Г., канд. техн. наук

МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Аннотация. Предложена динамическая адаптивная модель прогнозирования состояния дорожных одежд на уровне отдельных участков на основе комплексных наборов данных, опирающихся на результаты георадарного обследования. Показана эффективность применения модели при планировании мероприятий по ремонту и содержанию дорожных одежд.

Ключевые слова: дорожная одежда нежесткого типа, деградация дорожных одежд, динамическая адаптивная модель, базовая модель.

Анотація. Запропоновано динамічну адаптивну модель прогнозування стану дорожніх одягів на рівні окремих ділянок на підставі комплексних наборів даних, які спираються на результати георадарного обстеження. Доведено ефективність застосування моделі при плануванні заходів з ремонту та утриманню дорожніх одягів.

Ключові слова: дорожній одяг нежорсткого типу, деградація дорожніх одягів, динамічна адаптивна модель, базова модель.

Annotation. Dynamic adaptive prediction model of pavement states at the individual sites based on complex data sets, based on the results of the GPR survey, is proposed. The efficiency of the model is demonstrated for planning repair and maintenance of road pavements.

Key words: non rigid pavement type, pavement degradation, dynamic adaptive model, the base model.

Основная цель всех моделей деградации покрытия – на основании собранных наборов данных с помощью соответствующей обработки дать как можно более точный и достоверный прогноз изменения состояния дорожных одежд (техничко-эксплуатационных показателей). При использовании простейших статических регрессионных моделей прогнозирования в роли основного параметра выступает, как правило, индекс состояния покрытия, а процесс деградации (изменения состояния) дорожной конструкции описывается с помощью его однозначных значений, вычисляемых на основе данных о предшествующих состояниях конструкции. В рамках стохастических (вероятностных) моделей прогнозируется вероятность того, что в определенный момент в будущем конструкция окажется в определенном состоянии. Среди вероятностных моделей можно выделить несколько основных направлений – анализ с помощью цепей Маркова, эконометрических методов и методов теории надежности [1].

Динамические методы предназначены для моделирования процессов, ход которых изменяется со временем, т.е. отражают изменение свойств процессов во времени. В таком случае, динамические модели призваны обеспечить более точное отображение процесса деградации дорожных одежд и, как следствие, принятие более качественных управленческих решений [2]. При формировании соответствующего математического аппарата помимо значений объясняющих переменных в фиксированные (начальные) моменты времени играет роль и скорость изменения этих переменных. Чтобы пояснить суть такого подхода, следуя методике, предложенной в [1, 3] представим величину, характеризующую состояние дорожной одежды (например, PCI) в виде:

$$P_{наб,t} = P_{мод,t} + \alpha_t + \xi_t, \quad (1)$$

где $P_{наб,t}$ - реально существующее (зарегистрированное) состояние дорожной одежды в момент времени t ;

$P_{мод,t}$ - состояние дорожной одежды в соответствии с принятой базовой моделью, т.е. расчетное состояние;

α_t - отклонение реального процесса деградации от расчетного;

ξ_t - поправка для учета влияния случайных факторов, т.е. отличия в состоянии различных участков, находящихся в одинаковых условиях.

При этом считается, что известна базовая модель прогнозирования, например, статическая регрессионная (сигмоидальная) модель, позволяющая вычислять расчетные значения показателя состояния в произвольные моменты времени. Также подразумевается, что случайная величина ξ_t подчиняется нормальному распределению с нулевым средним значением, т.е. отклонения с равной вероятностью возможны как в большую, так и в меньшую стороны. Величина α_t , иногда называемая структурным отклонением, характеризует отличие в измеренном (фактическом) значении от прогнозного значения в соответствии с базовой моделью. В соответствии с динамической моделью задача прогнозирования сначала формулируется как процедура нахождения отклонения ($\alpha_{t+\delta}$) в некоторый момент времени в будущем с помощью разложения этой величины в ряд Тейлора:

$$\alpha_{t+\delta} = \alpha_t + \alpha'_t \delta + \frac{\alpha''_t}{2!} \delta^2 + \dots + \frac{\alpha_t^{(N)}}{N!} \delta^N, \quad (2)$$

где $\alpha'_t, \alpha''_t \dots \alpha_t^{(N)}$ - производные первого, второго... N -го порядка по времени.

Очевидно, что этот ряд является частным случаем общего степенного ряда:

$$\alpha_{t+\delta} = c_0 + c_1 \delta + c_2 \delta^2 + c_3 \delta^3 + \dots + c_N \delta^N, \quad (3)$$

$$\text{где } c_n = \frac{\alpha_t^{(n)}}{n!}.$$

Смысл использования ряда Тейлора в данном случае состоит в том, что первое слагаемое (2) описывает состояние системы, точнее, отклонение от прогноза по базовой модели, в начальный момент времени, второе – скорость изменения соответствующей величины (например, скорость накопления повреждений), а третье слагаемое – скорость изменения второго параметра (например, прирост скорости накопления повреждений). В случае функций, заданных аналитически, разложение (2) позволяет определить значение

функции в некоторой окрестности δ заданной точки t , то есть, для $t + \delta$, по значениям самой функции и ее производных в этой точке.

Введем понятие вектора отклонений, элементами которого являются значения функции, описывающей отклонение состояния дорожной конструкции от результата, определяемого базовой моделью, и ее производных в данный момент времени. Тогда модель поведения такой системы, т.е. вектор отклонений в момент $t + \delta$ (в рамках приближения второго порядка), может быть выражен через значение вектора отклонений в момент t с помощью набора соотношений:

$$\begin{aligned}\alpha_{t+\delta} &= \alpha_t + \alpha'_t \delta + \frac{\alpha''_t}{2!} \delta^2; \\ \alpha'_{t+\delta} &= \alpha'_t + \alpha''_t \delta; \\ \alpha''_{t+\delta} &= \alpha''_t.\end{aligned}\tag{4}$$

Эти соотношения могут быть записаны в более компактной форме:

$$\alpha_{t+\delta} = \mathbf{A} \cdot \alpha_t,\tag{5}$$

$$\text{где } \alpha_{t+\delta} = \begin{vmatrix} \alpha_{t+\delta} \\ \alpha'_{t+\delta} \\ \alpha''_{t+\delta} \end{vmatrix}; \quad \alpha_t = \begin{vmatrix} \alpha_t \\ \alpha'_t \\ \alpha''_t \end{vmatrix}; \quad \mathbf{A} = \begin{vmatrix} 1 & \delta & \frac{\delta^2}{2!} \\ 0 & 1 & \delta \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.\tag{6}$$

Если предположить, что и производные в (4) также подвергаются случайным флуктуациям (отклонениям) и ввести вектор соответствующих поправок γ , то соотношение для прогнозирования (5) можно записать как:

$$\begin{vmatrix} \alpha_{t+\delta} \\ \alpha'_{t+\delta} \\ \alpha''_{t+\delta} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & \delta & \frac{\delta^2}{2!} \\ 0 & 1 & \delta \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \alpha_t \\ \alpha'_t \\ \alpha''_t \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \gamma_t \\ \gamma'_t \\ \gamma''_t \end{vmatrix}, \quad \alpha_{t+\delta} = \mathbf{A} \cdot \alpha_t + \gamma_t.\tag{7}$$

Таким образом, для построения прогноза состояния конструкции в момент времени $t + \delta$ необходимо вычислить структурное отклонение α_t в настоящий момент. Затем полученные результаты нужно подставить в (7) для получения $\alpha_{t+\delta}$.

Следующий этап – получение соотношений, связывающих наблюдаемые (экспериментально регистрируемые) величины с ключевыми параметрами модели (например, РСІ или модулем упругости дорожной одежды). В результатах измерений всегда присутствуют случайные погрешности. Кроме того, в некоторых случаях измерить непосредственно интересующую величину, например, прочность конструкции, не удастся. В таком случае используют косвенные измерения, то есть сначала производят измерение одной величины (например, толщины слоев дорожной одежды, количественных оценок их состояния), а затем путем применения к ней определенного набора правил (операций) получают оценку требуемого параметра (модуль упругости дорожной одежды). В соответствии с принятой в математике системой обозначений далее будем обозначать совокупность таких действий соответствующим оператором, например $\hat{L}$. Тогда процедура измерения текущего состояния системы может быть в общем виде записана:

$$\hat{L} P_t = P_{\text{мод},t} + \alpha_t + \rho_t, \quad (8)$$

где ρ_t - поправка для учета всех случайных составляющих, в том числе и погрешностей результатов измерений;

$\hat{L} P_t$ - результат применения операций измерения и обработки к соответствующим величинам, например измерению упругого прогиба для вычисления модуля конструкции.

Многие методы прикладной математики, называемые итерационными, основаны на поэтапной корректировке некоторого начального приближения к искомому решению. В данном случае роль такого начального приближения играет расчетное состояние $P_{\text{мод},t}$. Поэтому удобно переписать (8) в виде:

$$\hat{L} P_t - P_{\text{мод},t} = \alpha_t + \rho_t. \quad (9)$$

В левой части последнего соотношения стоит отклонение фактических значений от расчетных (согласно базовой модели). В случае абсолютно точной базовой модели и отсутствия погрешностей измерений левая часть будет равна нулю. В реальности же она всегда будет отлична от нуля, но чем меньше отличия, тем точнее базовая модель. Следовательно, при корректировке модели необходимо добиваться минимизации этих отличий. Поэтому введем понятие целевой функции ψ_t , которую требуется минимизировать и определим ее как:

$$\psi_t = \hat{L} P_t - P_{\text{мод},t} = \alpha_t + \rho_t. \quad (10)$$

Это означает, что в рамках динамической адаптивной модели на каждом предшествующем этапе производится корректировка начального приближения для более точного определения прогнозных значений. В результате получаем новое начальное приближение - $P_{\text{мод},t}^n$, которое используется на следующем этапе.

Наконец, последний этап заключается в нахождении количественных оценок на основе имеющегося набора данных и повторении корректировки (10) для использования на последующих шагах. Нахождение оценки можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{мод},t+\delta} = P_{\text{мод},t}^n + \sum_{j=1}^2 \frac{\delta^j}{j!} \alpha_t^{(j)} + \rho_t. \quad (11)$$

Согласно динамической адаптивной модели, прогнозирование на уровне участков дорог выполняется с учетом дополнительного набора данных, полученного по результатам обследований за предшествующие периоды. Получение прогнозных оценок вектор-функции состояния участков дорог, согласно предложенной модели, заключается в построении адаптивной динамической модели деградации дорожной одежды и последующем расчете вектор-функции состояния дорожной одежды.

Расчет производится в следующей последовательности:

а) по результатам обследований за предшествующие периоды определяются значения показателя, характеризующего состояние дорожной одежды (индекс состояния, модуль упругости конструкции) в моменты времени t_1, t_2, t_3 (за три года);

б) определяются коэффициенты базовой динамической модели, представленной степенным рядом, (например, методом Гаусса):

$$E_t = c_0 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2, \quad (12)$$

где c_0, c_1, c_2 - коэффициенты базовой динамической модели;

в) рассчитывается значение зависимой переменной ($E_{t+\delta}$) модели в момент времени $t + \delta$;

г) определяется структурное отклонение (α_t) между значением зависимой переменной модели ($E_{t+\delta}$) и фактическим состоянием конструкции в момент времени $t + \delta$ (δ по умолчанию – один год);

д) принимаются три значения показателя, характеризующего состояние конструкции за три года t_2, t_3, t_4 . Вычисления п. б) - г) повторяются. Результатом вычислений является набор значений структурных отклонений, достаточный для построения функции структурных отклонений. В рамках предлагаемой модели - три значения, поскольку функция структурных отклонений представляется в виде степенного ряда, допускающего дифференцирование (минимум дважды);

е) определяются коэффициенты функции структурных отклонений: $\alpha_t = a_0 + a_1 \cdot t + a_2 \cdot t^2$ (a_0, a_1, a_2 - коэффициенты функции структурных отклонений);

ж) рассчитывается структурное отклонение, адаптирующее базовую динамическую модель к результатам измерений: $\alpha_{t+\delta} = \sum_{j=1}^N \frac{\alpha_t^{(j)}}{j!} \delta^j$;

з) результатом вычислений является построение базовой адаптивной модели, позволяющей прогнозировать состояние конструкции в момент времени $t + \delta$:

$$\hat{\theta}_{1,t+\delta} = \hat{L}_0 \quad \theta_{1,t} = \theta_{1n,1,t} + \sum_{j=1}^2 \frac{\alpha_t^{(j)}}{j!} \delta^j + \zeta_{1,t} . \quad (13)$$

Проиллюстрируем алгоритм получения прогнозных оценок состояния дорожной одежды на примере различных секций участка дороги, где было выполнено обследование. Обследованы три секции автомобильной дороги. Состояние секции км 416+300 достаточно хорошо соответствует базовой статической модели (расчетному сроку службы) и для прогнозирования ее деградации можно применить базовую модель с незначительной корректировкой. На второй и третьей секциях (секции км 396+700 и км 403+000 соответственно) имеются значительные отклонения (ухудшение состояния), следовательно, применение к ним базовой модели не дает правильного результата.

В таком случае необходимо откорректировать саму базовую модель. Рассмотрим схему получения оценок для секции км 403+000 (рис. 1). Сплошной линией обозначен ход процесса деградации, соответствующий базовой модели:

$$E = E_0 - k_1 \cdot \exp(-k_2 \cdot k_3^t), \quad (14)$$

где E, E_0 - соответственно текущее и начальное значения модуля упругости, МПа;

k_1, k_2, k_3 - постоянные коэффициенты модели.

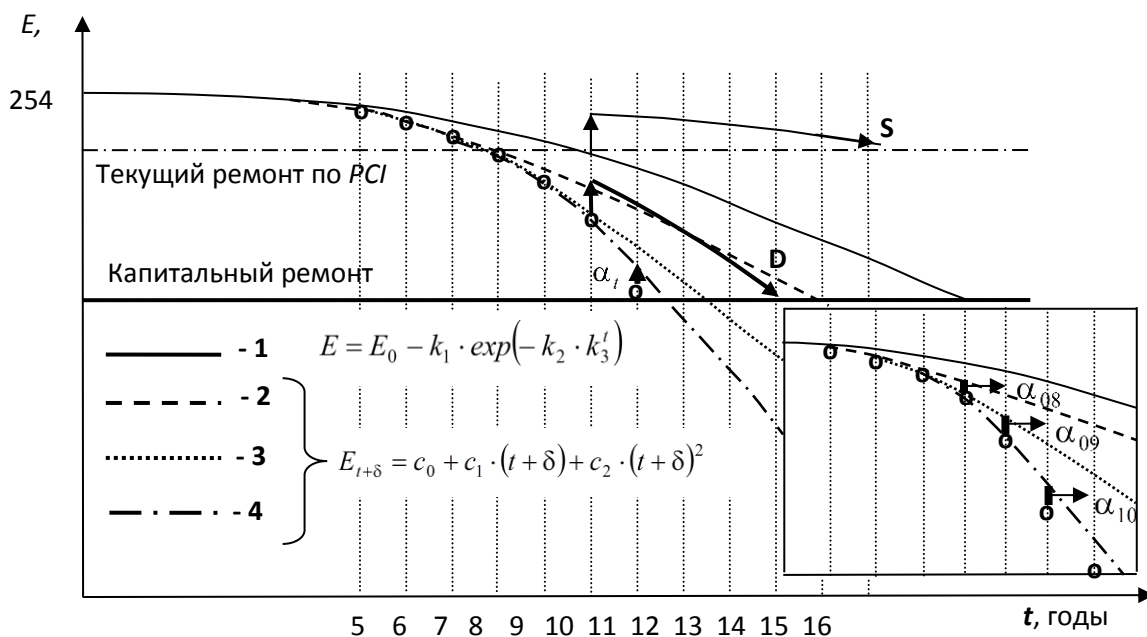
Фактическое состояние конструкции (с 2005 г. по 2011 г.) в соответствии с результатами обследований отмечено символами «0». Предположим, что изначально известны результаты обследований для периода: 2005 - 2010 годы и требуется сделать прогноз на 2011 год. В таком случае алгоритм прогнозирования на первом этапе заключается в построении оценочной кривой в соответствии с моделью (13) на основании данных 2005 – 2007 г.г. Принимаются минимум три значения, поскольку процедура построения оценочной кривой (т.е. по сути базовой динамической модели) в рамках первого этапа заключается в построении параболы, проходящей через три заданные точки. На данном этапе предполагается, что поправка $\zeta_{1,t} = 0$, поскольку прогнозируется состояние одного участка, на котором проводились измерения с достаточной точностью. Результатом расчета является функция, представленная в виде степенного ряда (12) (кривая «2», рис. 1).

Рассчитывается структурное отклонение $\alpha_t = \alpha_{08}$, характеризующее отклонение реального процесса деградации от модельного, как разность между фактическим состоянием конструкции (в 2008 г.) и прогнозируемым согласно первому приближению динамической модели. Операции расчета оценочной кривой и структурного отклонения повторяются для набора данных обследований за период 2006 – 2008 годы. Результатом расчета является модель вида (12), имеющая новый набор коэффициентов (кривая «3», рис. 1).

Таким образом, на этом этапе осуществляется обновление модели, что придает ей динамический характер.

Далее в рамках предлагаемой модели необходимо аналогичным образом обработать информацию о других участках данной группы и получить вид

поправочного члена $\zeta_{1,t}$, который представляет собой функцию распределения состояния участков, т.е. разброс их параметров.



1- базовая статическая модель; 2 – модель по данным 2005-2007 гг.; 3 – модель по данным 2006-2008 гг.; 4 – модель по данным 2009-2010 гг. – конечная базовая модель

Рисунок 1 – Прогнозирование состояния секции км 403+000 с помощью адаптивной динамической модели

Для корректного получения вида этой функции можно воспользоваться принципом случайной выборки большого числа участков для обследования и дальнейшей статистической обработки результатов. Однако, в рамках ограниченного финансирования более эффективен предлагаемый подход использования репрезентативной выборки участков.

Суть этого подхода в отборе двух групп из относительно небольшого числа участков, типичных для данной сети и проведении на них георадарного обследования с последующей обработкой результатов. Обработка заключается в получении распределений (функций $\zeta_{1,t}$) сначала для каждой группы в отдельности и затем для всех отобранных участков. Если полученные распределения совпадают, то результаты можно использовать на следующих этапах – прогнозирования на сетевом уровне. Если же имеются значительные отличия, следует провести детальный анализ причин, и в соответствии с его

результатами изменить схему отбора участков, либо применить иной принцип разбиения на группы.

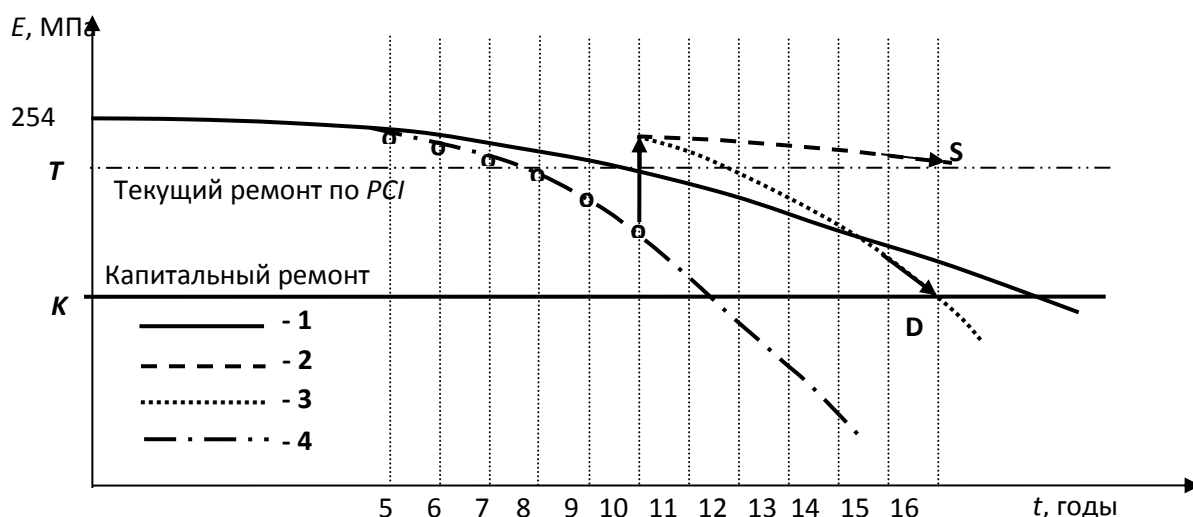
Для демонстрации других аспектов эффективности динамических адаптивных моделей рассмотрим два варианта ремонтной стратегии на участке км 403+00: планирование мероприятий в случае отсутствия результатов обследования (рис. 1); планирование мероприятий по результатам оценки PCI , либо измерения упругого прогиба как основной характеристики конструкции дорожной одежды (рис. 2).

В случае отсутствия результатов обследования (рис. 1) согласно статической модели (S) данная секция в 2010 году требует текущего ремонта и до 2016 года не будет требовать затрат на ремонт. В соответствии с динамической адаптивной моделью (D) данная секция после проведения работ по текущему ремонту уже в 2014 году потребует капитального ремонта, и общий объем ресурсов на восстановление дорожной одежды будет равен:

$$Z_D = Z_K + Z_T + \Pi_n, \quad (15)$$

где Z_D, Z_K, Z_T – суммарные затраты, затраты на текущий и капитальный ремонты соответственно;

Π_n – потери от роста себестоимости перевозок за данный период (2010 – 2014 годы).



1 – базовая статическая модель; 2 – процесс деградации на основе статической модели; 3 – процесс деградации на основе адаптивной динамической модели; 4 – процесс деградации без назначения мероприятий

Рисунок 2 – Эволюция состояния секции км 403+000 после ремонтных мероприятий: на основе статической и адаптивной динамической моделей

Проведение обследования на данном участке (км 403+00) с измерением упругого прогиба не позволяет судить о причинах, вызвавших изменения в ходе процесса деградации. Предположим, что в данном случае на основании нормативных документов [4] была назначена укладка слоя усиления без учета анализа причин (влажности грунта основания) отклонения показателей состояния конструкции от нормативных значений.

В таком случае в соответствии со статической моделью (рис. 2, кривая 2) процесс деградации приведет к тому, что в 2016 году конструкция вновь потребует текущего ремонта. В то же время, учет динамической модели (рис. 2, кривая 3) указывает, что в 16 году конструкция будет требовать не текущего, а капитального ремонта с соответствующими затратами. Кривая 4 (рис. 2) показывает ход процесса деградации без ремонтных мероприятий.

Следовательно, наибольшей эффективностью обладает назначение ремонтных мероприятий и прогнозирование деградации дорожных одежд на основе комплексных наборов данных (опирающихся на результаты георадарных обследований).

Таким образом, применение динамических адаптивных моделей для решения задач прогнозирования состояния дорожных одежд на уровне отдельных участков позволяет (в совокупности с результатами обработки георадарных данных) на качественно ином уровне решать задачи оптимизации и планирования ремонтных мероприятий.

Литература

1. Madanat S. Estimation of Infrastructure Distress Initiation and Progression Models / S. Madanat, S. Bulusu, A. Mahmoud // *Journal of Infrastructure Systems* – 1(3). – 1995. – PP.146-150.
2. Madanat S. Effect of Performance Model Accuracy on Optimal Pavement Design / S. Madanat, J.A. Prozzi, M. Han // *Computer-aided Civil and Infrastructure Engineering* – 17(1). – 2002. – PP. 22-30.
3. West M. Bayesian Forecasting and Dynamic Models: (2nd Edition) / M. West, P.J. Harrison. – New York : Springer-Verlag, 1997. – 680 p.
4. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України: П-Г.1-218-113:2009 – Офіц. вид. К.: Укравтодор, 2007. – 33 с. – (Нормативний документ Укравтодора. Правила).

Завойчинський В.О.

ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОРОЖНЬОГО ВИРОБНИЦТВА

Анотація: Управління системою ресурсного забезпечення виробництва пов'язується не тільки із різноманітними функціями менеджменту, але також і з функціонуванням так званих обслуговуючих підсистем – транспорту, підсистеми обслуговування технічних ресурсів, підсистеми матеріального забезпечення та іншими. Розроблені з цією метою моделі мають досить широке трактування що до своєї формалізації і напрямків використання та в основному орієнтовані на управління запасами ресурсів та товарів. Тому пропонується розробка відносно простих моделей ресурсного забезпечення процесів виконання робіт на мережі доріг регіону з урахуванням елементів організації виробництва робіт на окремих об'єктах за критерієм мінімальних витрат виробничих підрозділів.

Ключові слова: ресурсне забезпечення, організація виробництва, моделі управління, оптимізація процесів забезпечення, мінімізація витрат.

Аннотация. Рассмотрены принципы формализации моделей рационального управления ресурсным обеспечением на основе информации проектирования организации работ на сети дорог региона, в которой сочетаются производственные и технологические параметры с ресурсными параметрами

Ключевые слова: ресурсное обеспечение, организация производства, модели управления, оптимизация процессов обеспечения, минимизация затрат.

Annotation. In article are discerning the principles for compile one model of rational resources management which based on information of works organization for region roads net by combination of productions and technological parameters with resources parameters.

Key words: resource provision, production organization, management models, optimization of processes, minimizing costs.

Постановка проблеми

Управління системою ресурсного забезпечення є важливою функцією підтримання надійного та не збиткового виробництва. В досить розвинутих напрямках теорії управління ресурсами в матеріальному виробництві розвинуті різноманітні моделі, що відтворюють процедури постачання та використання ресурсів. Мова йде, як правило, про використання матеріальних ресурсів та створення продукції із короткостроковим попитом на ринку, яка в свою чергу також уявляється матеріальним еквівалентом вихідних компонент. Інколи в таких моделях в якості критерію управління матеріальними потоками на різних стадіях їх використання – при постачанні, виконанні складських операцій, організації запасів та використанні у виробництві – використовується додатковий ресурс – це гроші.

У створених моделях управління ресурсним забезпеченням не розглядаються багато аспектів, що мають практичне значення. Це проблеми використання основних засобів (технічних ресурсів), взаємна залежність окремих ресурсів як матеріальних, так і не матеріальних, наприклад, трудових, технічних в різних технологічних комплексах виготовлення продукції. Тому пропонується створення відносно простих і практично корисних моделей управління ресурсним забезпеченням різного типу складних технологічних систем, які мають стійкі кінцеві характеристики.

Сутність проблеми

Серед різних видів ресурсів, що використовуються в процесі планування та організації дорожнього виробництва, слід виділити трудові, матеріальні, технічні та фінансові ресурси. Природа кожного ресурсу є особливою і її специфіка формує умови використання ресурсів.

Так, управління системою підготовки та використання трудових ресурсів пов'язано із проведенням держаних та міжгалузевих заходів, що визначають соціальну політику держави та визначають структуру і кваліфікаційно-кількісні характеристики на ринку праці. Матеріальні ресурси відносяться до виробничих засобів і їх використання залежить від умов їх своєчасного залучення до виробництва із мінімальними збитками. Технічні ресурси відносяться до основних виробничих фондів і тому їх наявність та умови

використання залежать від самого підприємства. Фінансові ресурси носять роль фактора регулювання у відносинах між ресурсами і можуть бути використані як критерій оцінки прийнятих рішень певної системи забезпечення ресурсами виробництва. Наслідком такої короткої характеристики особливостей ресурсів є те що в системі ресурсного забезпечення виробництва основна увага повинна бути приділена матеріальному та технічному забезпеченні.

Сучасні теорії менеджменту виробництва, які мають відношення до процесів управління ресурсами, що використовуються в процесі виготовлення продукції, можливо виділити в дві основні групи – це теорія логістики [2] та теорія управління запасами [1,3].

В теорії логістики розглядаються процеси впливу на постачання ресурсів транспортної складової. Як правило, у цьому випадку розглядаються моделі, що призводять до мінімізації витрат на перевезення матеріальних ресурсів. Це і моделі типу «транспортна задача», це моделі визначення раціонального розташування баз постачання по відношенню до постачальників та утримувачів вантажів, моделі визначення раціонального типу транспортного засобу для окремих випадків перевезень та багато інших. Всі ці моделі мають місце для практичного використання, коли мова йде про значні обсяги виконання логістичних операцій, широкі можливості використання транспортних сполучень, значну номенклатуру постачальників та інші значні модифікації логістичних операцій. Але в транспортному будівництві внаслідок його специфіки та обмеженої номенклатури постачальників і типів транспортних засобів дії із логістичними операціями розглядаються більше в економічному аспекті, що проявляється на стадії проведення конкурсних торгів та обґрунтування ціни на перевезення вантажу.

В теорії управління запасами створено надзвичайно розвинута система моделей, в яких відображуються різноманітні задачі постачання матеріальних ресурсів. З цією метою розглядаються різні ситуації постачання та використання матеріальних ресурсів (товарів), а саме:

- різні типи постачання ресурсів – неперервні, дискретні, за певним умовами;
- різні форми використання ресурсів – одно часове використання, безперервні потреби, за стохастичними запитами, в обмежених інтервалах.

Розроблені моделі управління ресурсним забезпеченням орієнтовані головним чином на вирішення таких задач:

- визначення раціональних обсягів та інтервалів часу постачання ресурсів;
- розрахунок раціональних запасів матеріалів, в тому числі варіації їх значень за часом в різних умовах використання ресурсів;
- визначення раціональних параметрів організації складування ресурсів.

Розроблені математичні моделі для вирішення таких задач мають досить складну структуру, наприклад, [3], так як орієнтовані на вирішення оптимізаційних багатопараметричних задач. Власне рішення таких задач не уявляє собою реалізацію простих алгоритмів, а використовує досить складні ітераційні процедури, що робить моделі оптимізації управління ресурсним забезпеченням не привабливим для практичного використання. Тим більше, що мова йде про часткові задачі управління системою ресурсного забезпечення, тобто визначенням раціональних розмірів запасів матеріалів.

У більшості випадків в моделях управління запасами матеріалів використовується формула Уілсона, як дозволяє розрахувати оптимальні обсяги замовлення матеріалів та є основою для визначення його запасу. В принципі пошук раціонального запасу зводиться до формалізації функції L_t , що визначає можливі збитки від нестачі ресурсів (функція x_t) та розрахункові витрати на збереження запасів (функція y_t):

$$L_T = \min \sum_{t=1}^n f_t(x_t, y_t) \quad (1.1)$$

Управління системою забезпечення технічними ресурсами в будівельному виробництві в основному вирішується шляхом оцінки ефективності парку будівельних машин певної структури різними економічними показниками – інтенсивністю виробництва, фондovіддачею, виробітком, рівнем використання виробничої потужності [4]. Але проблема полягає у тому, що використання таких підходів вимагає нормування цих показників або встановлення раціональних границь їх визначення. Так як економічна природа всіх наведених показників є досить складною і залежною від структури робіт та особливостей виконання конкретних програм робіт, то

«нормування» показників уявляється як відносний (умовний) процес завдання їх бажаних значень. Тому практичне використання таких підходів оцінки забезпечення виробництва технічними ресурсами не уявляється перспективним та доцільним взагалі.

На основі аналізу напрямків, що використовуються в моделях управління ресурсами в реальних виробничих системах та і з урахуванням особливостей виконання виробничих програм дорожнього виробництва пропонується розробка комплексної моделі управління його забезпечення матеріальними та технічними ресурсами. Така модель може бути використана на різних рівнях управління та для різних груп дорожніх робіт, наприклад, на рівні планування робіт з ремонту мережі доріг.

Алгоритм проектування раціонального плану забезпечення матеріальними і технічними ресурсами, що використовуються під час виконання виробничої програми робіт, включає в себе послідовну реалізацію процесів моделювання розрахунку параметрів організації виробництва та динамічні характеристики використання матеріальних і технічних ресурсів. В якості вихідних даних використовується інформація про наявну кількість трудових і технічних ресурсів і їх виробничі характеристики, характерна для мережі доріг структура робіт, а також обсяги можливого виконання робіт на кожному об'єкті.

На першому етапі здійснюється визначення раціональної структури робіт на мережі доріг регіону при умові максимальної виробничої зайнятості при цьому трудових та технічних ресурсів. В процесі таких розрахунків реалізується імітаційний алгоритм послідовного технологічного призначення ресурсів окремим роботам, що формують типову структуру програми робіт. При моделюванні процесів забезпечення ресурсами робіт використовується система пріоритетів окремих робіт, що формується за спеціальними правилами. Наприклад, за критеріями вартості, критеріями технологічної переваги та іншими.

Розрахована максимальна виробнича програма використовується для вирішення послідовних задач:

- для вибору кращого варіанту розвитку парку технічних ресурсів при умові визначення можливого кошторисного прибутку та відповідного до нього фонду розвитку виробництва;

- як вихідна інформація для формування передумов проектування організації робіт при умові найкращого використання ресурсів.

Складання передумов напередодні проектування організації робіт передбачає проведення спеціального аналізу відповідності структури робіт окремих об'єктів – OP_{ij} (i – об'єкти, j – вид роботи чи трудового процесу), що в цілому формують структуру робіт та будуть виконуватись на всій мережі доріг, структурі робіт розрахованої максимальної виробничої програми – $OMax,ij$ (s – тип об'єкту, j – вид роботи чи трудового процесу). Такий порівняльний аналіз базується на оперуванні з відповідними матрицями, а його результати підтверджують чи корегують планову структуру робіт об'єктів.

Алгоритм проектування організації виконання робіт вибраної виробничої програми передбачає використання критерію мінімальних витрат, пов'язаних із використанням ресурсів – експлуатацію будівельних машин і механізмів та витрати на перевезення матеріальних ресурсів. В принципі алгоритм проектування організації робіт розвиває ідею теорії розкладу, тобто послідовного виконання робіт технологічно необхідними для цього ресурсами.

При визначенні прядку виконання робіт на окремих об'єктах та черговості виконання елементів трудових процесів власне в межах будівельних майданчиків використовуються матриці пріоритетів робіт. Особливості розрахунків полягають у тому, що враховуються витрати на внутрішні технологічні переміщення так званих простих ресурсів та складних ресурсів, а також витрати на комплексні перевезення ресурсів до об'єктів за різними варіантами – пряме постачання та об'єктне складування простих матеріалів. В результаті комплексного проектування організації робіт складаються кінцеві робочі документи графіки роботи будівельних машин і механізмів, графіки модернізації парку будівельних машин, графіки роботи виробничих підрозділів та графіки використання матеріальних ресурсів.

Висновок

На основі аналізу різних підходів та моделей, що складаються для вирішення задач забезпечення виробництва ресурсами, можливо зробити

висновок про те, що ці моделі досить розрізнені, мають складну форму своєї формалізації і потребують значні витрати ресурсів для свого використання. Тим більше, що більшість із таких моделей спрямована на управління запасами або оптимізацію економічних показників, які можуть бути отримані в результаті певного підходу по управлінню ресурсами.

Все це є причиною для постановки задачі по визначенню раціональних методів забезпечення виробничих програм дорожніх матеріальними та технічними ресурсами. Основою формалізації моделей раціонального управління ресурсним забезпеченням приймаються моделі проектування організації робіт певного типу на мережі доріг регіону. В моделі раціонального проектування організації робіт поєднують ся головні виробничі і технологічні параметри з ресурсними параметрами. Прийняття рішення по визначенню кращого варіанту виробництва, а таким чином – і ефективного варіанту забезпечення ресурсами, здійснюється з використанням економічних критеріїв, до яких віднесено критерій рівномірного використання ресурсів та мінімальних витрат на організацію матеріального забезпечення.

Література

1. Александрович В. М. Управление запасами и планирование снабжения. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-т, 2005. – 225 с.
 2. Семенов А.И., Сергеев В.И. Логистика. Основы теории:– СПб.:Изд-во «Союз», 2003. – 544 с.
 3. Рубальский Г. Б. Управление запасами при случайном спросе. – М.: Советское радио, 1977. – 160 с.
- Гарманов Е.Н. Экономическая эффективность дорожного хозяйства. – М.: Транспорт, 1984. – 173 с.

Кизима О.О.

ВИКОРИСТАННЯ КРИТЕРІЮ ВИРОБІТКУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Анотація. У статті відображено переваги використання показника виробітку у якості критерію при прийнятті організаційно-технічних рішень. Розглянуто переваги та недоліки основних моделей, що використовуються при проектуванні організації дорожнього виробництва.

Ключові слова: виробіток, проектування організації, моделі, рівнонапружене виробництво.

Аннотация. В статье отражены преимущества использования показателя выработки в качестве критерия при принятии организационно-технических решений. Рассмотрены преимущества и недостатки основных моделей, используемых при проектировании организации дорожного производства.

Ключевые слова: выработка, проектирование организации, модели, равнонапряженное производство.

Annotation. The article shows the advantages of using parameter of output as a criterion in making organizationally technical decisions. The advantages and disadvantages of the main models used in the design of road engineering.

Key words: output, planning of organization, models, a tense production is equal.

Організаційно-технічна підготовка виробництва, організація роботи супутніх систем, організація виконання виробничих процесів, що складають програми робіт окремих проектів є головними задачами менеджменту транспортного будівництва. Найбільш актуальною залишається проблема організації виконання виробничих процесів. На сьогоднішній день для вирішення цієї задачі виділені спеціальні розділи робочих проектів, проекти організації будівництва та проекти виконання робіт, однак, така система проектування організації виробництва орієнтована на використання

традиційних методів та моделей виконання робіт, системи техніко-економічних показників та критеріїв.

Зважаючи на реалії сьогодення, традиційні методи проектування організації дорожніх робіт вимагають певної трансформації. Це, насамперед, відноситься до жорсткого розмежування типів робіт – будівництва, ремонтів та експлуатаційного утримання. У зв'язку з критичною обмеженістю ресурсів постає необхідність створення таких методів, які б сприяли найбільш ефективному використанню наявних ресурсів, моделей організації робіт, які б враховували багатопараметричність та багатокритеріальність при прийнятті проектних рішень та критеріїв, які б об'єктивно відображали ефективність їх реалізації.

Під моделлю будівельного виробництва розуміється математичний опис взаємозв'язків виробничих процесів, що відображує з необхідним або можливим наближенням до дійсності характеристики і параметри технологічних, організаційних та економічних процесів в будівництві.

При проектуванні організації дорожнього виробництва використовують аналітичні, статистичні, економіко-математичні моделі та спеціальні моделі прикладної математики (моделі стохастичного та імітаційного моделювання, моделі теорії ігор, моделі теорії графів, теорія розкладу, теорія оптимального управління та ін.)

З допомогою аналітичних моделей є можливість отримати рішення в явній аналітичній формі, однак недоліком є наявність цілого ряду припущень і неможливість, в окремих випадках, вирішення рівнянь в аналітичній формі. Статистичне моделювання більш універсальне і гарантує можливість проведення аналізу систем будь-якого рівня складності, але статистичне моделювання вимагає значних витрат праці, і, в результаті, не визначає залежностей, а лише відображає їх.

Економіко-математичні методи є найбільш поширеними, однак, і у цих методах є свої недоліки. Недоліки таких моделей – це важкий перехід від вербального опису системи до математичного, що призводить до опису складних процесів спрощеними математичними моделями; не завжди коректна, з математичної точки зору, модель є адекватною економіко-математичною моделлю; при побудові моделей, передусім, звикли використовувати вартісні економічні показники, в той час, як організаційні, соціально-економічні, технологічні та інші фактори, які б могли значно змінити таку модель та

ефективність її використання ігноруються. Це суттєвий недолік існуючої системи моделювання організації дорожнього виробництва. Прийняття рішення щодо вибору оптимального варіанту організації виробництва, напевне, має базуватися саме на показниках (критеріях) виробничої діяльності, оскільки зважений підхід до організації роботи виробничих підрозділів, роботи машин та механізмів та ін. безпосередньо впливає і на інші показники діяльності дорожніх організацій. [1]

Існує потреба у створенні такої моделі, яка була б спрямована на рівноінтенсивне виробництво.

Одним з показників, що використовується для відображення рівня інтенсифікації будівельного виробництва є доля зміни обсягів виконаних робіт за рахунок зростання продуктивності праці. Цей показник визначається за формулою (1):

$$\Delta V = 100 - 100 \frac{\beta}{\alpha} \quad (1)$$

де β – відносний приріст чисельності працівників, що зайняті на будівельно-монтажних роботах і у підсобних виробництвах, %;

α - відносний приріст обсягів будівельно-монтажних робіт, %.

Однак і така формула в більшості випадків не дозволяє вірно визначити використання даного показника [2].

Аналіз показників і критеріїв, що використовуються для оцінки варіантів виконання робіт свідчить, що такий важливий і ефективний показник як виробіток при виконанні програм залишається не достатньо дослідженим. Цей, на перший погляд, простий показник відображує інтенсивність використання усіх видів ресурсів, має зв'язок з усіма показниками організаційно-технологічного характеру, об'єктивніше за інші критерії, що використовуються на практиці сьогодні, відображає реальні потреби та задачі організації виробництва. Використання критерію виробітку для вирішення задач організації виробництва пред'являє чіткі вимоги до процесів виконання програми робіт, сприяє рівнонапруженому виконанню дорожніх робіт і ефективному управлінню ним.

Виробіток (2) визначається відношенням обсягів виконаних робіт до кількості виконавців, що були задіяні у процесі виконання цих обсягів робіт за одиницю часу.

$$B = \frac{V}{\check{C}}, \quad (2)$$

де V – обсяги робіт;

$\check{C}$ – кількість виконавців.

Однак, наведена формула визначення виробітку не проста за своїм призначенням, оскільки на виробництві для одних і тих же обсягів робіт використання ресурсів характеризується нерівномірністю їх зайнятості, тобто, не рівнонапружене за часом.

Складність, практична привабливість та глибока економічна природа показника виробітку призвела до того, що його в минулому сторіччі прирівнювали до показника продуктивності праці.

Нажаль, на сьогоднішній день цей показник не досить досліджений і не застосовується для оцінки варіантів організації виробництва поряд з іншими критеріями.

Висновок

У зв'язку з критичною обмеженістю ресурсів методи проектування організації дорожніх робіт вимагають певної трансформації, а саме – розмежування типів робіт з будівництва, ремонтів та експлуатації. Постає потреба у створенні такої моделі, яка була б спрямована на рівноінтенсивне виробництво а також критерію, який би сприяв рівнонапруженому виконанню дорожніх робіт і ефективному управлінню ним. Дослідження та розробка науково-методичних основ визначення показника виробітку – важливі завдання наукового обґрунтування організаційно-технічних рішень.

Література

1. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. – М.: Наука. – 615 с.
2. Методическое руководство по расчету показателей производительности труда в строительно-монтажных организациях. – М.: Стройиздат, 1980. – 30 с.

Соколова Н.М., канд. економ. наук, Маковська Ю.А., Харченко К.Г.

ВИКОРИСТАННЯ КОНЦЕСІЙНИХ УГОД НА ОСНОВІ ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНОГО ПАРТНЕРСТВА В ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація. Головною проблемою дорожньої галузі є недостатність фінансування. Для залучення коштів приватного сектору в Україні, на сьогодні, не достатньо сформований економічний і організаційно-правовий механізм, який би забезпечив їх зацікавленість. В останні роки в світовому досвіді пов'язаному з дорожнім будівництвом, все частіше зустрічається таке поняття як «концесія».

У поширеній практиці концесії виступають специфічною формою залучення іноземного капіталу. Економічний зміст категорії «концесія» складають відносини між державою і приватним капіталом з приводу управління державною власністю на основі приватної ініціативи в рамках договірних відносин або форма господарської діяльності, заснована на тимчасовому використанні державної власності недержавним суб'єктом цієї діяльності на договірних умовах. Основною задачею концесії є усунення таких економічних протиріч: дозволить забезпечити економічне зростання при скороченні державних витрат, і при цьому державні функції будуть виконуватися на більш високому рівні без шкоди соціально-економічній стабільності.

Ключові слова: державне приватне партнерство, концесії, приватна фінансова ініціатива, методи.

Аннотация. Главной проблемой дорожной отрасли является недостаточность финансирования. Для привлечения средств частного сектора в Украине, на сегодня, не достаточно сформирован экономический и организационно-правовой механизм, который бы обеспечил их заинтересованность. В последние годы в мировом опыте связанном с дорожным строительством, все чаще встречается такое понятие как «концессия».

В распространенной практике концессии выступают специфической формой привлечения иностранного капитала. Экономическое содержание

категории «концессия» составляют отношения между государством и частным капиталом по поводу управления государственной собственностью на основе частной инициативы в рамках договорных отношений или форма хозяйственной деятельности, основанная на временном использовании государственной собственности негосударственным субъектом этой деятельности на договорных условиях. Основной задачей концессии является устранение таких экономических противоречий: позволит обеспечить экономический рост при сокращении государственных расходов, и при этом государственные функции будут выполняться на более высоком уровне без ущерба социально-экономической стабильности.

Ключевые слова: государственное частное партнерство, концессии, частная финансовая инициатива, методы.

Annotation. The main problem is the lack of road sector financing. To attract the private sector in Ukraine today, not enough current economic, organizational and legal mechanism that would ensure their interest. In recent years international experience associated with road construction, are increasingly found such a thing as a "concession".

In common practice, concession stand specific form of attracting foreign capital. Economic Meaning of the "concession" are relations between the state and private capital on state property management on the basis of private initiative in the form of contractual relationship or economic activities, based on temporary use of non-state-owned entity of this activity on the contract. The main objective should be the elimination of economic contradictions: will ensure economic growth while reducing government spending, while public functions will be performed at a higher level without compromising social and economic stability.

Key words: public private partnership, concessions, private finance initiative, methods.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день існують проблеми із фінансування і виконанням робіт в організаціях. В останні роки в світовій практиці для утримання дорожньої галузі все частіше використовують сучасні розробки в такому напрямку як державно-приватне партнерство, а саме договори концесії. Реалізація договорів концесії в Україні ускладнюється у зв'язку з відсутністю теоретичної бази, що б регулювала відносини між замовником і виконавцем.

Тому виникає потреба в розробці методики для використання договорів концесії в дорожній галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблемою впровадження концесій займалися такі науковці як Бланк-Бруд, Ф. Голдсміт, Н.Гарі, І.Садка, Д.Мартімонт та Дж.Поует [2,4,6,7].

Мета

Висвітлити важливість договорів концесії в дорожній галузі для залучення приватного капіталу на засадах державно-приватного партнерства.

Виклад основного матеріалу

За економічної кризи через брак коштів у бюджеті державі стає складно виконувати свої функції. Так постає питання як би поповнити бюджет. Останнім часом, держава збільшила економічний тиск на населення. Але це не допомогло зменшити профіциту держави, оскільки вона вдалась до іншого шляху вирішення даної проблеми – зовнішньої позики. Крім цих двох шляхів вирішення даної проблеми є ще один – залучення приватного капіталу. [12].

Однак роль держави в економічних процесах суспільства є одним із наріжних питань економічної теорії та багатовікової історії глобальної економічної практики. Принципово вона визначається приналежністю прав власності на засоби виробництва, рівнем державних витрат і ступенем нормативно-регулятивного впливу. Для того щоб зрозуміти економічну сутність державно-приватного партнерства в рамках даних категорій, потрібно розібрати основні підходи до вирішення зазначеного питання, складові економічної науки.

До середини XIX століття економічна теорія, що базувалася на працях англійських класиків політичної економії (А. Сміта, Д. Рікардо), [11] була пронизана ідеєю абсолютної залежності всіх господарських процесів від непорушної дії об'єктивних законів. Однак навіть у рамках ліберальної доктрини того часу існували погляди, що відводили державі активну роль у здійсненні економічного розвитку (в цьому напрямку працювали І. Бентам, Дж. Мілль, Дж. С. Мілль та інші). [11] Справжню революцію в економічній теорії, як відомо, справила опублікована в 1936 р. «Загальна теорія зайнятості, відсотка і грошей" Джона Мейнарда Кейнса.[13]

Складності полягають у теоретичних моделях протиріччя пов'язані, на мій погляд, з наявністю «стикових» областей господарської діяльності. Це області, де висвітлена класичними і неокласичними ідеями приватна власність і вільна ринкова конкуренція будуть шкідливі з точки зору національної безпеки і відповідності суспільним інтересам, але в той же час неефективне державне управління та зростаючі витрати бюджету викликають деградацію і гальмування соціально-економічного розвитку в цілому.

Даний висновок, по суті, є обґрунтуванням виникнення (друга половина XX століття) на практиці концепції партнерства держави і приватного сектору, так званого «public-private partnership» (державно-приватного партнерства). З теоретичної точки зору поряд з державним та приватним сектором економіки виникає ще один сектор, який увібрав у себе всі ті сфери, в яких ні держава, ні бізнес не здатні самотужки забезпечити одночасно і ефективність і стабільність. [5] Обсяг і структура цього сектора будуть індивідуальними для кожної країни і регіону в залежності від рівня розвитку та від економічної специфіки. Більш того, з плином часу все більшу кількість традиційно державних галузей народного господарства будуть доступні для участі в них бізнесу, а ряд в перспективі і зовсім повністю перейде під приватний контроль [14].

Таким чином, всі існуючі та майбутні форми взаємовідносин держави і підприємницьких структур, умовно знаходяться між державним замовленням і приватизацією, до яких застосовується зазначена ознака, є державно-приватним партнерством. При цьому не має значення, кому в цій взаємодії відводиться основна роль. Наприклад, концесії на виконання робіт з гарантійним терміном, що покриває термін експлуатації, і будівництво концесійного об'єкта з мінімальним фінансовим втручанням держави будуть рівною мірою являти ДПП.

У поширеній практиці концесії виступають специфічною формою залучення іноземного капіталу[1]. Економічний зміст категорії «концесія» складають відносини між державою і приватним капіталом з приводу управління державною власністю на основі приватної ініціативи в рамках договірних відносин або форма господарської діяльності, заснована на тимчасовому використанні державної власності недержавним суб'єктом цієї діяльності на договірних умовах.

Перші прояви концесійних відносин зустрічаються за часів Середньовіччя. Так, у X ст. німецький монарх Фрідріх Барбаросса

сформулював положення, згідно з яким ніхто не міг займатися гірничою справою, не отримавши на це концесію у короля. Аналогічні положення існували і у інших середньовічних державах.

За великої буржуазної революції, яка проголошувала свободу підприємницької діяльності, концесії змінюють свою суть, і якщо за часів Середньовіччя вони були чимось на кшталт особливих привілеїв, одержаних за плату від монарха, то тепер вони набувають соціального характеру: деякі підприємства є суспільно необхідними, тому вони мають постійно та планомірно функціонувати, а якщо від їх діяльності не буде великих прибутків - мало хто зацікавиться у вкладання у них коштів. Саме тому вони мають бути вилучені із приватної власності і в ту ж чергу, для економії державних коштів, надані у концесію [16].

Концесія - надання з метою задоволення суспільних потреб уповноваженим органом виконавчої влади або органом місцевого самоврядування на підставі концесійного договору на платній та строковій основі юридичній або фізичній особі (суб'єкту підприємницької діяльності) права на створення (будівництво) та (або) управління (експлуатацію) об'єкта концесії (строкове платне володіння), за умови взяття суб'єктом підприємницької діяльності (концесіонером) на себе зобов'язань по створенню (будівництву) та (або) управлінню (експлуатації) об'єктом концесії, майнової відповідальності та можливого підприємницького ризику [9].

З теоретичної точки зору, розглядаючи реальні діючі міжнародні концесії [2,6], можна стверджувати, що спектр концесійних умов досить широкий і категорія «концесія» не в повній мірі охоплює все різноманіття відносин держави з приватним сектором з управління своєю власністю. Зокрема, в ряді прийнятих в західній літературі класифікацій «концесія» виступає окремою самостійною формою цих відносин, співіснуючи поряд з іншими формами. Крім чисто теоретичних розбіжностей сприйняття суті концесії істотно ускладнюють різні підходи до використання даного механізму в господарському обороті різних країн.

Заслужує особливої уваги факт, що починаючи з 90-х рр.. XX в. «У країнах з перехідною економікою та в країнах, що розвиваються створено більше 2700 ДПП, у тому числі і в сфері інфраструктури» [3]. Згідно з даними звіту Лондонської міжнародної фінансової служби, що займається підтримкою експорту британських фінансових послуг, проекти на основі ДПП

розробляються в даний час в 60 країнах світу. В одній тільки Великобританії вартість об'єктів так званої «приватної фінансової ініціативи» (PFI), яка в цій країні є основною формою ДПП, протягом останніх 10 років становить 24 млрд ф. ст., а протягом наступних 3-х років планується реалізувати проекти на загальну суму 12 млрд ф. ст. Щорічно укладається до 80 нових угод. І, за даними британського уряду, аналогічні проекти забезпечують 17% економії для бюджету країни[7].

В Україні концесії регулюються Глава 40 Господарського кодексу України[8] , де визначено поняття концесії, засади концесійної діяльності, законодавство про концесії, найбільш загальні положення про концесійний договір, Законами України «Про концесії», «Про концесії на будівництво та експлуатацію автомобільних доріг», іншими нормативно-правовими актами.

У концесію надаються об'єкти права державної та комунальної власності, а саме:

- 1) майно підприємств, які є цілісними майновими комплексами або системою цілісних майнових комплексів;
- 2) об'єкти незавершеного будівництва та законсервовані об'єкти, які можуть бути добудовані з метою їх використання для надання послуг по задоволенню громадських потреб у сферах діяльності, визначених у Законі України « Про концесії»[9];
- 3) спеціально збудовані об'єкти відповідно до умов концесійного договору для задоволення громадських потреб.

Усі ці об'єкти надаються у випадку, якщо вони використовуються у наступних сферах господарської діяльності:

- 1) водопостачання, відведення та очищення стічних вод;
- 2) збирання та утилізація сміття;
- 3) будівництво (комплекс будівельних робіт, пов'язаних з будівництвом, реконструкцією, капітальним ремонтом) та (або) експлуатація: автомобільних доріг, об'єктів дорожнього господарства, інших дорожніх споруд, шляхів сполучення, вантажних і пасажирських портів, аеропортів, готелів, туристичних комплексів, кемпінгів та інших відповідних об'єктів туристичної індустрії, жилих будинків, внутрішньо-господарських меліоративних систем та окремих об'єктів їх інженерної інфраструктури;

- 4) транспортування та розподіл природного газу;
- 5) виробництво та (або) транспортування електроенергії;
- 6) громадське харчування;
- 7) використання об'єктів соціально-культурного призначення (крім розташованих у рекреаційних зонах);
- 8) створення комунальних служб паркування автомобілів;
- 9) надання послуг міським громадським транспортом;
- 10) надання послуг, пов'язаних з постачанням споживачам тепла;
- 11) надання поштових послуг
- 12) надання телекомунікаційних послуг, у тому числі з використанням телемереж;
- 13) надання ритуальних послуг;
- 14) надання послуг у житлово-експлуатаційній сфері;
- 15) інші сфери, перелік яких прийнято місцевими радами на пленарних засіданнях (щодо об'єктів права комунальної власності) [10].

У контексті викладеного, говорячи про найбільш можливі напрямки використання концесійної моделі ДПП та про потенційні концесійні об'єкти у сфері дорожнього будівництва, потрібно виділити наступні його напрямки та об'єкти:

- ✓ Реконструкцію, ремонт, будівництво та експлуатацію шляхів сполучення.
- ✓ Інфраструктурні забудову територій, прилеглих до доріг.
- ✓ Управління нерухомістю (будівлями музеїв, бібліотек, театрів і т.д.).
- ✓ Управління, модернізація та експлуатація технічної інфраструктури.
- ✓ Впровадження та експлуатація систем технічного забезпечення будівництва. Сучасний світовий досвід державно-приватного партнерства підтверджує реальність перспектив і економічну ефективність здійснення проектів на основі ДПП (в тому числі концесій).

Використання концесійних договорів можуть допомогти вирішити безліч проблем, що виникають в сучасних умовах господарювання. Враховуючи особливості дорожнього господарства України контракти дозволяють вирішити проблеми пов'язані з фінансуванням, так як державно - приватне партнерство

дозволяє скоротити витрати зі зростанням як продуктивності праці робочих так і підвищення якості робіт.

Партнерство держави і бізнесу може бути виражене різними формами. До таких звично відносяться оренда державного майна, державне замовлення, державні субсидії, бюджетні кредити, податкові відносини та ін. Однак у рамках наведеної вище теоретичної бази, ці відносини будуть складати публічний сектор економіки. Пайову участь держави в капіталах акціонерних товариств, навпаки, потрібно вважати заснованим на чисто ринкових засадах, оскільки, незважаючи на наявність приватного сектору, представляє державні інтереси сторони, головною статутною метою комерційної організованою господарської діяльності є виключно максимізація прибутку. [12] Державно-приватне партнерство, сутність якого знаходиться на стику державних і приватних повноважень, є цілком конкретним економічним поняттям, яке має бути відповідним чином визначено.

Головною перевагою державно-приватного партнерства в контексті концесій є гнучкість, обумовлена економічною та соціальною доцільністю. Роль держави може бути обмежена рівно настільки, наскільки це необхідно в кожній конкретній сфері, регіоні, проекті.

Висновок

Розвиток на практиці державно-приватного партнерства, а саме концесійних угод призведе до пом'якшення або навіть усунення одного з головних економічних протиріч: дозволить забезпечити економічне зростання при скороченні державних витрат, і при цьому державні функції будуть виконуватися на більш високому рівні без шкоди національній безпеці та соціально-економічній стабільності. Крім того утворюється безпрецедентний синергетичний ефект, який зумовить високі темпи якісного економічного зростання протягом довгострокового періоду.

Література

1. Athias, L. (2008): Political Accountability, Incentives and Contractual Design of Public-Private Partnership. Mimeo Atom, Paris.
2. Blanc-Brude, F., Goldsmith, H., Vălilă, T. (2006): Ex Ante Construction Costs in the European Road Sector: A Comparison of Public- Private Partnership and

- Traditional Public Procurement. European Investment Bank, Economic and Financial Reports 2006/1.
3. Estache, A. (1999) «Privatization and regulation of transport infrastructure in the 1990s: successes... and bugs to fix for next millennium». The World Bank.
 4. Gary, N. (2007): A Comparison of Alternative Procedures for Selection of the Private Partner in PPP Projects.
 5. Jezieruski L. Neighborhood and Public-Private Partnerships in Pittsburgh // Urban Affairs Quarterly, 1990. N 2. pp.217-249.
 6. Martimort, D. and Pouyet, J. (2008): Build It Not: Normative and Positive Theories of Public-Private Partnerships. International Journal of Industrial Organization, Special Issue on PPPs, 26: 393-411.
 7. Sadka, E. (2007):Public-Private Partnership - A Public Economics Perspective. CESinfo Economic Studies. Vol 53, 3/2007, pages 466-490.
 8. Господарський кодекс України (ст.406) м. Київ, 16 січня 2003 року N 436-IV.
 9. Закон України Про концесії (ст.1) м. Київ, 16 липня 1999 року N 997-XIV.
 10. Закон України Про концесії на будівництво та експлуатацію автомобільних доріг (Стаття 1) м. Київ, 14 грудня 1999 року N 1286-XIV (В редакції Закону N 891-VI від 15.01.2009).
 11. Історія економічних учень : Навчальний посібник / Юхименко П. І., Леоненко П. М. — К.: Знання-Прес, 2005.- 583 с.
 12. Кабашкин В.А. Державно- приватне партнерство як економічна концепція// Матеріали семінара 02.12.2009 28 с.
 13. Кейнс Дж. М. Загальна теорія зайнятості, відсотка і грошей. – М. : Гелиос АРВ, 1999.-348 с.
 14. Маколей Кэмбелл Р., Брю Стенли Л. Экономикс: Принципы, проблемы и политика / Пер. с англ. Т.2. – М.: ИНФРА-М, 2008. - 514 с.
 15. Медведєва О.А. Концесія як правова форма використання державного майна у господарській діяльності недержавними суб'єктами: Автореф. дис.канд юрид. наук: 12.00.04/ Національна юридична академія України ім. Ярослава Мудрого. - Х., 2005. - 19 С.
 16. Пузанова Г.И. Концессии: из истории правового регулирования. – О.: Астропринт, 2000. – 96 С.

Татусь В.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ РИЗИКІВ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Розглянутий підхід до оптимізації ризиків в управлінні проектами автомобільних доріг на основі створення резервів на пом'якшення ризику (запобігання ризику; передачі ризику; зменшення ризику) на основі використання імітаційного моделювання процесу реалізації проекту і генетичного алгоритму пошуку оптимальних значень керованих змінних - резервів. Наведені вихідні дані, необхідні для моделювання ризиків, а також результати моделювання для умовного прикладу.

Ключові слова: проектний ризик, оптимізація ризику, генетичний алгоритм, імітаційна модель.

Аннотация. Рассмотрен подход к оптимизации рисков в управлении проектами автомобильных дорог на основе создания резервов на смягчение риска (предотвращение риска; передачи риска, уменьшение риска) на основе использования имитационного моделирования процесса реализации проекта и генетического алгоритма поиска оптимальных значений управляемых переменных - резервов. Приведены исходные данные, необходимые для моделирования рисков, а также результаты моделирования для условного примера.

Ключевые слова: проектные риски, оптимизация риска, генетический алгоритм, имитационные модели.

Annotation. The approach to risk optimization in project management of highways through the creation of reserves to mitigate risk (risk avoid, risk transfer, risk reduction) through the use of simulation process of the project and the genetic algorithm search for the optimal values of controlled variables - reserves. Present input data required for risk modeling, and simulation results for an illustrative example.

Key words: project risk, optimization, genetic algorithms, simulation model.

Постановка проблеми. Реалізація проектів автомобільних доріг та їх інженерних споруд здійснюється в умовах невизначеності майбутніх природних, технічних, політичних, соціальних та економічних процесів. Управління проектними ризиками являє собою складну наукову задачу, яка знаходиться в центрі уваги наукового напрямку - управління проектами, проте стосовно проектів автомобільних доріг, особливо в Україні, ефективного розв'язання цієї задачі потребує подальших наукових досліджень. В першу чергу, це стосується створення моделей мінімізації негативного впливу ризиків. Проте збільшення витрат на реалізацію заходів з пом'якшення впливу факторів ризику і можливе зменшення втрат від їх дії повинні бути узгоджені на основі компромісного рішення про їх сумарний розмір.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В проектному менеджменті, зокрема в управлінні проектами автомобільних доріг і окремих інженерних споруд на автомобільних дорогах (мостів, тунелів, великих транспортних розв'язок тощо), в різних країнах світу значна увага приділяється оптимізації управління проектами на основі застосування генетичних алгоритмів (ГА) [1,2,3,4].

ГА призначені для вирішення задач оптимізації. Хоча в основі ГА лежить метод випадкового пошуку, основним недоліком якого апріорна невідомість витрат часу для вирішення завдання, в ГА для уникнення великих витрат часу на розв'язання задачі, застосовуються методи, відкриті при вивченні еволюції і походження видів. Як відомо, в процесі еволюції виживають найбільш пристосовані особини. Це призводить до того, що пристосованість популяції зростає, дозволяючи їй краще виживати в умовах, що змінюються. ГА був запропонований в 1975 році Джоном Холландом (John Holland) в Мічиганському університеті. Він отримав назву «репродуктивний план Холланда» і ліг в основу практично всіх варіантів ГА [5].

В ГА спочатку випадковим чином створюється кінцева множина – популяція можливих рішень задачі – особин або інакше хромосом, для кожного з яких обчислюється так звана функція пристосованості. Значення цієї функції характеризують ступінь досягнення цілі системи – однієї або декількох (оптимум за Парето). Хромосоми складаються з генів, що моделюють значення керованих змінних оптимізаційної задачі. З популяції тим чи іншим методом вибираються дві «батьківські» хромосоми, з яких шляхом схрещування (кросоверу) формуються два «нащадки». В операції кросоверу визначається

точка розділення хромосом, потім хромосоми обмінюються відповідними генами і утворюються дві хромосоми – «нащадки». Гени в знов створених хромосомах можуть з певною ймовірністю змінюватись – мутувати, за рахунок чого пошук продовжується в новому регіоні простору допустимих рішень. Крім того, нащадок може породжуватись оператором інверсії, коли хромосома ділиться на дві частини, і ці частини міняються місцями. Алгоритм:

1. Ініціювати початковий момент часу $T = 0$. Випадковим чином сформувати початкову популяцію з k особин.
2. Обчислити пристосованість кожної хромосоми і популяції в цілому (середнє значення).
3. Вибрати одну хромосому з популяції.
4. З вірогідністю кросоверу вибрати другу хромосому з популяції. Виконати кросовер.
5. З вірогідністю мутації виконати оператор мутації.
6. З вірогідністю інверсії виконати оператор інверсії.
7. Помістити отриману хромосому в нову популяцію.
8. Виконати операції, починаючи з пункту 3, k раз.
9. Збільшити номер поточної епохи $T = T + 1$.
10. Якщо виконалось умова зупину, то завершити роботу, інакше перехід на крок 2.

Найбільшу роль в успішному функціонуванні алгоритму грає етап відбору батьківських хромосом на кроках 3 та 4. Найбільш часто використовується метод відбору, званий рулеткою. При використанні такого методу ймовірність вибору хромосоми визначається її пристосованістю. Використання цього методу призводить до того, що ймовірність передачі ознак більш пристосованими особинами нащадкам зростає. Інший часто використовуваний метод - турнірний відбір. Він полягає в тому, що випадково вибирається декілька хромосом з популяції (зазвичай 2) та переможцем вибирається хромосома з найбільшою пристосованістю. Крім того, в деяких реалізаціях алгоритму застосовується так звана стратегія елітизму, яка полягає в тому, що особини з найбільшою пристосованістю гарантовано переходять в нову популяцію. Використання елітизму зазвичай дозволяє прискорити збіжність генетичного алгоритму. Недолік використання стратегії елітизму в тому, що підвищується ймовірність попадання алгоритму в локальний мінімум.

Інший важливий момент - визначення критеріїв зупину. Зазвичай в якості них застосовуються або обмеження на максимальне число епох функціонування алгоритму, або визначення його збіжності шляхом порівнювання пристосованості популяції на декількох епохах і зупинки при стабілізації цього параметра.

Постановка завдання. Викласти розроблений оптимізаційно-імітаційний алгоритм мінімізації ризиків проектів автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу. Можна прийняти, що життєвий цикл проекту автомобільної дороги включає фази проектування, будівництва (реконструкції або капітального ремонту) і експлуатації. Кінець дії проекту – це наступна реконструкція дороги (або наступного капітального ремонту). На всіх фазах виконуються притаманні їм роботи (в широкому розумінні), тривалість і вартість яких в умовах невизначеності випадкові, причому вартість робіт і всього проекту пропорційна (нелінійно) тривалості.

Окрім витрат на реалізацію проекту (проектування, будівництво, ремонт і утримання) користувачі доріг втрачають від невідповідних умов перевезень на всіх фазах проекту, отже ці витрати повинні бути враховані у функції пристосування.

Керовані змінні оптимізаційної задачі мінімізації негативного впливу ризиків – це резерви для пом'якшення ризиків, оптимальні значення яких необхідно знайти при розв'язанні задачі. Розмір резервів повинен бути таким, щоби їх розмір і можливі втрати від негативних подій створювали компромісне рішення.

Виходячи з цих передумов був розроблений оптимізаційно-імітаційний алгоритм мінімізації ризиків, сутність якого полягає в тому, що функція пристосування обчислюється як результат імітації вартості життєвого циклу дороги в наведеному вище розумінні.

Опис ризику в імітаційній моделі включає: код (ідентифікатор) ризику; опис події, яка спричиняє ризик; стратегію управління ризиком (уникнення, передача, пом'якшення, прийняття); оцінку імовірності настання події; мінімальне значення множника (коефіцієнта) збільшення тривалості робіт, яке визвано подією, яка спричиняє ризик; максимальне значення множника (коефіцієнта) збільшення тривалості робіт; гістограму оцінки розподілення величини множника збільшення тривалості робіт; мінімальне значення множника (коефіцієнта) збільшення вартості робіт, яке визвано подією, яка

спричиняє ризик; максимальне значення множника (коефіцієнта) збільшення вартості робіт; гістограму оцінки розподілення величини множника збільшення вартості робіт.

Опис робіт, які потрібно виконати для здійснення проекту, включає: код роботи; назву роботи; базову вартість роботи; проектну тривалість роботи; вартість затримки роботи на одиницю часу. Взаємозалежності робіт: код роботи; коди робіт, які передують даній. Дана робота може розпочатись після завершення передуючих їй. Ризики робіт: код роботи; код ризику, який впливає на здійснення даної роботи; вартість резерву для реагування на ризик (усунення ризику або його пом'якшення) – керована змінна.

Здороження вартості роботи за рахунок збільшення її тривалості обчислюється за формулою:

$$\Delta C = \sum_{i=1}^{i=N} (t_{ki} - t_n - T_o) \times C_z, \quad (1)$$

де i – номер випадкової події (ризик); N – кількість подій; t_{ki} – момент закінчення роботи за умови впливу i -ї події; t_n – момент початку роботи; T_o – базова тривалість роботи; C_z – вартість затримки роботи на одиницю часу.

В імітаційній моделі отримані результати мають характер неперервних випадкових величин і описуються гістограмами щільності розподілу та інтегральної функції (рис. 1, 2).

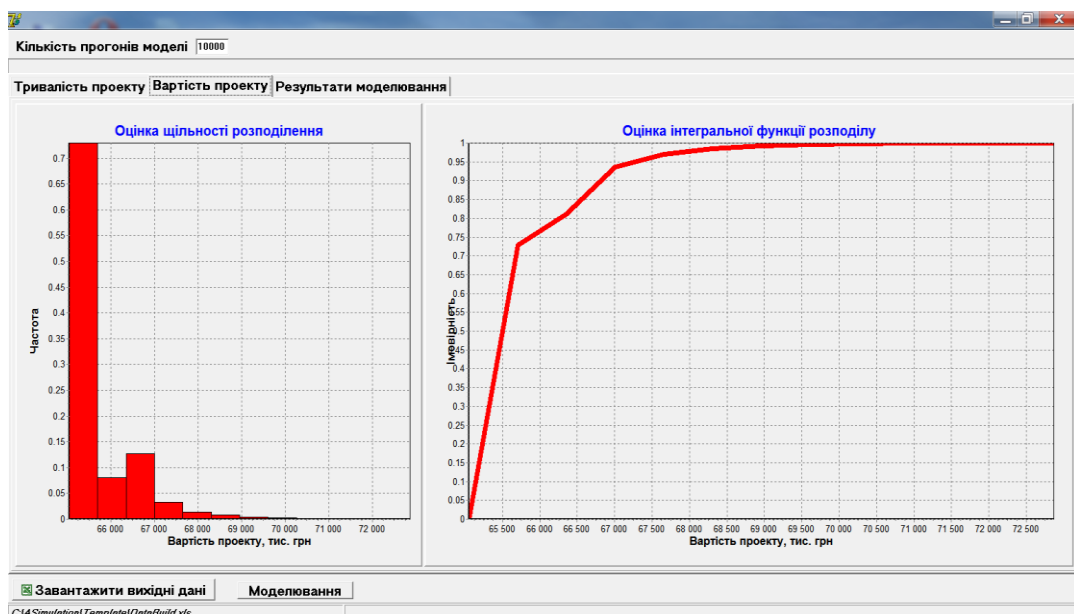


Рисунок 1 – Оцінка розподілення вартості проекту

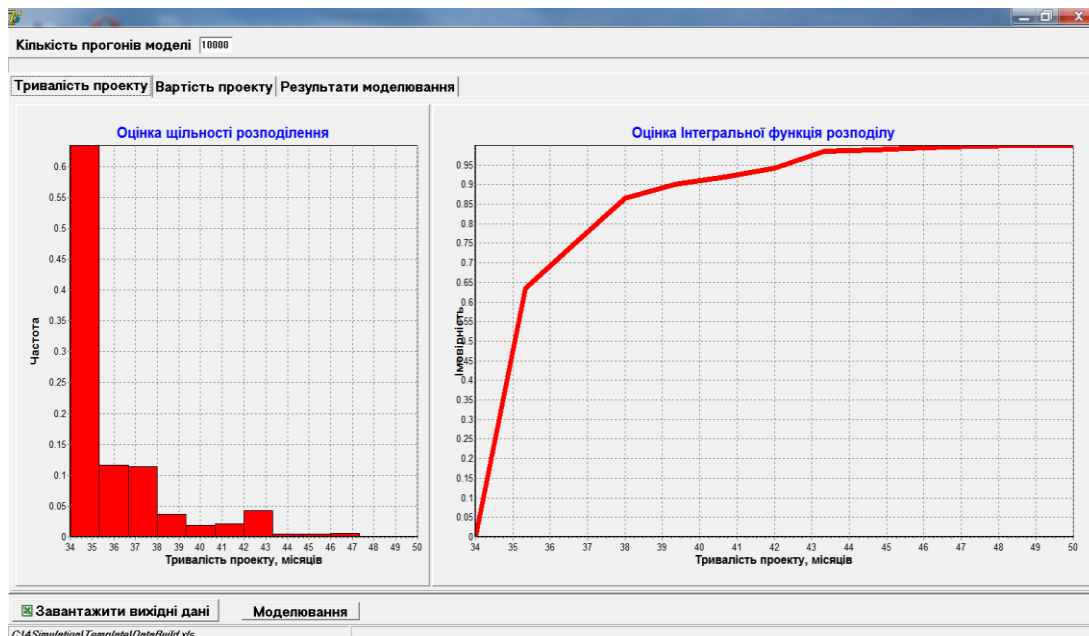


Рисунок 2 – Оцінка розподілення тривалості проекту

Розроблений генетичний алгоритм базується на представленні змінних рішень (вартостей резервів для реагування на ризик) двійковим кодом. Кожна змінна рішення моделюється геном, всі гени мають однакову довжину. В розробленій комп'ютерній програмі передбачені процедури кодування і декодування змінних рішення. Програмний модуль складається з двох частин: тестової програми, що слугує оболонкою для підготовки вихідних даних, управління процесом моделювання і виводу отриманих результатів; власне модулю генетичного алгоритму пошуку оптимального розміру резервів на пом'якшення ризиків.

Література

1. Quantitative Risk Analysis for Project Management. A Critical Review / Galway L. RAND Corporation working paper series, WR-112-RC, February 2004. – 52 p.
2. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms / Morcoux G., Lounis Z., Automation in Construction 14 (2005) 129– 142.
3. Genetic Algorithms for Optimization of Resource Allocation in Large Scale Construction Project Management / Huang J., Wang X. and Chen R., Academy Publisher, Journal of Computers, vol. 5, no. 12, december 2010, pp. 1916 – 1924.
4. Review of Application of Genetic Algorithms in Optimization of Flexible Pavement Maintenance and Rehabilitation in Nigeria / Chikezie C., Olowosulu A., Abejide O., Kolo B., World J of Engineering and Pure and Applied Sci. 2011;1(3), pp. 68-76.
5. Эволюционные методы моделирования и оптимизации сложных систем / Конспект лекцій, Авторы-составители: Е.С. Семенкин, М.Н. Жукова, В.Г. Жуков, И.А. Панфилов, В.В. Тынченко, Красноярск 2007. – 310 с.

Харченко А.М., канд. техн. наук, Сагатюк Я.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ ВАРТОСТІ ТА ТРИВАЛОСТІ ПРОЕКТІВ У ДОРОЖНЬОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Анотація. В статті проаналізовано останні дослідження щодо питання взаємозв'язку вартості та тривалості проекту. Показано важливість вирішення цієї проблеми для проектів, що реалізуються у дорожньому виробництві. Визначено, що поставлена проблема має складний характер з елементами невизначеності, а існуючі методи, що застосовуються для обґрунтування бюджету вартості та термінів здійснення проекту, недосконалі та потребують корегування в рамках управління проектами дорожнього виробництва.

Ключові слова: проект, вартість, тривалість, терміни виконання, фаза проекту, затримки, контракт

Аннотация. В статье проанализированы последние исследования по вопросу взаимосвязи стоимости и продолжительности проекта. Показана важность решения этой проблемы для проектов, реализуемых в дорожном производстве. Определено, что поставленная проблема имеет сложный характер с элементами неопределенности, а существующие методы, применяемые для обоснования бюджета стоимости и сроков осуществления проекта, несовершенны и нуждаются в корректировке в рамках управления проектами дорожного производства.

Ключевые слова: проект, стоимость, продолжительность, сроки выполнения, фаза проекта, задержки, контракт

Annotation. The article analyzes the recent research on the relationship between the cost and duration of the project. Shown the importance of solving this problem for projects implemented in road works. Determined that the problem posed is complex with elements of uncertainty and existing methods used to justify the budget cost and terms of the project are flawed and require correction under the project management of roads.

Key words: project, cost, duration, time frame, the phase of the project, delays, contract

Постановка проблеми. В умовах економічної нестабільності, невизначеності зростає необхідність нових підходів до оцінки та обґрунтування проектних рішень з будівництва, реконструкції, ремонту, утримання автомобільних доріг. Великий інтерес при цьому викликає проблема взаємозв'язку вартості та тривалості проектів. Адже, будь-які незаплановані затримки та часові корегування під час здійснення проекту у дорожньому виробництві можуть призвести до додаткових витрат, розмір яких не завжди можна попередньо вирахувати та врахувати у вартості проекту. Особливо це питання стає актуальним через впровадження та активний розвиток досліджень різних форм державно-приватного партнерства у дорожній галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За свідченням іноземних науковців 9 з 10 досліджених 167 проектів автомобільних доріг мали всередньому перевитрати на 20,4% [1,2,3]. Ідея комплексної оцінки категорій «вартість проекту» і «тривалість» в умовах невизначеності розглядалась вченими Kidd B., Zschau E., Wood D., Jin-Fang Shr, Credly G., Nuhu Braimah B.Sc., Yudha Andrian Saputra, Ode Siti Andini Ladamay, Chan D., Kumaraswamy M., Chidambaram Ramanathan, Верба В.А., Ковшун Н.Е. [4-8] та ін.

Проведений аналіз публікацій та досліджень показав, що саме питанню взаємозв'язку вартості і тривалості проектів у дорожній галузі приділена недостатня увага.

Мета статті. Метою даного дослідження є критичний аналіз попередніх досліджень та постановка проблеми взаємозв'язку вартості та тривалості проектів у дорожньому виробництві.

Виклад основного матеріалу.

У дорожньому виробництві існує два рівні проектів [9]:

- Загальний рівень - здійснюється на протязі всієї фази експлуатації дороги (між будівництвом або реконструкцією та наступною реконструкцією дороги).
- Щорічні проекти (що складають річні програми робіт) з різних видів ремонту і з утримання дороги (рис.1).

Будь-який процес (будівництво, реконструкція, ремонт, утримання) з точки зору теорії управління проектами може бути умовно розділеним на три важливих етапи (фази) [4]:

- концепція проекту,
- розробка проекту,

- виконання проекту (безпосередньо – будівництво, реконструкція, ремонт, утримання).

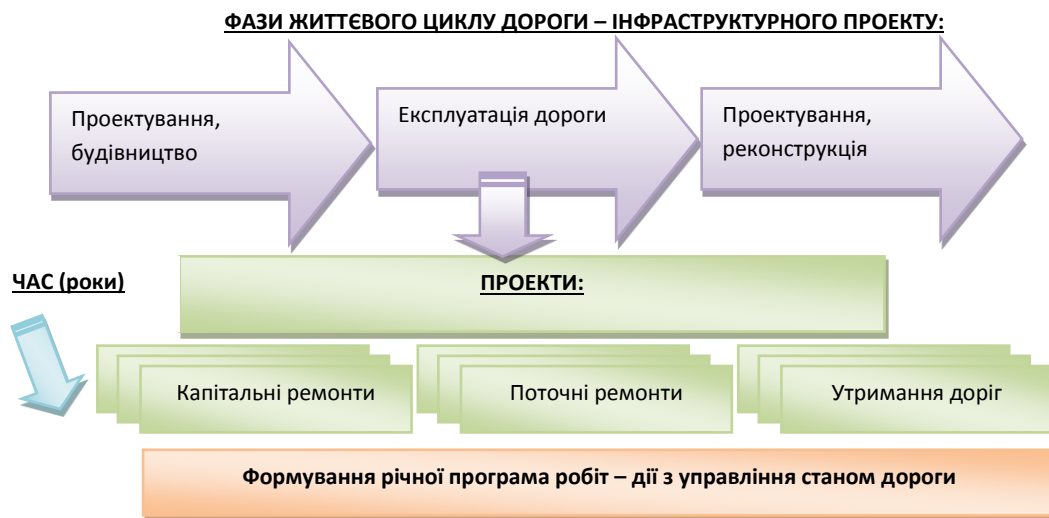


Рисунок 1 - Управління проектом експлуатації автомобільної дороги

Як правило, переважна більшість затримок через непередбачувані фактори виникає під час фази «виконання проекту» [4]. Для виконавця затримка означає втрату доходу через невиконання умов контракту або навіть застосування штрафних санкцій. Завершення проектів у строк є показником ефективності, але процес дорожнього виробництва є предметом багатьох змінних і непередбачуваних факторів, таких як наявність ресурсів, дія умов навколишнього середовища, участь інших сторін (субпідряд) тощо.

Коли має місце затримка у виконанні проекту, зазвичай, учасники переглядають терміни його виконання, з урахуванням додаткових витрат. Нормальною є практика врахування додаткових непередбачуваних витрат під час розробки проекту у вигляді відсотка від його вартості [5]. Проте, хоча під час підписання контракту сторони домовляються про терміни виконання і розмір додаткових витрат, пов'язаних із затримкою, у багатьох випадках виникають проблеми між замовником і підрядником щодо того, чи має право підрядник вимагати оплату за додаткові зміни. Таким чином, затримки в виконанні проектів у дорожньому виробництві викликають невдоволення всіх зацікавлених сторін і основна роль керівника проекту - переконатися, що проекти будуть завершені з урахуванням грошового та часового бюджетів.

Згідно [5], проект можна розглядати як "успішний", якщо він виконаний в рамках бюджету, в завданий строк, без затримок, за встановленими

показниками якості. Спроби передбачити додаткові витрати і тривалість проектів дорожнього виробництва являють собою складну задачу, яку намагаються вирішити обидві сторони: і замовник, і виконавець. Для вирішення цієї проблеми необхідно представити основні методи, що використовуються на практиці для обґрунтування функціонального взаємозв'язку між вартістю та часом здійснення проекту (табл.1).

Вибір одного з представлених методів дозволяє будь-якому учаснику процесу, залежно від наявної інформації, одержати чисельне значення вартості і тривалості проекту і при необхідності виконати їх коригування шляхом зміни прийнятих технічних та організаційно-технологічних рішень.

Таблиця 1 – Методи обґрунтування взаємозв'язку між вартістю та часом здійснення проекту.

№ п.п.	Назва групи методів	Суть	Сфера застосування
1.	Договірні методи	Методи, що засновані на врахуванні можливих непередбачуваних витрат та втрат часу під час укладання контракту	Використовуються для проектів, на виконання яких потенційно може вплинути думка споживачів (користувачів доріг)
2.	Методи стратегічного планування	Методи, які дозволяють врахувати непередбачувані витрати та втрати часу на стадії проектування, при цьому при укладанні контрактів використовується система штрафів та бонусів	Використовуються при укладанні контрактів, заснованих на показниках якості
3.	Статистичні методи	Методи, що засновані на історично-статистичному аналізі реалізації подібних проектів	Використовуються для переважної більшості типових проектів

Основним прийомом реалізації будь-якого з приведених груп методів є систематизація та класифікація факторів і параметрів, що впливають на тривалість та вартість проекту, їх кількісна оцінка та виявлення закономірностей впливу, розробка моделей для обґрунтування тривалості та вартості проекту дорожнього виробництва та прийомів їх коригування в залежності від поставлених цілей.

Сучасна світова практика свідчить про ефективність використання методів стратегічного планування. Саме система штрафів та бонусів стимулює підрядника до вчасного здійснення проекту. Проте питання врахування інших, незалежних від підрядника, факторів, що впливають на непередбачувані витрати, залишається відкритим.

Англійський дослідник Bromilow [6] пропонує застосовувати таку залежність часу від вартості проекту (формула 1):

$$T = KC^B, \quad (1)$$

де T - тривалість виконання проекту за контрактом (будівництво, ремонт, реконструкція, утримання);

C - кінцева вартість проекту при відносно стабільній вартості матеріалів та оплаті праці;

K - константа, що описує співвідношення загального рівня продуктивності до успішного проекту;

B – константа, що описує співвідношення часу виконання до вартісної оцінки проекту (за статистичними вимірюваннями).

В роботі [7] пропонується визначати вартість проекту, розділяючи її на дві частини:

- фіксовану (коли можна чітко визначити час реалізації та вартість процесу);
- змінну (процес з невизначеною вартістю і тривалістю).

Процес прийняття раціонального рішення щодо вартості та тривалості проекту здійснюється на основі врахування змісту, цілей та підстав для прийняття рішень (рис. 2).

Складний характер вирішення питання визначення вартості та тривалості проекту з урахуванням непередбачуваних витрат спонукав дослідників до формування наступних вимог [8]:

1. Під час підписання контрактів договірні сторони повинні обговорити та узгодити прийняття альтернативних рішень щодо непередбачуваних витрат.

2. Для мінімізації претензій, на етапі розробки проекту повинно бути виділено більше коштів та прийнято більший бюджет часу, щоб зменшити кількість змін у майбутньому контракті.

3. Для вирішення спірних питань щодо прийняття бюджету вартості та часу виконання проекту рекомендовано звернутися до третьої сторони, команди висококваліфікованих, досвідчених у галузі фахівців, які не є зацікавленою стороною у даному випадку.

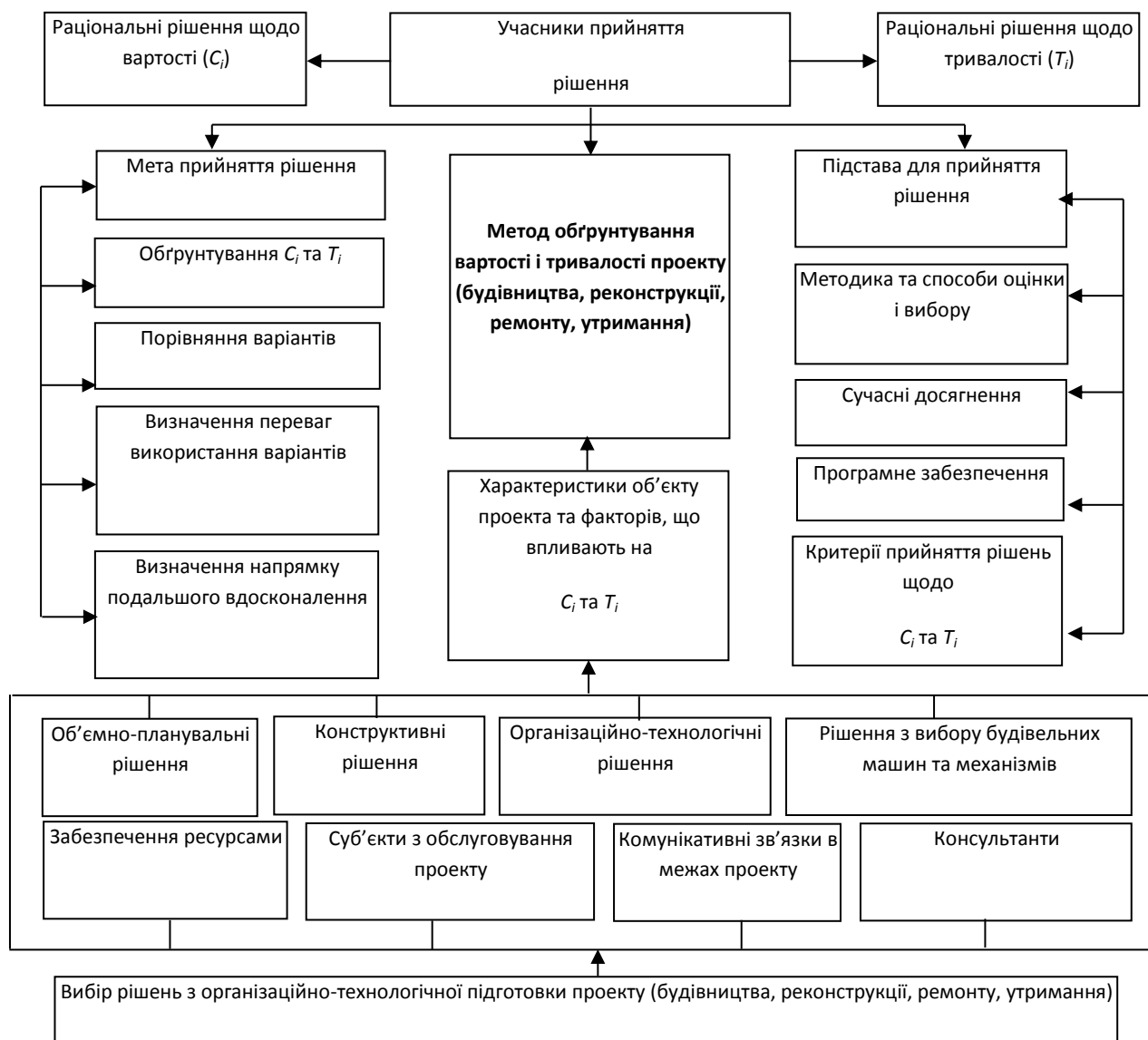


Рисунок 2 - Процес прийняття рішення з обґрунтування вартості і тривалості проекту

Нарешті, ряд дослідників у своїх працях критично віднесли до того, що більшість підрядників погано підготовлені до можливих непередбачуваних витрат під час реалізації проекту і не можуть належним чином відображати зміни, які відбулися в ході проекту. Такі недоліки на практиці заважають

аналізу ефектів різних заходів щодо мінімізації затримок виконання проектів та непередбачуваних витрат.

Висновки

Проведене дослідження дозволило сформулювати наступне твердження: проблема обґрунтування взаємозв'язку між вартістю та часом реалізації проекту відноситься до задач теорії управління проектами, має складний характер з елементами невизначеності, а існуючі методи, що застосовуються для обґрунтування бюджету вартості та термінів здійснення проекту, недосконалі, потребують більш ретельного вивчення та коригування.

Література

1. Flyvbjerg, Bent, Mette S. Holm, and S. Buhl. (2002). "Underestimating Costs in Public Works Projects," *Journal of American Planning Association*, Vol. 68, No. 3, 279-295.
2. Flyvbjerg, B., Holm, M. K. S., and Buhl, S. L. (2003). "How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects?" *Transport Reviews*, Taylor & Francis Ltd, UK, Vol. 23, No. 1, 71-88.
3. Touran Ali. Owners risk reduction techniques using a CM. Department of Civil & Environmental Engineering Northeastern University, 2006. – 55 p.
4. Chidambaram Ramanathan, SP Narayanan and Arazi B Idrus. Construction delays causing risks on time and cost – a critical review // *Universiti Teknologi Petronas*, Malaysia, 2012
5. Jin-Fang Shr, Wei-Tong Chen. Functional model of cost and time for highway construction projects // *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 14, No. 3, 2006. - pp. 127-138
6. Chan, D.W.M. and Kumaraswamy, M.K., Compressing Construction Durations: Lessons Learned from Hong Kong Building Projects // *International Journal of Project Management*, Vol.20, 2002. - pp.23-35.
7. Yudha Andrian Saputra, Ode Siti Andini Ladamay. Project reliability: probability of a project meets its quality-cost-time target under uncertainty // *International Journal of Electronic Business Management*, Vol. 9, No. 3, 2011. - pp. 220-230.
8. Nuhu Braimah B.Sc. An investigation into the use of construction delay and disruption analysis methodologies // A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements of the University of Wolverhampton for the Degree of Doctor of Philosophy, UK. – August, 2008.
9. Харченко А.М. Шляхи удосконалення річної програми дорожньо-ремонтних робіт / А.М. Харченко // *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип.79. – Київ, 2010. – С.80–86.

УДК 625.72:551.509.33

Артеменко В.А., Петрович В.В., канд.техн.наук

**О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОЙ АППРОКСИМАЦИИ**

Анотація. Наведені результати прогнозування середньодобових температур повітря у м. Києві методом локальної аппроксимації. Розглянуті можливості та переваги даного метода прогнозування.

Ключові слова: Температурний часовий ряд, прогнозування температури повітря, метод локальної аппроксимації.

Аннотация. Приведены результаты прогнозирования среднесуточных температур воздуха в г. Киеве методом локальной аппроксимации. Рассмотрены возможности и преимущества данного метода прогнозирования.

Ключевые слова: Температурный временной ряд, прогнозирование температуры воздуха, метод локальной аппроксимации.

Annotation. In this article are brought the results of the forecasting the mean – day air temperature in the Kiev – city by Local Approximation method. Possibility of the forecast and advantage of this method are discussed.

Key words: Air temperature time series, forecasting the air temperature, the Local Approximation method.

Введение

Лишь относительно недавно, благодаря применению методов нелинейной динамики и детерминированного хаоса, в области прогнозирования временных рядов наметился определенный прогресс.

Как известно, такие методы оказываются весьма эффективными при прогнозировании поведения детерминированно-хаотических (модельных) рядов, порожденных, например, итерацией каскадных систем (логистическое уравнение, уравнение Энона и др.), или эволюцией потоковых систем (уравнение Лоренца и другие системы обыкновенных дифференциальных уравнений, проявляющих хаотическое поведение) [1].

Однако в большинстве случаев природные процессы и явления порождают ряды, которые не являются в полной мере детерминированно-хаотическими рядами.

В том случае, когда такие природные ряды по многим своим свойствам будут достаточно близкими к модельным хаотическим рядам, прогнозирование их поведения с помощью методов нелинейной динамики даёт превосходные результаты.

В настоящее время известно достаточно много различных методов прогнозирования хаотических временных рядов.

Среди таких методов особо выделяется такой класс методов прогнозирования как методы локальной аппроксимации (методы **ЛА**-прогнозирования).

Один из наиболее простых в реализации метод **ЛА**- прогнозирования нулевого порядка рассмотрен нами в [1].

Вместе с тем подавляющее большинство природных временных рядов оказываются весьма далёкими по своим свойствам от модельных хаотических рядов. В этом случае качество прогноза сильно снижается [2].

Тем не менее, методы нелинейной динамики являются единственными методами, с помощью которых возможно адекватное прогнозирование подобных рядов.

В статье излагаются возможности прогнозирования температурных временных рядов методом локальной аппроксимации.

Результаты исследования могут быть полезны при дальнейшем совершенствовании расчетов теплового режима дорожных конструкций.

Метод локальной аппроксимации

В работе [1] был подробно рассмотрен один из наиболее простых методов прогнозирования временных рядов на основе принципов нелинейной динамики и детерминированного хаоса-метод локальной аппроксимации (метод **LA**) нулевого порядка.

Этот метод как бы непосредственно отражает идею аналогов, которые также часто называют аналогами Э.Лоренца.

Метод **LA** удобен тем, что имеет достаточно мало параметров (настроек) прогнозирования.

К таким параметрам относятся [1]:

DIM- размерность реконструированного фазового пространства(равна числу столбцов траекторной матрицы);

NNV- число аналогов, находимых для текущего вектора состояния, из которых далее формируется единый средний аналог;

N- общее число точек, на которое прогнозируется данный ряд;

NFS- число (точек), на которое осуществляли прогноз за одно обращение (один шаг) к процедуре **LA** – прогнозирования;

TAU- временная задержка, используемая при формировании траекторной матрицы (принято, что **TAU**=1).

Кроме того, этот метод позволяет осуществлять прогноз временных рядов с наличием в них фазовых переходов [3].

Следует отметить, что метод **LA** нулевого порядка не является лучшим методом с точки зрения получения сроков адекватного прогноза.

Так, использование метода **LA** первого порядка позволяет увеличить время прогнозирования, например, логистического ряда, примерно в 2 раза. Это в большей или меньшей степени относится и к другим модельным рядам.

Однако при продлении природных временных рядов методы **LA** с порядком аппроксимации выше нулевого следует применять осторожно, поскольку возможна численная неустойчивость таких методов прогнозирования. Заметим, что написать процедуру метода **LA** - прогнозирования достаточно легко. При этом не требуется обращения к таким особым процедурам как, например, **EIG**() либо **SVD**(), где необходимо привлечение серьёзных ресурсов ЭВМ (времени ,памяти).

Исходные данные и методика исследования

В качестве исходных данных использовался временной ряд среднесуточных температур воздуха в г. Киеве за период с 1985 по 2010 год (всего 9490 значений).

С целью облегчения манипуляций с рядом было принято, что в каждом году 365 дней, т.е. исключались данные за 29 февраля високосного года.

Рассмотрим вначале процесс прогнозирования температуры с опережением на одну точку (одно значение) вперёд на протяжении года.

Для этого исходный ряд с 1 января 1985 г. и по 31 декабря 2009г. включительно подаём на вход процедуры прогнозирования согласно [1].

В результате получаем прогноз на одну точку вперед (т.е. на 1 января 2010 года). Наносим на график эту прогнозную точку и точку реального ряда за 1 января. Далее подаем на вход процедуры прогнозирования реальный ряд с 1 января 1985 г. по 1 января 2010 г. включительно и получаем в итоге прогноз на 2 января 2010 г.

Фиксируем на графике новую прогнозную точку и точку реального ряда за 2 января, и так далее на протяжении года. И, наконец, подаем реальный ряд с 1 января 1985 г. по 30 декабря 2010 г. на вход процедуры прогнозирования и получаем прогноз на 31 декабря.

Окончательно наносим на график эту прогнозную точку и точку реального ряда за 31 декабря 2010 г.

Таким образом, применяя одношаговое прогнозирование 365 раз, можно получать ежедневные прогнозные значения на протяжении года.

На **рис.1** приведены результаты ежедневного прогнозирования температуры воздуха в г. Киеве за 2010г. при значениях параметров прогнозирования **DIM=10**, **NNV=1**, **N= 365** и **NFS=1**.

Как видно из рисунка, получен прогноз удовлетворительного качества. При этом в некоторых точках графика наблюдается значительное отличие реальных значений температуры (сплошная линия) от значений прогнозных (штриховая линия).

Увеличение числа находимых векторов – аналогов (**NNV=10**) заметно улучшает качество прогноза (см **рис.2**).

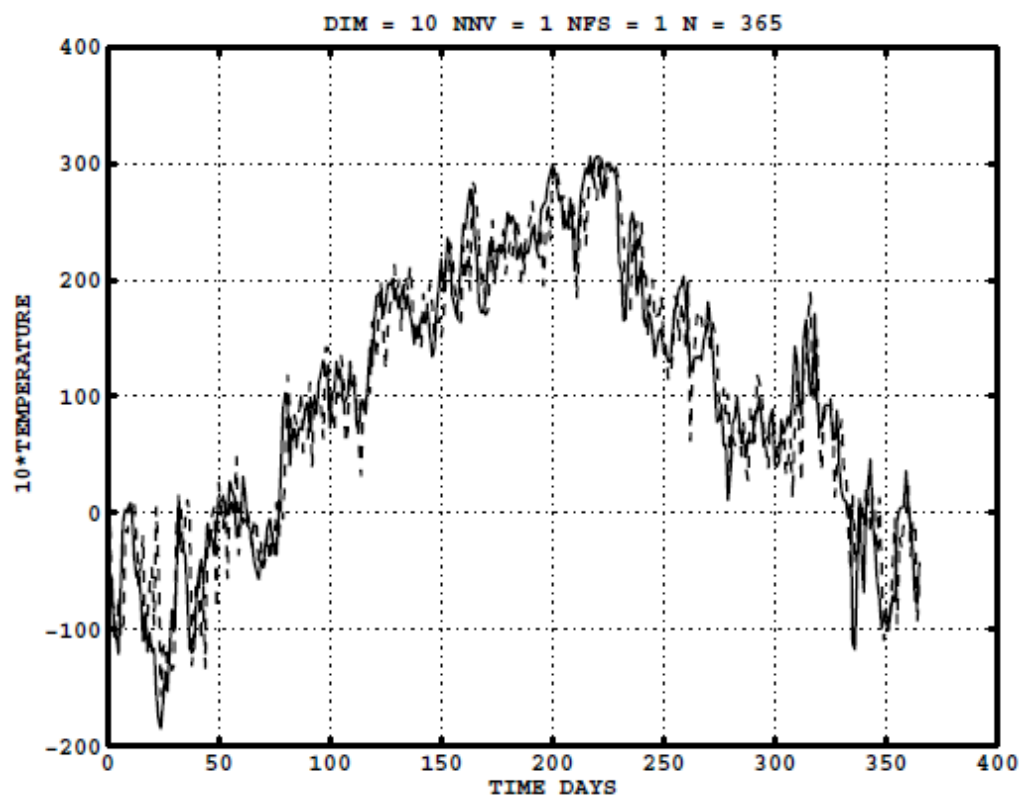


Рисунок 1

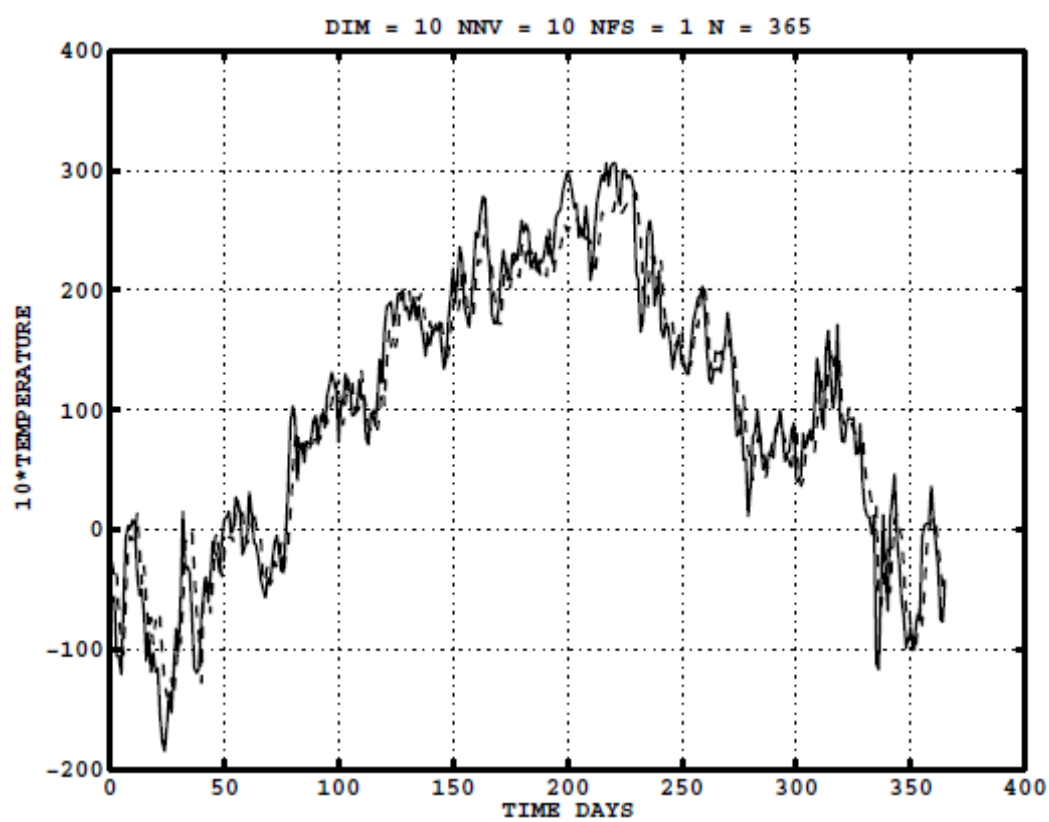


Рисунок 2

При этом данный пример не является случаем наилучшего прогнозирования, поскольку параметры **DIM** и **NNV** специально не подбирались.

В случае детерминированно-хаотического (модельного) ряда достаточной длины (порядка 10000 точек) при соответствующем выборе **DIM** и значении **NNV=1** будем иметь почти полное совпадение реальных и прогнозных точек на графике. В тоже время, как показали проведенные численные эксперименты, для « случайного » ряда, сгенерированного с помощью «генератора случайных чисел», не удаётся получить адекватный прогноз даже на одну точку вперёд. В этой связи **рис.1** и **рис.2** прямо говорят о детерминируемости ряда среднесуточных значений температуры воздуха.

Таким образом, метод **LA** – прогнозирования также является и методом анализа временных рядов на детерминируемость, т.е. с помощью этого метода можно легко отличить детерминируемый ряд от «случайного» ряда.

Однако в данном случае понятие «детерминированности» следует понимать в контексте лишь отличия таких рядов от рядов «случайных»: т.е. если температурный ряд адекватно прогнозируется при помощи метода **LA** с опережением как минимум на одну точку (значение) вперёд, уже можно говорить о нем как о «неслучайном» ряде.

Термин «детерминированный», по-видимому, следует использовать, если прогнозируемость рассматриваемого ряда в достаточной степени приближается к прогнозируемости модельных хаотических рядов.

Однако прогноз, рассмотренный выше, не представляет особого интереса для практики, поскольку выполняется только на 1 точку (значение) вперёд (для прогноза постоянно необходимы данные реального ряда за предыдущие сутки).

Далее рассмотрим возможности прогнозирования ряда температуры воздуха на более длительные сроки. При этом используем только некоторую часть процедуры прогнозирования, позволяющую проследить эволюцию исходного вектора и его вектора-аналога сразу на определенное число точек вперед, без прогнозирования всех промежуточных точек (см.**рис.3** - **рис.9**).

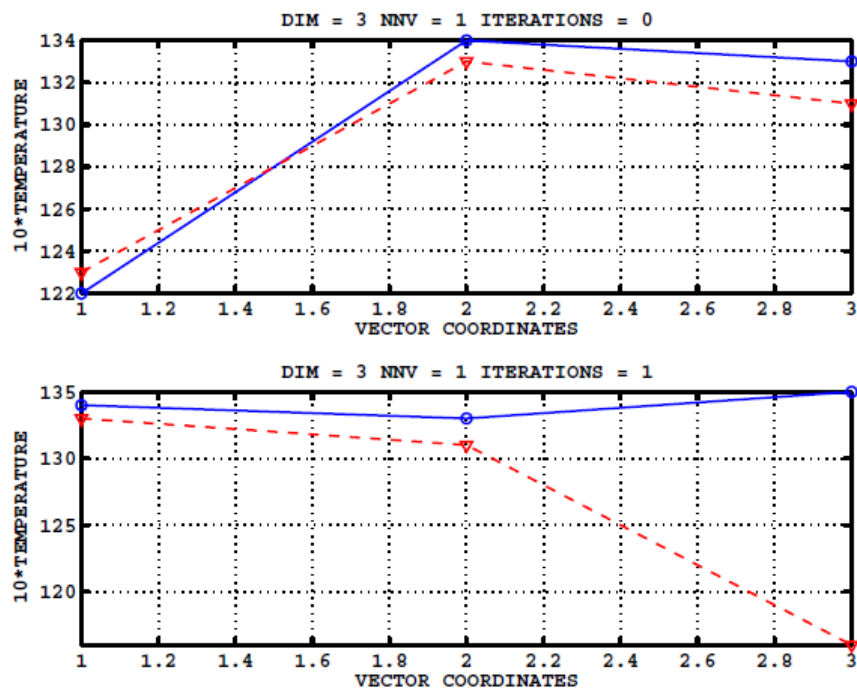


Рисунок 3

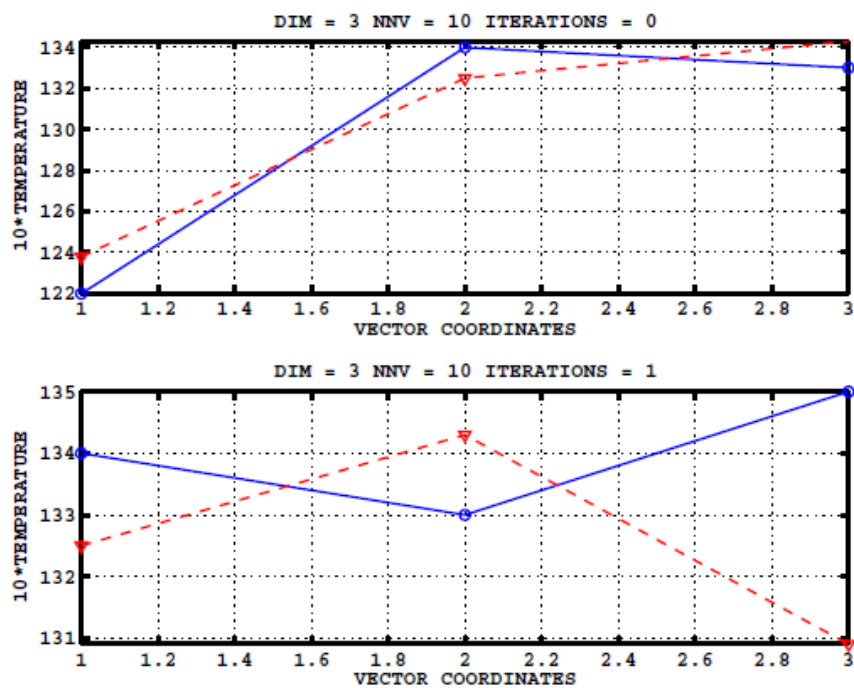


Рисунок 4

На этих рисунках верхняя часть показывает исходный вектор (сплошная линия) и найденный для исходного вектора его вектор-аналог (штриховая линия).

Нижняя часть рисунков иллюстрирует эволюцию исходного вектора и его вектора–аналога после проведения соответствующего числа итераций (перемещение «вниз» по траекторной матрице согласно [1]).

Как видно из **рис.3**, даже после одной итерации наблюдается расхождение исходного вектора и его вектора – аналога. Это может быть вызвано, возможно, тем, что при достаточно низкой размерности (**DIM=3**) происходит соответствующий выбор вектора – аналога, который является аналогом лишь в настоящий момент времени, но не является аналогом для процесса эволюции системы.

На **рис.4** приведен случай, когда **DIM=3**, но для вектора – аналога берут уже среднее арифметическое из десяти найденных аналогов (**NNV=10**). В данном случае также имеет место расхождение векторов даже после одной итерации.

Однако достаточная длина векторов (**DIM =15**) позволяет в некоторых случаях подбирать аналог, остающимся таким (с достаточной степенью точности) и для всего процесса эволюции (правда, всего на один шаг, т.е. одну итерацию согласно **рис.5**).

Конечно, делать подобное заключение на основании только последнего примера не совсем корректно, поскольку следовало бы рассмотреть максимальное число векторов - аналогов, взятых в разных частях траекторной матрицы как при параметре **DIM=3**, так и при **DIM=15**.

Однако в качестве примера можно ограничиться и таким значением аналога.

Далее рассмотрим случай, когда **DIM=15**, но **NNV=20** (см. **рис.6**). Несмотря на то, что берем уже 20 векторов - аналогов с разных частей траекторной матрицы, результат получаем не намного лучше приведенного на **рис.5**.

На **рис.7** видно, что при **DIM=30** даже дальнейшее увеличение числа выбираемых аналогов (**NNV=30**) не позволяет все же сформировать достаточно хорошего аналога для исходного вектора. Однако при этом заметно уменьшается расхождение рассматриваемых векторов.

Переходим теперь к рассмотрению случаев, когда выполняется более одной итерации. Только такие случаи наиболее интересны для практики.

Так, при **DIM=30** для 5 итераций даже при значении **NNV=30** не добиваемся отличного совпадения реальных и прогнозных значений ряда температуры (см. **рис.8**).

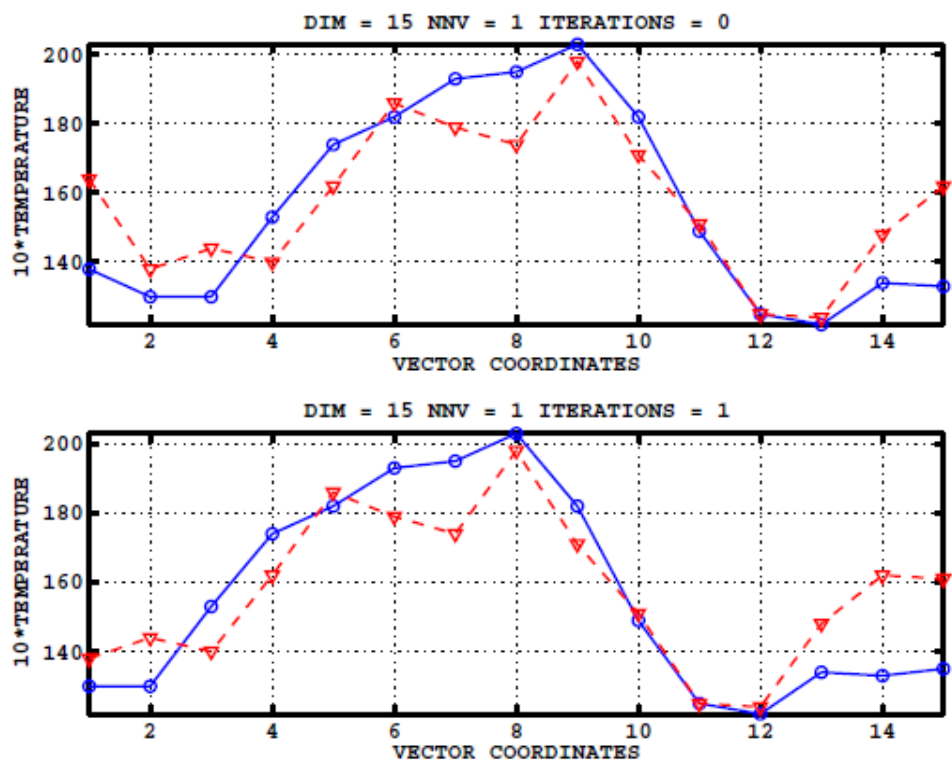


Рисунок 5

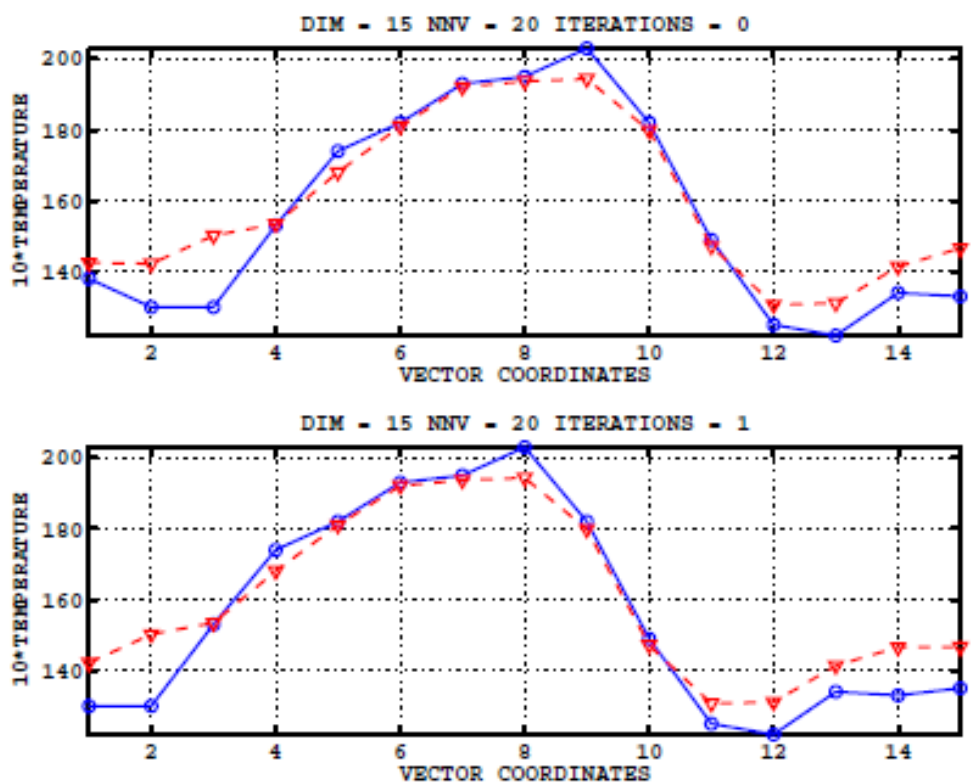


Рисунок 6

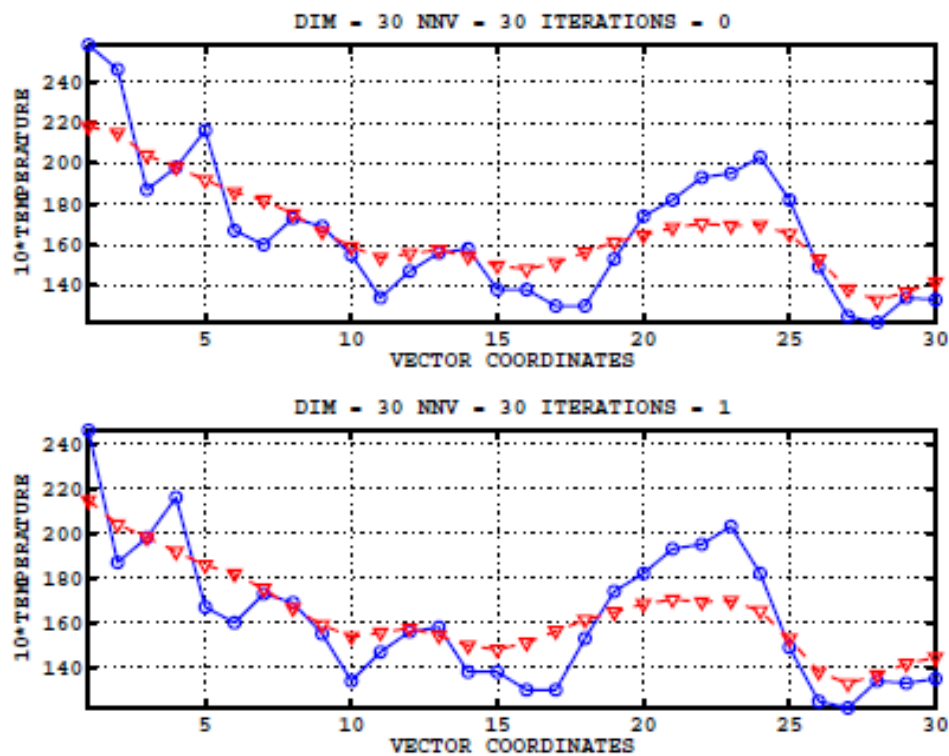


Рисунок 7

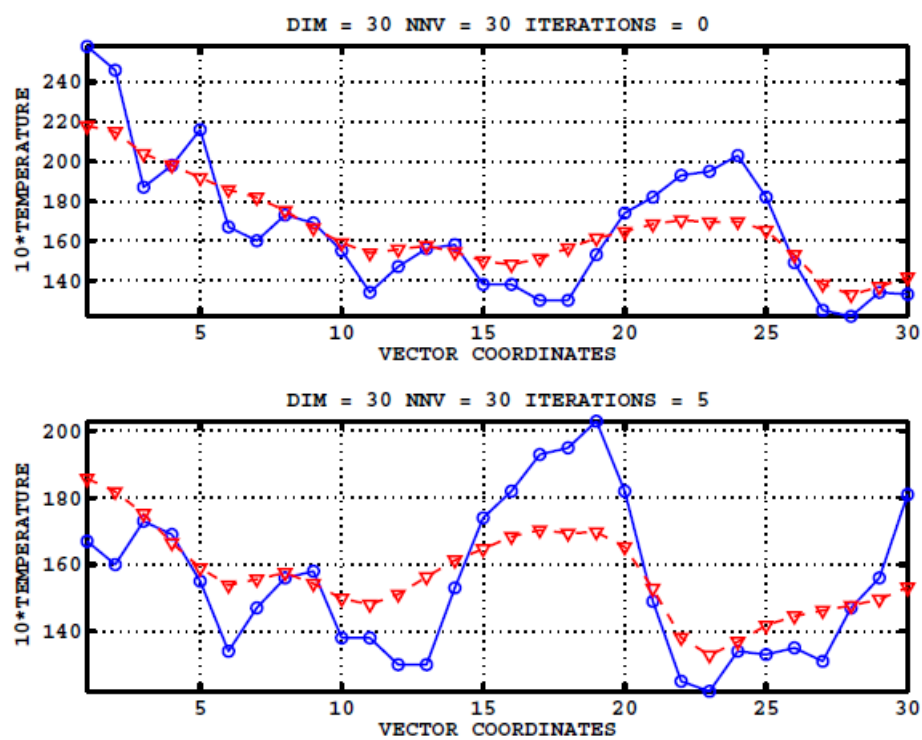


Рисунок 8

Однако ошибка в данном случае не превосходит значения примерно $2,5^{\circ}\text{C}$, что для некоторых практических целей будет вполне достаточно.

На **рис.9** приведён результат для 10 итераций при тех же значениях **DIM** и **NNV**.

В этом случае прогноз с достаточной для практики точностью на 10 суток вперёд является максимальным.

Более долгосрочный прогноз получается уже неудовлетворительным.

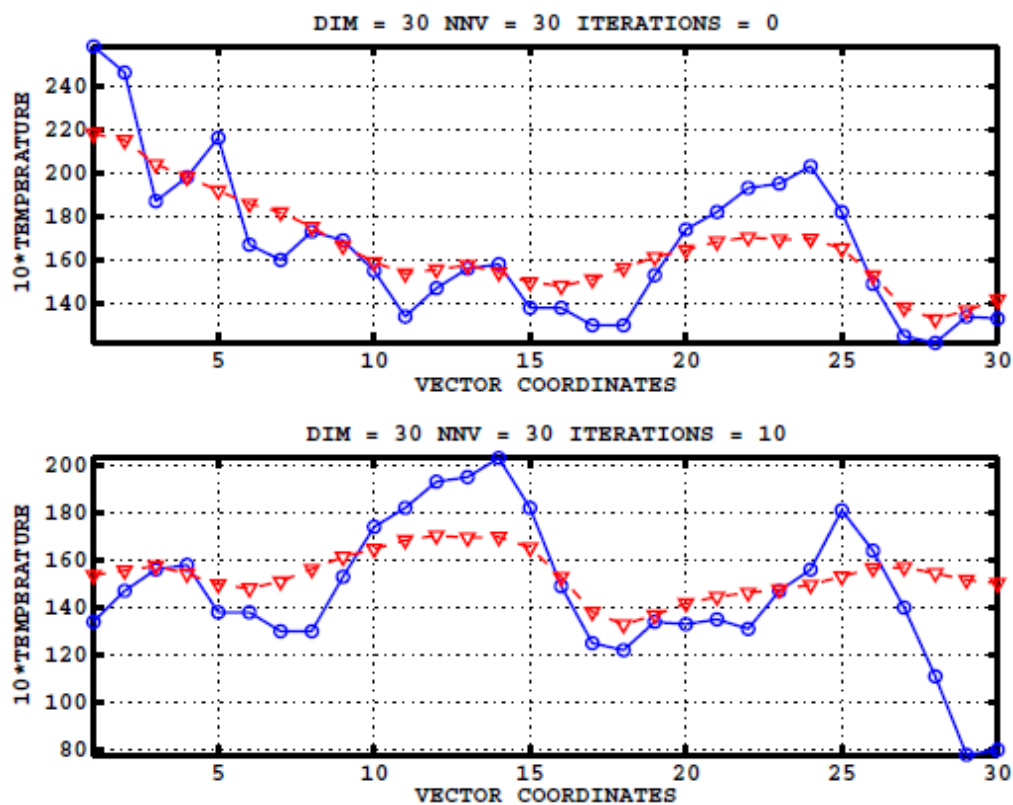


Рисунок 9

Обсуждение результатов

Подбирая различные параметры процедуры прогнозирования, мы установили, что прогноз отличного качества может быть сделан на 1...3 точки (суток) вперёд, хороший прогноз – до 5 точек (суток) вперёд.

Прогноз, который скорее всего следует назвать удовлетворительным, получается до 7 точек (суток) вперёд.

И только значительно снизив высокие требования к качеству прогноза, можно говорить о прогнозе до 10 (иногда до 12) суток вперёд.

Такой прогноз на 10-12 суток представляет наибольший интерес для практики.

Заметим, что результаты прогноза среднегодовых температур воздуха для г.Киева при использовании метода линейных разностных уравнений с отклоняющимся аргументом (уравнений «с задержкой») дают почти такой же результат «предела предсказуемости» по количеству прогнозных точек [4].

Как показали проведенные численные эксперименты, основная проблема, возникающая при прогнозировании температуры воздуха (как, собственно, и других природных временных рядов) методом **LA**, - нельзя хорошо подобрать близкие векторы-аналоги при достаточно больших значениях параметра прогнозирования **DIM**. При малых значениях этого параметра, как было отмечено выше, находимые аналоги хотя и являются достаточно близкими с точки зрения нормы векторов, тем не менее аналогами в смысле эволюции системы уже не являются. Это говорит о том, что, по-видимому, существующий оптимум в данном случае будет при значениях $\mathbf{DIM} \approx 10 \dots 15$.

Заметим, что модельные детерминированно-хаотические ряды при длине порядка 10 000 значений (точек) позволяют находить векторы-аналоги с очень большой точностью и использовать преимущества метода **LA** – прогнозирования в полной мере.

Использование временного ряда среднесуточных температур воздуха даже длиной более 40 000 значений не улучшает качества подбора аналогов (не гарантирует нахождения достаточно близких аналогов).

В этом состоит одна из причин малых сроков прогноза подобных временных рядов.

Использование ансамбля векторов-аналогов (большой величины параметра **NNV**) качества прогноза кардинально не улучшает.

В заключение отметим, что прогноз температуры, например, на 3 ... 5 суток вперед выполняется методом **LA** меньше чем за минуту даже на ПЭВМ 10...15-летней давности.

Таким образом, достигается громадное преимущество по сравнению с программами на основе гидродинамических моделей, которые в настоящее время широко используются в практике метеорологического прогнозирования. Такие программы реализуются на суперкомпьютерах и задействуют огромные вычислительные ресурсы.

Кроме того, для прогноза методом **LA** требуется только временной ряд хода температуры в отличие от трудоёмких подборов многочисленных параметров у гидродинамических моделей.

Краткие выводы

1. Изучены возможности прогноза среднесуточных температур воздуха в г.Киеве методом локальной аппроксимации (методом **LA**).

Установлено, что «предел предсказуемости» в данном случае зависит от качества подбора близких векторов-аналогов при достаточно больших значениях параметра прогнозирования **DIM**.

2. Как показали проведенные исследования, метод **LA** – прогнозирования является в то же время и методом анализа временных природных рядов на детерминированность. С помощью этого метода можно легко отличить детерминированный ряд от ряда «случайного».

3. Отмечены значительные преимущества прогнозирования температурных временных рядов методом **LA** по сравнению с используемыми в настоящее время программными комплексами на основе гидродинамических моделей.

Литература

1. Артеменко В.А., Петрович В.В. Прогнозування нерегулярних часових рядів методом локальної аппроксимації//Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 86. – К.: Вид-во НТУ. – 2012. – С. 176 – 195.
2. Артеменко В.А., Петрович В.В. Использование хаотического LA – фильтра при прогнозе природных процессов методами нелинейной динамики // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – Вип. 88. – К.: Вид-во НТУ. – 2013. – С.
3. Петрович В.В., Артеменко В.А. Порівняльна оцінка виникнення фазових переходів в часових рядах температури// Дороги і мости. – Вип.12. – К.: Вид-во ДерждорНДІ. –2010. – С. 150-158.
4. Петрович В.В., Артеменко В.А. Метод наддовгострокового прогнозу змін в часових кліматичних рядах// Дороги і мости. – Вип. 13. – К.: Вид-во ДерждорНДІ. – 2011. – С.106 – 114.

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ГНУЧКОЇ АНКЕРНОЇ ПІДПІРНОЇ СТІНКИ

Різні типи підпірних стінок, що використовуються для утримання земляного полотна високих насипів автомобільних доріг мають свої переваги і недоліки відповідно до конкретних умов. Тонкостінні гнучкі анкерні підпірні стінки доречно використовувати не тільки з точки зору економії матеріалу і зменшення вартості, але і, можливо, як найбільш раціональне конструктивне рішення в певних умовах та обмеженому просторі.

В таких конструкціях актуальним є питання оцінки функціонального стану гнучкої підпірної стінки в умовах зміни навантаження, що сприймає стінка в процесі експлуатації. Наприклад, значне збільшення транспортного потоку або збільшення висоти земляного полотна при реконструкції автомобільної дороги.

Розглянемо одиничний елемент підпірної стінки і зміну її контуру при зміні навантаження.

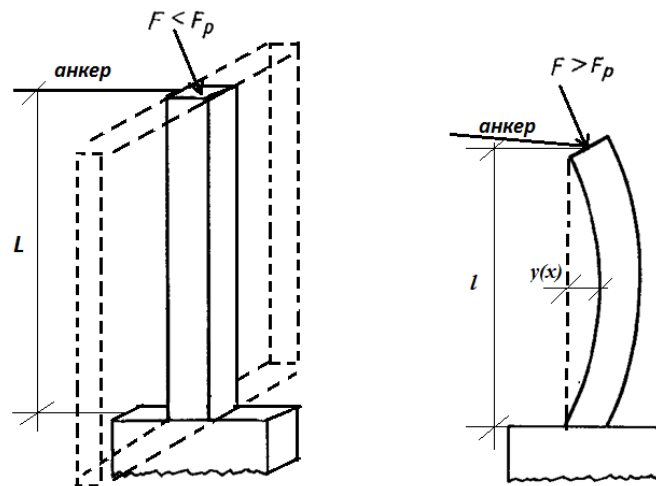


Рисунок 1 – Елемент стінки при малому та великому навантаженні

Допустимо, що до елемента стінки прикладена сила F (рис.1): якщо навантаження (сила F), що діє на стінку, невелике, стінка залишається прямою;

при дуже великому навантаженні F стінка згинається. Розглянемо процес згинання елемента стінки при проміжних значеннях F .

Зручно представити функцію, що описує поведінку (форму) елементу стінки, у вигляді розкладення в ряд Фур'є[1]

$$y(x) = \sum_{i=1}^{\infty} a_j \sin \frac{j\pi x}{l} \quad (1)$$

Тут $y(x)$ – горизонтальне відхилення стінки, що розглядається як функція відстані x від одного з кінців; l – координата другого кінця стінки. Оскільки коефіцієнти Фур'є a_j визначають форму стінки, вони відіграють роль перемінних стану системи; перемінна сила F відіграє роль керуючого параметра.

Фіксована довжина L стінки виражається через параметр l і відхилення $y(x)$ наступним чином:

$$L = \int_0^l \sqrt{1 + (dy/dx)^2} dx \quad (2)$$

Рівняння(2) задає обмеження на параметр l і перемінні стани $a_1, a_2, \dots$, яке може бути також представлене у вигляді

$$L = \int_0^l \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{dy}{dx} \right)^4 + \dots \right\} dx = l + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{\infty} a_j^2 \left(\frac{j\pi}{l} \right)^2 \frac{1}{2} + \text{члени вищого ступеню} \quad (3)$$

З членів вищого порядку для подальшого розгляду важливий лише член четвертого ступеню по a_1 : $-l(3/2)^{+6}(\pi/l)^4 a_1^4$.

Потенційна енергія, накопичена у вигнутій стіні, пропорційна

$$\frac{B}{2} \int_0^l \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx = \frac{B}{2} \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{\infty} \left(\frac{j\pi}{l} \right)^4 a_j^2 \quad (4)$$

(константа B є жорсткістю гнучкості). Виконана зовнішньою силою робота дорівнює

$$W = \int_L^l F \cdot dx = -F(L - l) \quad (5)$$

Потенційна функція, що описує стан (форму) статичної стінки, є сумою двох формул (4) та (5), тобто

$$V_p(a_j; F) = \frac{Bl}{4} \sum_{j=1}^{\infty} \left(\frac{j\pi}{l}\right)^4 a_j^2 - \frac{Fl}{4} \sum_{j=1}^{\infty} \left(\frac{j\pi}{l}\right)^2 a_j^2 +$$

$$+ \text{члени вищого ступеню} = \frac{l}{4} \sum_{j=1}^{\infty} \left(\frac{j\pi}{l}\right)^2 \left[B \left(\frac{j\pi}{l}\right)^2 - F \right] a_j^2 \quad (6)$$

+члени вищого ступеню

(Відмітим, що при виведенні формули вага стінки не враховувалась.)

Стан стінки визначається мінімумом потенційної функції $V_p(a_j; F)$, яка позитивно визначена при $F < F_1 = B(\pi/l)^2$, як у функціях зростаючого навантаження F .

Для того, щоб описати стан стінки при $F < F_1$, тобто після випучування, необхідно розглянути члени більше другого ступеню по перемінній стану a_j (Всіма іншими перемінними стану можна знехтувати). Потенційна функція, що описує стан стінки, буде мати вигляд[2]

$$V_p(a_j; F) \rightarrow V(a_j; F) = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 (F_1 - F) a_1^2 + \frac{3Fl}{26} \left(\frac{\pi}{l}\right)^4 a_1^4 + \dots \quad (7) \quad (7)$$

При $F > F_1$ величина першого коефіцієнта Фур'є визначається формулою

$$a_1^2 = \frac{8}{3F} \frac{F - F_1}{(\pi/l)^2}, F \geq F_1 \quad (8) \quad (8)$$

Якщо стінка зафіксована (обмежена) так, що вона не може перейти в конфігурацію з меншою енергією ($j=1$), при більшому значенні $F(=F_2)$ вона перейде в наступну вищу ($j=2$) конфігурацію, тобто відбудеться випучування. Загалом кажучи, якщо перші $j-1$ мод випучування заборонені обмеженнями, то випучування будуть мати місце при j -й моді, форма якого визначається членом $\sin j\pi x/l$ при $F_j = B(j\pi/l)^2$.

До сих пір розглядалися статичні властивості досконалої стінки. Розглянемо вплив дефектів стінки на її стан. До таких дефектів можемо

віднести технологічні відхилення при будівництві або не відповідність самого матеріалу стінки. Найбільш загальний вид збудження потенційної функції включає також лінійний член, тому

$$V_i(a_j; F, \varepsilon) = \varepsilon a_1 + \frac{1}{4} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 (F_1 - F) a_1^2 + \frac{3Fl}{2^6} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 a_1^4 \quad (9)$$

Тобто найбільш загальний вигляд початкового дефекту стінки може бути змодельований відмінним від нуля згином (викривленням). Значення a_1 в стані рівноваги визначаються з умови рівності нулю градієнта ($\Delta_1 V_i(a_1; F, \varepsilon) = 0$).

Якщо стінка знаходиться не в статичному стані і її кінетична енергія ΔE повністю визначається нижньою модою, то величина параметра a_1 буде коливатися біля відповідного статичному стану стінки значення $a_1(F)$.

Випучування навантаженої стінки по суті представляє собою фазовий перехід другого роду. Перехід до випученого стану є «м'яким» так як стани системи до і після випучування зв'язані безперервним чином. Конструкції, що демонструють «м'який» перехід у випучений стан, не руйнуються при перевищенні граничного навантаження – вони лише повинні помірно згинатися. Тому можна сформулювати деякий вид критеріїв безпеки для визначення границь безпечних навантажень. Так, для багатьох практичних цілей стан стінки є небезпечним, якщо амплітуда начального згину стінки перевищує безпечне значення s : $|a_1| > s > 0$. Так як амплітуда згину визначається з умови рівності нулю градієнту, то максимальне безпечне навантаження F_s буде визначатися максимальним безпечним згином, тобто

$$\Delta_1 V(a_1 = s; F_s, \varepsilon) = 0 = \varepsilon + \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 (F_1 - F) s + \frac{3F_s l}{2^4} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 s^3 \quad (10) \quad (10)$$

$$F_s = F_c(s) - k(s)\varepsilon,$$

де

$$F_c(s) = \frac{F_1}{1 - \frac{3}{8}(\pi s/l)^2}, \quad (11)$$

$$k(s) = \frac{(2/|s|l)(l/\pi)^2}{1 - \frac{3}{8}(\pi s/l)^2},$$

Чуттєвість безпечного навантаження до недосконалості достатньо м'яка і залежить від параметра недосконалості першого ступеня. Тут $F_c(s)$ є безпечним навантаженням при відсутності дефектів. Для достатньо великих дефектів безпечних навантажень не існує.

Аналогічно може бути визначена максимальна несуча здатність стінки, що коливається. Коливання мають місце поблизу станів статичної рівноваги. Максимальна несуча здатність може бути визначена як значення F , при якому амплітуда згину досягає s . Для досконалої системи це навантаження знаходиться із виразу

$$\Delta E = \frac{1}{4} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 (F_1 - F_s) s^2 + \frac{3F_s l}{2^6} \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 s^4, \quad (12)$$

що в свою чергу приводить до наступного лінійного співвідношення між кінетичною енергією ΔE і максимально безпечним навантаженням:

$$F_s = \frac{F_1 - (\Delta E/l)(2l/\pi s)^2}{1 - 3(\pi s/4l)^2}, \quad (13)$$

(13)

Для стінки, що випучується, і інших подібних систем чутливість безпечного навантаження як до недосконалості, так і до динамічних впливів буде досить помірною.

Запропонований підхід дозволяє спрогнозувати майбутній функціональний стан гнучкої анкерної підпірної стінки на етапі проектування і зменшити її геометричні параметри без втрати міцності або збільшити запас міцності при вірогідності непередбачуваних навантажень.

Література

1. Thompson J.M.T., Hunt G.W., Dangers of Structural Optimization, Eng. Optimization, 1,99-110(1974).
 2. Арнольд В.И. Критические точки гладких функции и их нормальные формы. – УМН, 1975, 30:5,3 – 65.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статическая физика. – М.: Наука, 1976.

Киричек Ю.А., д-р техн. наук, Трегуб А.В., Тымчишин Е.М.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСКАЕМОГО ДАВЛЕНИЯ НА ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОГО УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ

Анотація. Проведено аналіз допустимого тиску на ґрунт за умови розвитку зон пластичних деформацій. Виконано співставлення результатів експериментальних досліджень, чисельних розрахунків з використанням пружно-пластичної моделі деформування ґрунту та рішень за чинними будівельними нормами.

Ключові слова: фундаменти мілкового закладання, зони пластичних деформацій, допустимий тиск на ґрунт.

Аннотация. Выполнен анализ допускаемых давлений на грунт из условия развития зон пластических деформаций. Выполнено сопоставление результатов расчета по действующим нормам с данными экспериментальных исследований и численного расчета с использованием упруго-пластической модели.

Ключевые слова: фундаменты мелкого заложения, зоны пластических деформаций, допускаемое давление на грунт.

Annotation. The analysis of allowable pressure upon a ground from a condition of development of zones of plastic deformations was performed. Comparison of results of calculation by effective standards with experimental results and numerical calculation with use of elastic-plastic model was executed.

Key words: the shallow foundation, zones of the plastic deformations, allowable pressure upon a ground.

Надежность работы фундаментов зависит в наибольшей степени от их размеров, для назначения которых при проектировании необходимо задаваться некой величиной допускаемого давления на грунт. Это должно быть давление, при котором обеспечивается прочность основания, а осадки не должны превышать предельного значения, определяемого в зависимости от вида

конструкций здания. При этом обязательно должен быть заложен определенный запас несущей способности основания с учетом возможных погрешностей исходных данных, возможности увеличения нагрузок, ухудшения характеристик грунта и т.д. При этом необоснованно завышенный запас несущей способности оснований приводит к существенному завышению затрат в строительстве.

Применяемая в настоящее время величина, ограничивающая давление на грунт – расчетное сопротивление основания, обоснована как предельное значение давления, при котором еще возможно использование модели линейно деформируемого полупространства. В настоящее время предложен ряд методов расчета осадок при нелинейной зависимости их от давления [1, 2, 3, 4]. Актуальным остается вопрос определения величины допускаемого давления на грунт. Согласно концепции действующих норм при достижении нагрузкой величины расчетного сопротивления зоны пластических деформаций должны быть развиты на глубину $0,25b$. Однако как указывают О.В. Снежко, Э.Я. Кильвандер [5] и И.Я. Лучковский [6] при этом фактическое развитие зон сдвигов происходит на глубину значительно превышающую указанную. Решения И.В. Яропольского и Н.Н. Маслова [7] позволяют в формулу Н.П. Пузыревского вводить заданные глубины распространения зон сдвигов, названные неустойчивыми зонами. Согласно формуле И.В. Яропольского неустойчивые зоны должны сомкнуться по оси штампа, а формула Н.Н. Маслова предполагает ограничение распространения зон за пределами вертикальных плоскостей, проведенных через краевые точки фундамента. В.Г. Березанцев [7] предлагает считать давление, при котором зоны должны сомкнуться предельным по условию прочности, а давление по формуле Н.Н. Маслова принимать в качестве допускаемого. Результаты экспериментальных исследований М.В. Малышева и С.А. Елизарова [8] показали, что смыкание областей сдвигов на оси штампа, еще не характеризует разрушение основания. В эксперименте смыкание зон произошло при давлении $0,85P_u$, где P_u – предельное сопротивление основания, соответствующее развитию областей пластических деформаций, при которых сформировано упругое ядро под штампом. В.Г. Березанцев [7] отметил, что определение очертания неустойчивых зон с использованием теории линейно-деформируемой среды является неточным. Погрешность в построении зон возрастает с увеличением их размеров. При

исследовании развития таких зон следовало бы использовать упругопластическую модель деформирования основания.

Цель работы – оценка степени развития зон пластических деформаций с использованием данных численного упругопластического решения. Для анализа развития зон пластических деформаций использованы результаты экспериментальных исследований, выполненные Г.А. Скорминым и М.В. Малышевым [9] нагружением штампом диаметром 0,6м песка средней плотности и средней крупности с характеристиками $e=0,62$, $\gamma=16,6\text{кН/м}^3$. К расчету приняты нормативные характеристики $\varphi=36^\circ$, $c=1\text{ кПа}$

Таблица 1 – Расчетные и экспериментальные данные

Расчетные данные		Экспериментальные данные		
Начальное критическое давление, кПа	Предельное сопротивление P_u , кПа	Начало фазы сдвигов, кПа	Предельное давление (разрушение основания), кПа	Выпор грунта при давлении, кПа
9,96	274	75	300	300-350

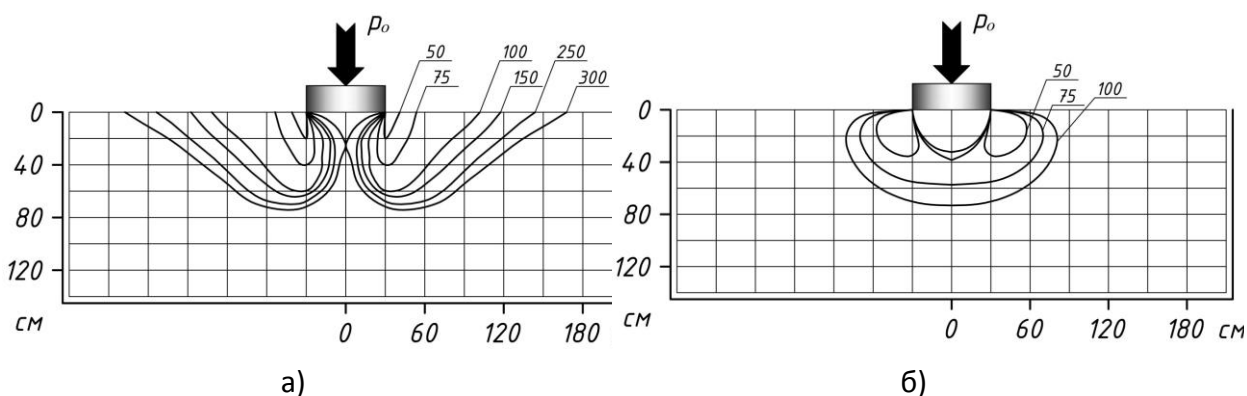


Рисунок 1 – Развитие зон пластических деформаций (цифрами показано давление на основание): а) экспериментальные данные [9]; б) расчет по методу И.Я. Лучковского [6]

Согласно выполненному расчету смыкание зон пластических деформаций по оси штампа произошло при давлении равном 75 кПа. Согласно расчету в Plaxis смыкание происходит на глубине 1,2-1,25b. Ю.Н. Мурзенко [2] также отмечал, что смыкание областей происходило по экспериментальным данным на глубине 1,2b. При большем нагружении эти зоны увеличиваются в ширину и все больше захватывают область массива грунта под фундаментом. Методика И.Я. Лучковского [6] и расчет в Plaxis в данном случае показали большие размеры зон сдвигов по сравнению с экспериментальными данными. Согласно

численному решению после момента смыкания зон сдвигов по оси штампа разрушению основания предшествует ещё достаточный диапазон нагрузок, а потеря прочности основания происходит при полном развитии зон пластических деформаций, когда под штампом сформировано упругое ядро. Таким образом, при использовании численных данных для оценки допускаемого давления некоторая погрешность идет в запас прочности.

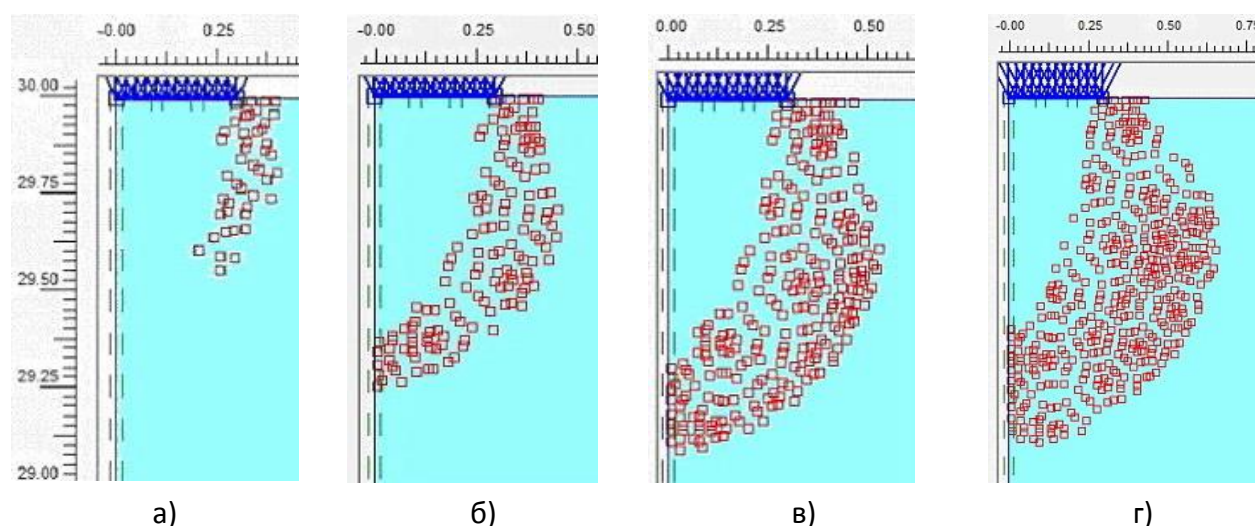


Рисунок 2 – Развитие зон пластических деформаций по результатам упругопластического решения, полученного в программе Plaxis при средних давлениях по подошве штампа: а) 50кПа; б) 75 кПа; в) 100 кПа; г) 150 кПа

Характеристики грунтов для выполнения численного эксперимента приведены в табл. 2. Рассмотрены круглые фундаменты диаметром 2, 4 и 6м и глубиной заложения – 1, 2 и 3м. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Таблица 2 – Характеристики грунтов для численных экспериментов

№ п/п	Наименование грунта	e	W	γ , кН/м ³	c, кПа	ϕ , град	E, МПа
1	Песок мелкий плотный маловлажный	0,45	0,08	19,57	6	38	48
2	Песок пылеватый плотный маловлажный	0,45	0,08	19,57	8	36	39
3	Песок мелкий средней плотности маловлажный	0,65	0,08	17,2	2	32	28
4	Песок пылеватый средней плотности маловлажный	0,65	0,08	17,2	4	30	18
5	Супесь пластичная	0,55	0,17	20,07	15	26	24
6	Суглинок полутвердый	0,75	0,23	18,98	25	23	17
7	Суглинок тугопластичный	0,75	0,25	19,29	23	21	14
8	Глина полутвердая	0,75	0,2	19,03	54	19	21
9	Глина тугопластичная	0,75	0,25	18,45	43	16	15

Таблица 3 – Результаты численного решения

Грунт	Диаметр и глубина штампа, м		Расчет по ДБН		Р _{н.кр.} МПа	Допускаемое давление по Маслову, МПа	Давление слияния p _c , МПа	Расчет в Plaxis					
	D	d	R, МПа	P _u , МПа				Давление при S _u , МПа	Глубина зон пластических деформаций в м при давлении равном			Осадка штампа S в см при давлении	
									R	p _s	p _c	R	p _c
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Песок мелкий плотный	2	1	0,4 20	4,349	0,249	0,507	0,588	1,43	3,7	6,4	2,6	1,60	0,70
		2	0,6 60	6,885	0,434	0,692	0,773	1,417	4,3	6,2	2,55	2,73	0,81
		3	0,9 00	9,42	0,619	0,877	0,957	1,46	4,65	6,1	2,2	3,89	0,74
	4	1	0,5 15	5,665	0,249	0,765	0,927	0,895	6,8	8,75	4,85	3,80	1,84
		2	0,7 55	8,201	0,434	0,950	1,111	0,924	7,85	8,6	5,55	6,07	2,43
		3	0,9 95	10,74	0,619	1,135	1,296	0,96	8,55	8,45	5,2	8.41	2,28
	6	1	0,6 10	6,982	0,249	1,023	1,265	0,694	9,9	10,5	8,0	6,68	3,97
		2	0,8 50	9,518	0,434	1,208	1,450	0,709	11,0	10,1	7,35	9,84	3,69
		3	1,0 90	12,05	0,619	1,393	1,634	0,751	11,9	9,95	7,6	13,2	4,23
Песок пылеватый плотный	2	1	0,3 45	3,388	0,241	0,447	0,519	1,1	3,3	5,65	2,6	1,56	0,93
		2	0,5 28	5,319	0,402	0,608	0,680	1,133	3,75	5,5	2,55	2,57	1,02
		3	0,7 12	7,251	0,564	0,769	0,842	1,176	4,0	5,3	2,1	3,67	0,92
	4	1	0,4 17	4,303	0,241	0,653	0,797	0,718	6,1	7,9	4,95	3,75	2,41
		2	0,6 00	6,235	0,402	0.814	0,958	0,745	7,0	7,75	4,7	5,83	2,45
		3	0,7 83	8,167	0,564	0,975	1,120	0,793	7,4	7,45	4,85	7,86	2,73
	6	1	0,4 88	5,219	0,241	0,859	1,075	0,566	8,8	9,45	7,7	6,38	4,77
		2	0,6 71	7,151	0,402	1,020	1,237	0,587	9,85	9,25	7,4	9,47	4,67
		3	0,8 54	9,082	0,564	1,181	1,398	0,623	10, 5	9,05	7,4	12,3	5,05

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Песок мелкий средней плотности	2	1	0,217	1,564	0,126	0,241	0,292	0,6	3,3	5,4	2,05	1,58	0,47
		2	0,359	2,611	0,235	0,350	0,401	0,642	3,8	5,1	1,95	2,95	0,56
		3	0,501	3,659	0,344	0,459	0,510	0,7	4,1	4,85	1,95	4,42	0,67
	4	1	0,270	1,985	0,126	0,356	0,458	0,435	6,05	7,45	4,05	3,81	1,47
		2	0,412	3,033	0,235	0,465	0,567	0,465	6,75	7,15	4,2	6,37	1,72
		3	0,554	4,08	0,344	0,574	0,676	0,5	7,45	7,1	4,4	9,22	2,06
	6	1	0,323	2,407	0,126	0,471	0,624	0,369	8,65	9,15	6,5	6,72	3,13
		2	0,465	3,454	0,235	0,580	0,733	0,389	9,7	8,85	6,4	10,5	3,32
		3	0,607	4,502	0,344	0,689	0,842	0,415	10,4	8,45	6,2	14,5	3,42
Песок пылеватый средней плотности	2	1	0,185	1,231	0,128	0,219	0,265	0,413	2,95	4,3	1,95	2,0	0,83
		2	0,294	2,022	0,224	0,315	0,361	0,458	3,25	4,1	1,95	3,48	0,99
		3	0,404	2,814	0,320	0,411	0,457	0,5	3,45	4,0	2,05	5,07	1,67
	4	1	0,225	1,515	0,128	0,310	0,401	0,318	5,4	6,4	4,2	4,69	2,55
		2	0,334	2,306	0,224	0,406	0,497	0,344	6,05	6,15	4,3	7,82	2,97
		3	0,444	3,097	0,320	0,502	0,593	0,376	6,45	5,9	4,3	10,6	3,27
	6	1	0,265	1,798	0,128	0,401	0,538	0,257	7,75	7,7	5,95	8,19	4,61
		2	0,374	2,589	0,224	0,497	0,634	0,279	8,7	7,5	6,35	12,7	5,32
		3	0,483	3,38	0,320	0,593	0,730	0,31	9,1	7,2	6,25	16,9	5,49
Супесь пластичная	2	1	0,241	1,245	0,191	0,257	0,299	0,583	2,4	4,0	2,1	1,61	1,38
		2	0,337	1,857	0,279	0,345	0,387	0,638	2,65	3,85	1,95	2,35	1,35
		3	0,433	2,47	0,366	0,432	0,475	0,692	2,85	3,7	2,1	3,12	1,54
	4	1	0,274	1,436	0,191	0,323	0,407	0,43	4,6	5,9	4,05	3,72	3,20
		2	0,369	2,049	0,279	0,411	0,495	0,465	5,05	5,8	4,1	5,30	3,45
		3	0,465	2,661	0,366	0,498	0,583	0,504	5,35	5,65	4,2	6,73	3,64
	6	1	0,306	1,627	0,191	0,389	0,516	0,356	6,75	7,3	5,95	6,26	5,38
		2	0,402	2,24	0,279	0,476	0,603	0,382	7,45	7,25	6,25	8,73	5,85
		3	0,498	2,852	0,366	0,564	0,691	0,418	7,8	7,0	5,9	10,9	5,81
Суглинок полутвердый	2	1	0,281	1,14	0,225	0,268	0,301	0,556	1,9	3,45	2,1	2,35	2,60
		2	0,36	1,565	0,294	0,337	0,370	0,591	2,35	3,3	2,05	3,03	2,61
		3	0,439	1,99	0,364	0,406	0,440	0,64	2,5	3,25	2,15	3,76	2,87
	4	1	0,306	1,258	0,225	0,311	0,377	0,397	3,65	4,95	4,1	5,21	5,81
		2	0,385	1,683	0,294	0,380	0,446	0,425	4,55	4,9	3,9	6,71	5,67
		3	0,464	2,108	0,364	0,449	0,516	0,45	4,75	4,65	4,2	8,03	6,26
	6	1	0,332	1,376	0,225	0,353	0,453	0,317	5,55	5,15	6,3	8,55	9,49
		2	0,41	1,801	0,294	0,422	0,522	0,342	6,65	5,0	6,0	10,6	9,40
		3	0,489	2,226	0,364	0,492	0,591	0,372	7,05	4,75	5,5	12,9	9,09
Суглинок тугопластичный	2	1	0,236	0,918	0,197	0,230	0,260	0,467	1,7	3,2	1,9	2,30	2,52
		2	0,304	1,267	0,259	0,293	0,322	0,5	2,1	3,15	1,95	2,93	2,68
		3	0,372	1,617	0,322	0,355	0,385	0,548	2,35	3,0	2,1	3,60	3,02
	4	1	0,256	1,007	0,197	0,263	0,323	0,334	3,25	4,65	3,9	5,11	5,80
		2	0,325	1,357	0,259	0,326	0,385	0,365	4,05	4,6	3,75	6,46	5,93
		3	0,393	1,706	0,322	0,388	0,448	0,396	4,5	4,55	3,9	7,89	6,27
	6	1	0,277	1,096	0,197	0,297	0,386	0,267	4,95	4,65	5,7	8,34	9,32
		2	0,346	1,446	0,259	0,359	0,448	0,292	6,15	4,55	5,7	10,5	9,62
		3	0,414	1,796	0,322	0,422	0,511	0,323	6,55	4,3	5,8	12,3	10,1

Конец таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Глина полутвердая	2	1	0,417	1,334	0,351	0,376	0,401	0,787	1,3	3,0	1,95	2,60	3,42
		2	0,479	1,615	0,406	0,431	0,456	0,82	1,55	3,0	2,1	2,92	3,54
		3	0,542	1,896	0,461	0,485	0,511	0,86	1,75	3,0	2,1	3,25	3,76
	4	1	0,435	1,399	0,351	0,400	0,452	0,555	2,6	4,4	4,05	5,48	7,29
		2	0,497	1,68	0,406	0,455	0,506	0,578	3,15	4,4	3,9	6,22	7,26
		3	0,56	1,961	0,461	0,510	0,561	0,607	3,6	4,25	3,9	6,94	7,47
	6	1	0,453	1,464	0,351	0,425	0,502	0,428	4,0	3,6	5,8	8,55	11,0
		2	0,515	1,745	0,406	0,480	0,557	0,45	4,85	3,6	6,0	9,75	11,3
		3	0,578	2,026	0,461	0,535	0,612	0,48	5,35	3,55	5,6	10,8	11,0
Глина тугопластичная	2	1	0,296	0,902	0,259	0,275	0,294	0,563	1,1	2,85	1,85	2,49	3,35
		2	0,345	1,106	0,304	0,319	0,339	0,596	1,35	2,85	1,85	2,78	3,40
		3	0,394	1,31	0,349	0,364	0,384	0,627	1,55	2,8	1,9	3,08	3,58
	4	1	0,309	0,943	0,259	0,290	0,329	0,4	2,35	4,15	3,75	5,30	7,14
		2	0,358	1,147	0,304	0,335	0,374	0,424	2,8	4,0	3,7	5,96	7,16
		3	0,406	1,351	0,349	0,379	0,419	0,45	3,1	4,1	3,75	6,49	7,41
	6	1	0,322	0,983	0,259	0,305	0,364	0,317	3,65	3,5	5,25	8,32	10,5
		2	0,37	1,188	0,304	0,350	0,409	0,34	4,25	3,5	5,45	9,29	10,9
		3	0,419	1,392	0,349	0,394	0,454	0,365	4,7	3,3	5,35	10,1	11,0

Как показали результаты расчетов, допускаемые давления по формуле Н.Н. Маслова отличаются от расчетного сопротивления основания в 0,9-1,75 раза. Наибольшая разница имеет место для плотных грунтов и фундаментов больших размеров, что подтверждено в целом практикой. При давлении на основание равном расчетному сопротивлению глубина развития зон предельного равновесия может значительно превышать предполагаемую нормами - $0,25b$. Соотношение величины предельного сопротивления основания к расчетному сопротивлению находится в пределах от 3,2 до 11,27, в то время как расчет оснований согласно Еврокод [10] рекомендует значение подобного коэффициента в пределах 2 - 4. Это говорит о величине запаса, заложенного в национальных строительных нормах, значительно превышающем в некоторых случаях обоснованные значения. Если говорить о величине деформаций, соответствующих значению расчетного сопротивления, то они, могут быть и значительно ниже допускаемых значений и выше их. Отношение расчетных осадок при давлении, равном расчетному сопротивлению относились к допускаемым осадкам как 0,2-1,61. При этом величина давления, соответствующая значению предельно допускаемой осадке в 0,76-3,4 раза отличается от расчетного сопротивления основания. Осадки растут с увеличением размеров и глубины заложения фундаментов. Причем для

фундаментов шириной 6м и глубиной заложения 2м и более во всех случаях осадки достигали предельных значений. Отношение давления, при котором происходит слияние зон пластических деформаций к величине расчетного сопротивления находится в пределах 0,94 – 2,2. Все это говорит о том, что ограничение расчетным сопротивлением величины действующего давления на грунт, с одной стороны не гарантирует выполнения условий по предельным состояниям, а с другой стороны при этом могут оставаться необоснованно большие резервы несущей способности.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что ограничение допускаемого давления величиной расчетного сопротивления далеко не всегда является рациональным. Более экономичные и надежные решения дает расчет оснований по двум предельным состояниям с расчетом осадок на основе нелинейной модели.

Литература

1. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Мінрегіонбуд України. К: НДІБК. 2009. - 78с.
2. Мурзенко Ю.Н. Расчет оснований зданий и сооружений в упругопластической стадии работы с применением ЭВМ. / Мурзенко Ю.Н.// Л.: Строиздат, Ленингр. отд-ние. 1989. – 135 с.
3. Малышев М.В. Прогноз осадок фундаментов неглубокого заложения с использованием обоих критериев предельных состояний/ Малышев М.В. /Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1996. – №1. – С. 2–4.
4. Трегуб А.В. Развитие методики нелинейного расчета фундаментов мелкого заложения/ Трегуб А.В., Киричек Ю.А./ Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. трудов. Вып. №56. – Дн-вск., ПГАСА, 2010. – С. 535–545.
5. Снежко О.В. О расчетном сопротивлении грунта оснований зданий и сооружений при расчете по деформациям/ Снежко О.В., Кильвандер Э.Я./ «Світ геотехніки», 2005. – №1. - С. 24 – 25.
6. Лучковский И.Я. К вопросу о расчетном сопротивлении грунта основания/ Лучковский И.Я. - Харьков: Коллегиум, 2010. – 48 с.
7. Березанцев В.Г. Расчет оснований сооружений/ Березанцев В.Г. - Ленинград: Изд. лит. по строит., 1970. – 208 с.
8. Елизаров С.А. Критерии несущей способности и различные фазы деформирования основания/ Елизаров С.А., Малышев М.В./ Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1993. – №4. – С. 2–5.
9. Скормин Г.А. Экспериментальное исследование распределения напряжений в песчаном основании под круглым фундаментом в процессе роста нагрузки/ Скормин Г.А., Малышев М.В. / Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1970. – №5. – С. 1–4.
10. EN 1997-1:2003 (E); CEN/TC 250. Eurocode 7 Geotechnical design – Part 1: General rules. Final draft, 2003. – 167 p.

Коваль П.М., канд. техн. наук, Іваницький Я.Л., д-р техн. наук,
Ковальчик Я.І., Мольков Ю.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БЕТОННИХ ЗРАЗКІВ МЕТОДОМ ЦИФРОВОЇ КОРЕЛЯЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

Анотація. Розглянуто результати випробування бетонних кубів на стиск з реєстрацією відносних деформацій методом цифрової кореляції зображень та сигналів тріщиноутворення акустичною емісією. Зроблено висновок, що методом цифрової кореляції зображень можна отримати достовірну інформацію про відносні деформації та утворення тріщин у бетонних конструкціях при дії на них зовнішніх навантажень.

Ключові слова: бетонні конструкції, відносні деформації, утворення тріщин, цифрова кореляція зображень, акустична емісія.

Аннотация. Рассмотрены результаты испытания бетонных кубов на сжатие с регистрацией относительных деформаций методом цифровой корреляции изображений и сигналов трещинообразования акустической эмиссии. Сделан вывод, что методом цифровой корреляции изображений можно получить информацию об относительных деформации и образования трещин в бетонных конструкциях при воздействии на них внешних нагрузок.

Ключевые слова: concrete structures, the relative deformation, cracks, цифровая корреляция изображений, акустическая эмиссия .

Annotation. Are considered the test results of the cube concrete compressive with the registration of the relative deformations using the method of digital image correlation and signal of the acoustic emission fracturing. It is concluded that the method of digital image correlation can obtain reliable information about the relative deformation and cracking in concrete structures exposed to external loads.

Key words: concrete structures, the relative deformation, cracks, digital image correlation, acoustic emission.

Вступ

У вітчизняній практиці при лабораторних дослідженнях та натурних випробуваннях будівельних конструкцій для вимірювання відносних деформацій та переміщень, а також для візуального спостереження за утворенням і розвитком тріщин використовують механічні прилади, тензодатчики, оптичні мікроскопи та ін. Фіксувати складний напружено-деформований стан зразків та будівельних конструкцій з використанням традиційних методів досліджень досить важко, тому розробляються безконтактні методи, які б давали можливість у процесі досліджень отримувати повну картину деформування.

До таких методів належать фотограмметричні методи, що полягають у визначенні координат у просторі точок дослідних зразків у процесі деформування [1]. При фотограмметричних вимірюваннях значна кількість точок фіксується в один фізичний елемент. Порівняння фотографій, зроблених у різний час (при різному навантаженні), дає змогу оцінювати взаємну деформацію. Фотограмметричні методи використовуються в Україні для дослідження будівельних конструкцій [2], але вони мають і ряд недоліків, які обмежують можливості їх застосування.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Метод цифрової кореляції зображень (надалі – ЦКЗ) останнім часом широко застосовується при розв’язанні різних задач механіки і дозволяє безконтактно вимірювати повне поле зміщень та деформації найрізноманітніших об’єктів [3]. Двовимірний метод ЦКЗ (2D DIC (Digital image correlation)) дозволяє вимірювати деформації на площині та заокругленій поверхні за допомогою спеціального обчислення результатів [4]. Для об’ємних і вигнутих поверхонь застосовують 3D ЦКЗ, що ґрунтується на принципі бінокулярної стереоскопії [5].

Метод ЦКЗ отримав визнання і широко використовується як потужний і гнучкий інструмент для вимірювання деформації поверхні в галузі експериментальної механіки деформованого твердого тіла. Він забезпечує отримання повного поля зміщень і деформацій у зоні вимірювань завдяки порівнянню цифрових зображень поверхні зразка недеформованого та деформованого стану відповідно. ЦКЗ є оптичним вимірюванням на основі цифрової обробки зображень і чисельних обчислень.

Основні принципи. Цей оптичний метод ґрунтується на цифровій обробці за відповідним алгоритмом ряду зображень поверхні зразка, отриманих за

відомих значень зусилля навантаження за допомогою фотокамери [6]. На кожному наступному зображенні по відношенню до попереднього визначають переміщення поверхні в межах фрагмента, а віднісши величину переміщення до розміру фрагмента, встановлюють значення деформації (рис. 1). Метод дозволяє визначати поля деформацій двох складових відносних деформацій ϵ_{xx} і ϵ_{yy} .

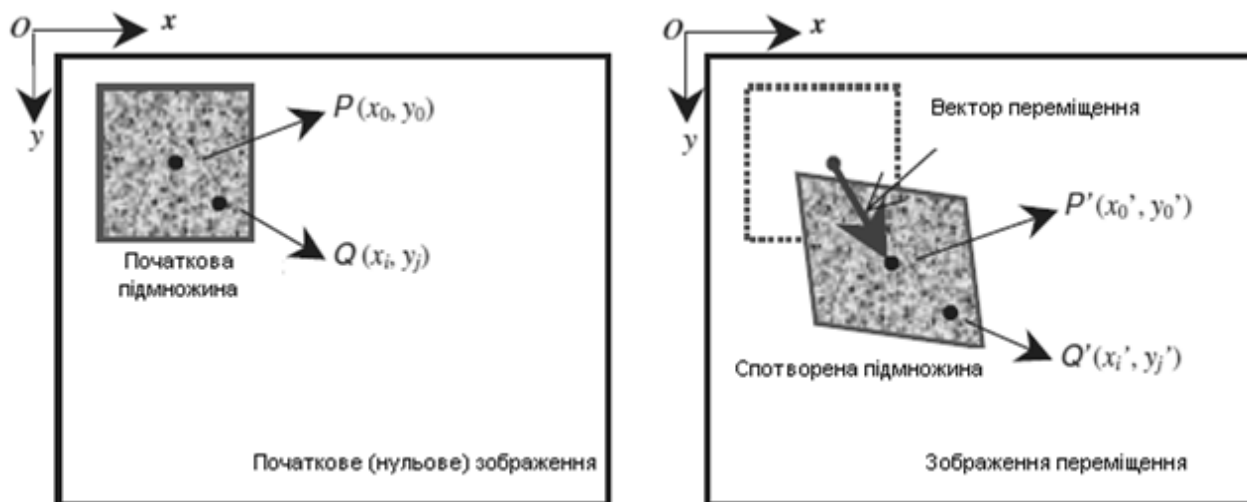


Рисунок 1 – Схематичне зображення розрахункової підмножини дослідної ділянки до і після деформації: P , Q – точки підмножини з координатами x , y

Для потреб лабораторних випробувань переважно вистачає 2D ЦКЗ. Необхідно лише правильно підібрати оптику відповідно до дослідної ділянки та забезпечити достатнє освітлення.

Переваги методу ЦКЗ [5]:

- проста експериментальна установка (фіксована камера (або камери) для запису цифрового зображення поверхні випробувального зразка до і після деформації) та підготовка зразка. У деяких випадках немає необхідності у підготовці зразка (якщо природні текстури поверхні зразка мають випадковий розподіл інтенсивності сірого) або ж спекл-поверхня може просто бути виготовленою шляхом розпилення фарби на поверхню зразка;

- низькі вимоги до навколишнього середовища при вимірюванні. 2D і 3D ЦКЗ не вимагає джерела лазера порівняно з деякими іншими оптичними методами. Під час випробування може бути використане джерело

штучного або природного світла. Таким чином, він підходить як для лабораторного, так і для польового застосування;

– широкий діапазон чутливості вимірювань та розширення. Оскільки метод ЦКЗ оперує цифровими зображеннями, які записані на різних цифрових пристроях, то зображення може бути безпосередньо оброблене програмним забезпеченням.

Існує проблема відсутності бази напрацьованих випробувань будівельних зразків та конструкцій з використанням методу ЦКЗ в Україні для порівняння та застосування разом із стандартними методами.

Метод ЦКЗ переважно використовувався для дослідження металевих конструкцій. База досліджень бетонних і залізобетонних конструкцій з використанням даного методу недостатня для рекомендації його як стандартизованого.

Метою даного дослідження було визначення можливості використання методу цифрової кореляції зображень для дослідження напружено-деформованого стану бетонних конструкцій.

Були виготовлені 7 бетонних кубів розмірами 100×100×100мм з бетону класу В30 (табл.1,2).

Таблиця 1 – Склад бетонної суміші

Склад бетонної суміші, кг/м ³			В/Ц	Марка цементу	Добавка, кг/м ³
Ц	П	Щ(5-10)			Stachement 2597
540	520	1200	0,32	500	3,8

Таблиця 2 – Характеристики заповнювачів та цементу

Марка цементу (завод)	Дрібний заповнювач М _к (Кар'єр)	Крупний заповнювач Р _щ , фракція (Кар'єр)
500 (Івано-Франківський)	1,700 (с. Поляна, Хмельницька обл.)	1,300 (Іванівський спецкар'єр) 5-10

Випробування бетонних кубів проводилось на гідравлічному пресі МС-2000 згідно норм [7] за схемою вказаною на рис.2. При випробуванні проводилась реєстрація сигналів акустичної емісії (АЕ) в часі. На одну з граней

куба було нанесене спеціальне напилення аерозольною фарбою. Навпроти дослідної грані встановлена фотокамера Nikon D-40 на штативі. Фотофіксація проводилась через кожних 50 кН.

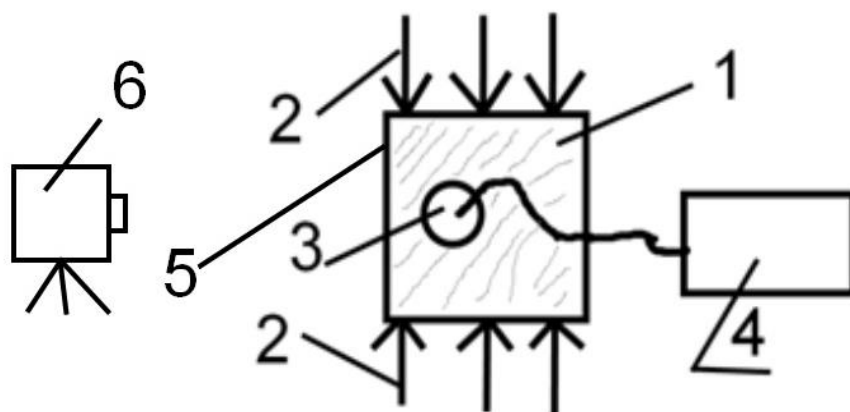


Рисунок 2 – Схема випробування бетонного куба на осьовий стиск: 1 – дослідний зразок (куб), 2 – прикладене зусилля; 3 – приймач АЕ; 4 – програмно-технічний комплекс “АКЕМ”, 5 – грань куба зі спеціальним нанесеним напиленням, 6 – фотоапарат на штативі



Рисунок 3 – Загальний вигляд випробування

При випробуванні бетонних кубів 100x100x100 рівень навантаження контролювали за шкалою пресу та фіксуючим електронним пристроєм, зв'язаним з ЕОМ. Він складався з повзункового реостата, який кріпився до стрілки, зв'язаною з механізмом преса, та електронної схеми, що фіксувала положення реостата і була підключеною до ЕОМ. Електричний аналоговий сигнал поступав для подальшої обробки на ЕОМ за допомогою програмно-технічного комплексу "АКЕМ". Ця схема дозволила синхронізувати процес реєстрації АЕ з динамікою зміни навантаження на досліджуваний зразок. Сигнали АЕ, які виникали в бетоні при навантаженні, реєстрували за допомогою програмно-технічного комплексу "АКЕМ". ПАЕ через шар акустично-прозорого мастила кріпився за допомогою гумової стрічки або струпцини до гладкої бокової поверхні куба. Сигнали з ПАЕ підсилювались і надходили на ЕОМ для обробки і подальшого аналізу з використанням пакету програм програмно-технічного комплексу "АКЕМ". Запис АЕ відбувався в один етап.

Кубикова міцність кубів на стиск дослідних зразків наведена в табл.3.

Таблиця 3

Куб	К-1	К-2	К-3	К-4	К-5	К-6	К-7	Середня кубикова міцність, кН
Міцність на стиск, кН	417	398	431	396	388	409	428	389,1

На рис. 4 для прикладу наведено картину з зафіксованими зонами деформаціями грані куба К-4 при навантаженні 350 кН(перед руйнуванням). Характер накопичення відносних деформацій по осі x (ϵ_{xx}) показано на рис. 4а, максимальне значення ϵ_{xx} становить 0,0194. По осі y відносні деформації стиску найбільші в центрі куба (рис. 4б).

На рис. 5 наведено рівні критеріальної оцінки K_p , зафіксовані від сигналів АЕ при випробуванні куба К-4 безперервним одноступеневим навантаженням. Утворенню тріщини в бетоні відповідає величина $K_p > 6$. Як видно на рис. 5 така величина критеріальної оцінки K_p зафіксована при рівні навантаження 350кН на бетонний куб, і методом цифрової кореляції

зафіксовано утворення тріщини в бетоні куба К-4 при такій же величині навантаження 350кН(див. рис. 4а).

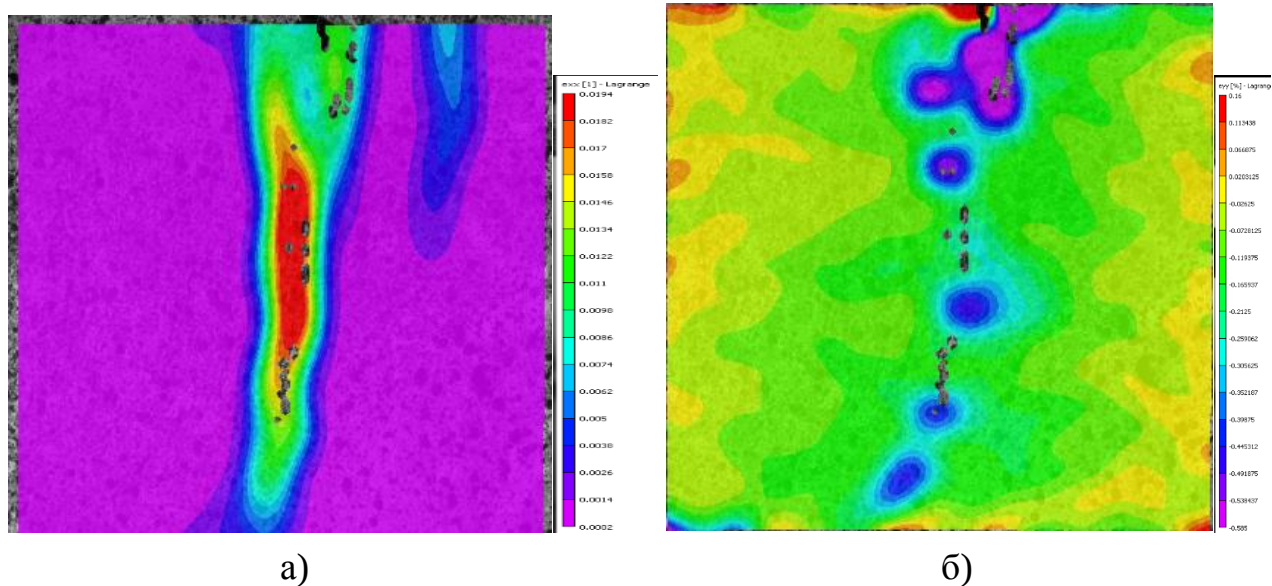


Рисунок 4 – Значення відносних деформацій дослідної грані куба К-4 при $P = 350 \text{ кН}$: а – ε_{xx} , б – ε_{yy}

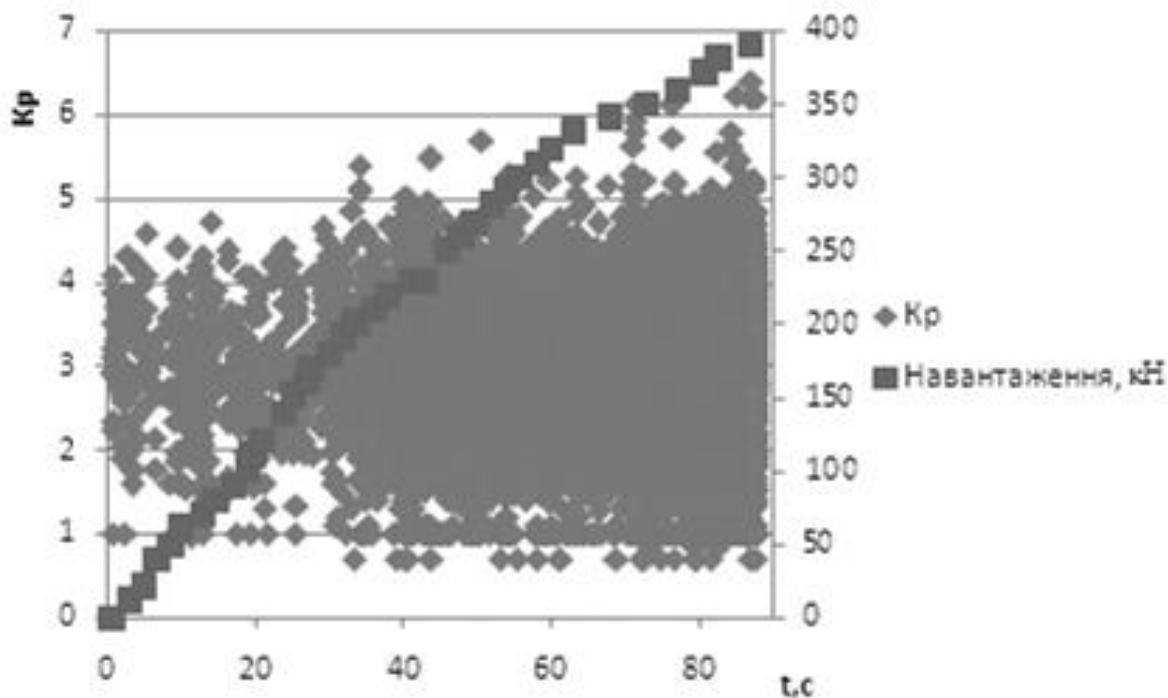


Рисунок 5 – Критеріальна оцінка K_p в часі зафіксована при випробуванні К-4

Висновки

З використанням методу цифрової кореляції зображень можна отримати достовірну інформацію про процеси зміни відносних деформацій та утворення тріщин у бетонних конструкціях при дії на них зовнішніх навантажень. Збільшення відносних деформацій на гранях кубів, які були зафіксовані методом ЦКЗ, були пропорційні росту кількості і енергії сигналів АЕ, що зафіксовані методом акустичної емісії.

Рівні навантаження на куби, при яких утворились тріщини, зафіксовані методом АЕ, відповідають рівням навантаження тріщиноутворення, зафіксованих методом ЦКЗ.

Література

1. Лучко Й.Й. Методи дослідження та випробування будівельних матеріалів та конструкцій/ Й.Й. Лучко, П.М. Коваль, М.Л. Дем'ян. – Львів, Каменяр, 2001.-436с.
2. Єрмоленко, Д. А. Об'ємний напружено-деформований стан трубо-бетонних елементів: Монографія / Д. А. Єрмоленко. – П., 2012. – 316 с.
3. Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique [Electronic resource] / M. Malesa, D. Szczepanek, M. Kujawińska, A. Świercz, P. Kołakowski // 14-th International Conference on Experimental Mechanics. – Mode of access: <http://smart.ippt.gov.pl>.
4. Максименко, О. П. Вимірювання деформацій циліндричних зразків методом цифрової кореляції спекл-зображень [Електронний ресурс] / О. П. Максименко. – Режим доступу: <http://dspace.nbu.gov.ua>.
5. Two-dimensional digital image correlation for in-plane displacement and strain measurement [Electronic resource] / B. Pan, K. Qian, H. Xie, A. Asundi. – Mode of access: <http://www.opticsinfobase.org>.
6. Schreier, H. W. Investigation of two and three-dimensional image correlation techniques with applications in experimental mechanics / H. W. Schreier. – University of South Carolina, 2003. – 348 p.
7. ДСТУ Б В.2.7-223:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за зразками, відібраними з конструкцій., Київ, Мінрегіонбуд України 2010.

Овчинников И.Г., д-р техн. наук

Овчинников И.И., канд. техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Аннотация: Рассматриваются особенности компьютерного расчетного анализа сложных транспортных сооружений, возникающие проблемы и пути их решения. Обращается внимание органов экспертизы на необходимость привлечения для проверки расчётов и проектных решений, выполненных на основании сложных расчётов, компетентных сторонних независимых экспертных организаций или экспертов. Для систематизации и выработки обоснованной стратегии проверки расчетов, выполненных с использованием специального программного обеспечения, предлагается разрабатывать специальные стандарты организаций.

Ключевые слова: компьютерные технологии, транспортное сооружение, расчетная схема, надежность расчетов, независимая экспертиза

Annotation: The features of computer analysis of complex transport structures, problems and solutions are considered. Attention is drawn to the examination of the need to bring to verify the calculations and the design decisions made on the basis of complex calculations, qualified third-party independent expert organizations or experts. To organize and develop a strategy based test calculations performed with the use of special software, it is proposed to develop specific standards of organizations.

Key words: computer technology, transport construction, design scheme, computational model, the reliability of the calculations, the independent expert examination

Введение

Очевидно, необходимым условием развития отрасли транспортного строительства является комплексное внедрение информационных технологий

(ИТ - технологий), что сегодня должно являться предметом пристального внимания, как государства, так и частных компаний. Во всем мире информационные и коммуникационные технологии признаны ключевыми технологиями XXI века, которые на ближайшие десятилетия будут являться залогом экономического роста государства и основным двигателем научно-технического прогресса. Успешная реализация большого количества проектов зависит от качества применяемых в них ИТ - технологий.

Сегодня на российском рынке представлено множество компаний, предлагающих программные решения для различных отраслей народного хозяйства, в том числе и для отрасли транспортного строительства.

Отметим следующие основные принципы развития ИТ- технологий для отрасли транспортного строительства:

- информационные системы должны обеспечивать поддержку на всех этапах жизненного цикла транспортного сооружения;
- информационные системы должны быть от ведущих мировых лидеров, должны соответствовать мировым достижениям в данной области;
- информационные системы должны быть интегрированы между собой и должны позволять создавать единую Информационную модель транспортного сооружения.

ИТ - технологии должны охватывать весь спектр жизненного цикла транспортного сооружения, начиная от этапа концептуального проектирования до этапа (демонтажа) утилизации сооружения. При этом ИТ - технологии должны использоваться в течение всего периода жизнедеятельности сооружения, который может достигать 100 лет. Поддержание жизнеспособности информационных систем на протяжении всего жизненного цикла транспортного сооружения - важнейший аспект совершенства и актуальности технологии.

Особенности и проблемы применения ИТ – технологий.

Развитие информационных технологий привело к масштабным изменениям процессов конструирования, проектирования, подготовки производства и самого производства сложной наукоемкой продукции, к которой относятся современные транспортные сооружения.

Информационные технологии трехмерного проектирования сложных транспортных сооружений различного назначения поддерживают современные методы подготовки проектной документации и в электронном формате и на

бумажных носителях. Трехмерное моделирование, при выполнении ряда определенных условий, обеспечивает высокое качество проектирования, создает предпосылки для информационного сопровождения проектов транспортных сооружений на всех стадиях их жизненного цикла: от проекта до строительства, многолетней эксплуатации и последующей утилизации

Следует заметить, что высокая стоимость проектирования и особенно строительства транспортных сооружений, острая конкуренция в этой сфере приводят к необходимости постоянного совершенствования технологий проектирования (расчета) и строительства транспортных сооружений, которые обеспечивают снижение стоимости и сроков проектирования, подготовки производства и выполнения строительно-монтажных работ.

В последнее время в мире растет популярность концепции PLM (Product Lifecycle Management), предусматривающей управление информацией о сооружении на всех стадиях его жизненного цикла. PLM-концепцию можно использовать как на виртуальном уровне, на стадиях проектирования, инженерных расчетов, анализа, технологической подготовки производства, цифрового моделирования и макетирования, так и в реальном мире - во время строительства и эксплуатации сооружения, включая его совершенствование, модернизацию и даже утилизацию.

Отметим следующие достоинства концепции PLM. Чтобы выжить, предприятиям приходится постоянно повышать качество продукции и сокращать сроки ее разработки. Решения, основанные на концепции PLM, помогают выполнить эту задачу, так как позволяют заказчикам и разработчикам продукта из разных предприятий, даже находящихся в различных частях света, эффективно сотрудничать в реальном времени, вести согласование, проектирование и моделирование сооружения, его анализ, расчет, комплектацию и т. п. Более того, современные PLM-системы, дополненные средствами взаимодействия через Интернет, дают возможность проектировщикам, расчетчикам, строителям, менеджерам, специалистам по эксплуатации отслеживать поведение сооружения на протяжении всего жизненного цикла, собирая, обобщая и анализируя данные для улучшения его характеристик и выявления слабых мест. И, наконец, PLM-решения существенно упрощают рутинные операции, благодаря чему инженеры могут сосредоточиться на творческом процессе.

Важную роль для повышения качества сложного транспортного сооружения играет поддержка общих баз данных и знаний, к которым могут обращаться заказчики, проектировщики, строители, эксплуатационники, менеджеры, субподрядчики, поставщики комплектующих и материалов. Следовательно, организациям, желающим эффективно работать в сфере транспортного строительства, следует создавать и поддерживать собственные базы данных по инженерным решениям, по патентам, инновациям, материалам и их характеристикам и так далее.

В связи с тем, что в ближайшее время ожидается естественное уменьшение количества квалифицированных и опытных инженеров, в полный рост встает проблема разработки экспертных систем (и наполнения их баз знаний) для решения различных проектных, конструкторских, диагностических, эксплуатационных и других задач.

Подчеркнем, что в связи с широким использованием компьютерных технологий для моделирования поведения конструкций транспортных сооружений с учетом реальных свойств материалов и реальных условий эксплуатации, включая действие не только силовых, но и температурных, климатических, средовых факторов, приводящих к деградации свойств материалов и последующему сокращению сроков надежной и безопасной эксплуатации транспортных сооружений, для обоснованного и корректного расчета конструкций нужна информация о механических характеристиках материалов, и не только примитивных (СНиПовских), но более полных, включая и кратковременные, и длительные, и динамические характеристики.

Обратим внимание на то, что, как справедливо отмечали такие уважаемые специалисты, как Перельмутер А.В. и Сливкер В.И. [1, 2], развитие средств компьютеризации инженерных расчетов транспортных сооружений оказывает очень серьезное, но, к сожалению, не только положительное, но и отрицательное воздействие на качество расчетных обоснований проектных решений. Весьма высокий уровень детальности и точности расчетов транспортных сооружений, который сегодня доступен даже студентам и, тем более, проектировщикам, ранее был достижим только для наиболее квалифицированных специалистов и научных работников. Однако, широкая доступность сложных вычислительных комплексов привела к появлению ряда важных проблем, связанных с умением разумно применять эти программные комплексы для решения инженерных задач.

Как оказалось, применение высокоточных компьютерных методов расчета не избавляет проектировщиков от ошибок, которые приводят к весьма неприятным последствиям.

На фото 1 и 2 приведены последствия аварии, произошедшей при надвижке металлического пролетного строения моста через Юганскую Обь. Как оказалось, недостаточно правильно рассчитать пролетное строение на эксплуатационные нагрузки, также весьма важен и правильный расчет с учетом всех особенностей работы пролетного строения на стадии монтажа.



Рисунок 1 – Разрушение пролетного строения моста через Юганскую Обь при надвижке



Рисунок 2 – Вид снизу на зону разрыва

Главгосэкспертиза России для того, чтобы повысить качество расчетных обоснований проектных решений современных сложных объектов строительства подготовила нижеследующее письмо (рис.3).



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И ЖИЛИЩНО-
КОММУНАЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ

ГЛАВГОСЭКСПЕРТИЗА РОССИИ

Фуркасовский пер., д.12/5, Москва, 101990
Тел.(095) 925-75-46. Факс: (095) 924-67-49
E-mail: info@ggge.ru

28.06.04 № 24-10-3/1281

На № _____ от _____

О повышении качества расчетных обоснований проектных решений строительных конструкций

Филиалы Главгосэкспертизы России
в субъектах Российской Федерации

Организации государственной
вневедомственной экспертизы
субъектов Российской Федерации

Анализ современного состояния проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений свидетельствует о необходимости реализации комплекса мер по повышению качества расчетных обоснований проектных решений строительных конструкций. Эти меры в первую очередь касаются объектов, не имеющих в отечественной практике ранее запроектированных и построенных аналогов (современные высотные здания, уникальные торговые, спортивные и зрелищные объекты с большепролетными покрытиями, здания сложной архитектурной формы, в том числе возводимые в сейсмоактивных районах и т.п.).

На практике, при выполнении расчетов строительных конструкций по пространственным схемам с помощью программных комплексов во многих случаях не проводится тщательное компьютерное моделирование для различных вариантов расчетных схем, учитывающих изменение расчетных моделей в процессе возведения и эксплуатации, геометрическую и физическую нелинейность, динамический характер воздействий и реакций конструкций. Проектировщиками, не имеющими во многих случаях необходимой подготовки и опыта расчета сложных объектов, не всегда учитывается тот факт, что современные программные комплексы (далее ПК), реализующие метод конечных элементов, являются лишь инструментом моделирования, дающим некоторое приближенное решение. Результаты расчета могут значительно отличаться для сложных объектов при использовании различных ПК и при использовании различных моделей.

Как следствие имеют место просчеты в проектировании, приводящие к аварийным ситуациям в ходе строительства и эксплуатации, в ряде случаев с трагическими последствиями.

Для приведения уровня качества расчетных обоснований проектных решений современных сложных объектов строительства проектным организациям рекомендуется осуществлять расчеты не менее чем по двум сертифицированным, независимо разработанным и проверенным в практике ПК, проводить сопоставительный анализ полученных результатов. Такая практика широко применяется в развитых странах и некоторыми проектными организациями России.

Органам государственной экспертизы рекомендуется запрашивать в необходимых случаях расчетные обоснования конструктивных решений с использованием двух независимо разработанных программ. Для поддержки соответствующей технологии расчетов разработчикам программных средств рекомендуется осуществлять поставку программ-конверторов для передачи расчетных схем из одного программного комплекса в другой.

Главгосэкспертиза России просит довести указанную информацию до сведения проектных и строительных организаций вашего региона.

Приложение: письмо ГУП ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко от 24.06.2004 № 13-103 и форма заявки на участие в семинаре.

Начальник

В.Ю.Леушин

Рисунок 3

Как видно, в этом письме справедливо отмечается, что при расчете сложных конструкций очень часто не анализируются различные варианты расчетных схем, не проводится тщательное компьютерное моделирование с учетом таких факторов, как геометрическая, физическая и конструктивная нелинейность, воздействие внешней агрессивной по отношению к материалу конструкций среды, весьма примитивно учитывается динамический характер работы конструкций.

Расчетная схема конструкции должна учитывать и отражать основные свойства, характерные для исследуемого поведения конструкции, а нередко используемый программный комплекс имеет встроенную в него расчетную схему, ориентированную на решение тех задач, которые ставили перед собой разработчики программного комплекса, а не тех задач, которые должен решать проектировщик. Поэтому разумно, при анализе поведения конструкций строить некоторую иерархию расчетных схем, которая позволяла бы учесть необходимые особенности процесса деформирования конструкций. При этом не следует слишком уж увеличивать количество расчетных схем и их сложность, так как в этом случае возникает проблема возможности анализа полученных результатов самим проектировщиком – он может утонуть в море численной информации и пропустить важные моменты.

Рекомендация Главгосэкспертизы России о необходимости осуществлять расчеты не менее чем по двум сертифицированным независимо разработанным программным комплексам и проводить сравнительный анализ результатов имеет смысл только тогда, когда расчеты выполнялись по разным расчетным схемам, но описывающим одни и те же эффекты. Формальное же использование рекомендации о выполнении расчета по двум программам (но с использованием практически одной и той же расчетной схемы) может принести даже вред, так как при этом порождается опасная иллюзия двойного контроля и, якобы, надежности результатов расчетов.

Требование же использовать сертифицированные программные комплексы вообще не выдерживает никакой критики. Ведь сертификат служит для подтверждения соответствия требованиям действующих норм. Однако ядро расчетного программного комплекса ориентировано на определение параметров напряженно-деформированного состояния, а эта функция принципиально не нормируема. Кроме того, хорошая работа программного комплекса на тестовых задачах никоим образом не гарантирует, что он будет

также хорошо работать и на реальных рассчитываемых объектах. Процедура верификации программных комплексов не регламентирована никакими общими требованиями и является прерогативой разработчиков этих комплексов, хотя потребность в такого рода регламентации существует.

Что же касается рекомендаций по выбору расчетных моделей, то они обычно весьма субъективны, обоснованы специальными исследованиями, результаты которых проверяются практикой проектирования, но, к сожалению, остаются собственностью проектировщиков, не заинтересованных в их тиражировании и включении в нормы проектирования.

Требования нормативных документов обычно бывают связаны с определенной расчетной моделью, созданной в докомпьютерные времена, причем описание модели в нормативном документе обычно не приводится и создается ложное впечатление универсальности нормативного требования. В результате может возникнуть парадоксальная ситуация — уточнение расчетной модели приводит к менее экономичным решениям, чем те, которые основаны на грубой модели нормативного документа.

Кто же отвечает за результаты расчетов, выполненных с использованием программного комплекса? Ответственность за используемые результаты компьютерных программ, лежит на пользователе — то есть расчетчике и проектировщике.

Ошибки проектировщика могут быть вызваны следующими причинами: недостаточной информацией; отсутствием широкого кругозора или односторонним подходом при решении задач, что нередко связано с предыдущей деятельностью; недостаточным опытом проектировщика в данной области; переоценкой своей квалификации; отсутствием проработок при неблагоприятном развитии событий; отсутствием альтернативных методик проектирования и критических замечаний оппонентов; плохой организацией трудового процесса; неудовлетворительным производственным климатом, включая недостаток времени и плохие взаимоотношения в коллективе; неумением применять современные технологии проектирования или слишком доверять и существующим обычным и особенно компьютерным методам расчета.

Как известно, при расчете сложных конструкций обычно применяются методы строительной механики, которые в глазах многих являются весьма строгими и непогрешимыми. Но такое мнение разбивает одно высказывание

специалиста по расчету сооружений на действие ветра: «строительная механика – это искусство моделировать материалы, работу которых мы не понимаем, в геометрических формах, которые мы не можем в точности проанализировать, под действием сил, которые нам неизвестны, причем делать это так, чтобы ни у кого не зародилось никаких подозрений». И если вдуматься, этот специалист прав, и особенно он прав, если мы обращаемся к расчету железобетонных конструкций.

С учетом сказанного при расчете сооружений следует иметь ввиду следующие особенности: условность расчетных схем конструкций и возможность отклонения найденных по этим схемам усилий от действительного распределения усилий в конструкциях; условность используемых расчетных характеристик материалов и особенно грунтов, изменение их свойств с течением времени вследствие ползучести и накопления повреждений; возможность отклонения нагрузок от их расчетных значений; неблагоприятное воздействие эксплуатационной среды; неблагоприятное воздействие температуры, неточностей изготовления конструкций, возможность неравномерных осадок и деформаций

Применение компьютерных программ для расчета сооружений увеличило эффективность работы проектировщика, но не избавило его от необходимости самому принимать ответственные решения.

Имеющиеся методы программирования не позволяют полностью исключить ошибки в текстах программ. Среди программистов существует мнение, что одна ошибка на десять тысяч строк программы - это нормально (для примера, программа Windows содержит около сорока миллионов строк – может быть, поэтому она так часто «зависает»?).

Производители программ не гарантируют их абсолютно надежную работу и не рискуют брать на себя ответственность за их использование. Об этом обязательно указывается в лицензионных договорах, правда не на первых страницах и не всегда крупным шрифтом.

Пример отрывка из такого договора: «ни при каких обстоятельствах AUTODESK не несет ответственности за какие-либо убытки или ущерб, включая утрату данных, упущенную выгоду, расходы на возмещение и иные случайные или косвенные убытки, связанные с использованием программного обеспечения».

Что же делать проектировщику в данном случае? Опыт работы квалифицированных проектировщиков позволил выработать ряд правил проверки правильности расчета сооружений с помощью программных комплексов.

Расчет желательно выполнять не один раз, а несколько, причем разными расчетчиками. Следует провести расчет при несколько измененных входных данных (проверить устойчивость заложенной в программный комплекс модели, да и самой программы, к возможным отклонениям исходных данных). Расчет следует проводить с помощью не одного, а как минимум двух программных комплексов и сопоставлять результаты расчета. И самое надежное – нужно упростить до предела расчетную схему проектируемой конструкции так, чтобы ее можно было рассчитать с использованием простых методов на ручном калькуляторе и сопоставить результаты этого расчета с компьютерным. И если результаты такого упрощенного расчета будут отличаться от результатов расчета, выполненного на компьютере с помощью сложного программного комплекса на 20-30%, то результатам расчета программного комплекса можно доверять.

Для уменьшения количества ошибок, которые могут появиться в процессе проектирования следует реализовать мероприятия, направленные на устранение причин, приводящих к появлению этих ошибок [3]:

- - перед началом проектирования постараться собрать и систематизировать возможно большее количество информации о предполагаемой сфере работы сооружения, причем не только положительной, которая нравится, но и что не менее важно, отрицательной и не пренебрегать ею в процессе анализа;

- - принимать меры по совершенствованию кадров проектировщиков, для чего направлять их на соответствующие курсы повышения квалификации, стимулировать их желание побольше узнать о своей профессии, знакомиться с современной информацией на необходимую тему; для этого обеспечить проектную организацию необходимым набором современной научной, проектной литературы, периодической технической журнальной и газетной информацией. Поручить техническим отделам и библиотекам организовывать подборки литературы по определенным темам, коррелирующим с профилем работы предприятия;

- - не бояться организовывать свободное обсуждение разрабатываемых решений и не бояться появления отрицательных мнений; весьма эффективно даже специально назначать «адвокатов дьявола», в задачу которых входит выискивать в проектах недостатки, ошибки, недоработки;
- - организовывать проектные группы из специалистов с учетом их психологических особенностей так, чтобы в группу входили и генераторы идей, и аналитики, и критики, и синтезаторы;
- - предусматривать возможность развития событий по негативному сценарию и разрабатывать (хотя бы вчерне) запасные варианты решения проблемы.

Так как наши страны в области применения компьютерных методов к задачам расчета и моделирования поведения конструкций столкнулись с вышеуказанными проблемами на 10- 15 лет позже ряда зарубежных стран, то полагаем, будет представлять интерес опыт зарубежных специалистов в этой области. Это опыт изложен в кодах и руководствах различных инженерных обществ и даже включен в строительные нормы Нью-Йорка.

Согласно этим материалам эксперты надзорных органов могут привлечь по своему усмотрению для проверки расчётов или проектных решений, выполненных на основании сложных расчётов, компетентную стороннюю независимую экспертную организацию или эксперта, и поручить им выполнить проверку правильности представленных расчётов. Такой привлеченный независимый эксперт называется «peer reviewer» – «сторонний проверяющий». Понятно, что услуги привлеченных сторонних экспертов оплачиваются дополнительно к стоимости основной экспертизы и за счёт средств заказчика. Эксперты вправе привлечь сторонних специалистов для дополнительного расчетного анализа в случае, если проект сделан не на основании известных нормативных документов, а обосновывается специальными расчетами, выполненными с привлечением программных средств. В некоторых случаях эксперты не только имеют право так делать, но даже обязаны поступать таким образом.

Эксперты при проведении экспертизы не должны проверять непосредственно сами расчёты. Они должны ознакомиться с исходными данными для расчета, с результатами расчёта и выполнить оценку достаточности и надежности исходных данных и достоверности полученных

результатов. Для оценки достоверности эксперты могут применить или свой собственный расчет (возможно даже по упрощенной расчетной схеме) или другие приемлемые способы оценки.

При анализе представленных на экспертизу результатов расчета эксперты должны быть уверены, что расчёт выполнялся компетентным и квалифицированным специалистом, поэтому в документацию по расчёту должна быть включена достаточно полная информация о специалистах, принимавших участие в расчете (их образовании, опыте и квалификации в предметной области, в области компьютерного моделирования и применения конкретных программных комплексов), а также достаточно полно и обоснованно быть изложена методология расчета. Неотъемлемым элементом расчёта является доказательство не только сходимости использованных методов, но и достоверности выполненного расчёта – его верификация. Поэтому информация о проверке расчета – его верификации должна приводиться в документации расчёта и предоставляться на проверку. Обычно для верификации используется другая, нередко более простая методика или более простая расчетная схема, позволяющая выполнить расчет с использованием простых калькуляторов, то есть практически «ручным способом». Ясно, что экспертам легче выполнить проверку достоверности результатов расчёта с использованием более простых расчетных схем, приближенных методов, не требующих мощных компьютеров и дорогостоящих программ, чем проверять непосредственно компьютерные модели и вычисления с использованием мощных программных средств.

При выполнении расчетов проектировщики (или привлекаемые расчетчики) должны стремиться использовать апробированные, доказавшие свою надежность методы. Интересно, что ни в одном зарубежном нормативном документе или инженерном руководстве не оговаривается, что используемая методика расчёта или компьютерная программа должны быть сертифицированы каким-либо органом по сертификации. Обычно указывается, применяемые программные комплексы и математические методы должны пройти валидацию (представляющую собой процесс оценки правильности сделанных допущений и вывода основных уравнений используемой методики), которая должна быть изложена в доступном техническом руководстве (обычно прилагаемом к программному комплексу).

В определенной мере это документированная оценка адекватности использованной модели (с учетом ее дискретизации и компьютеризации) и методики реальному моделируемому процессу в рассчитываемом сооружении. Обычно такое руководство к программе представляет собой не тонкую брошюру, в которой приведена информация по сравнению полученных с помощью программного комплекса результатов расчета с экспериментальными данными. На основании этой информации квалифицированный инженер и расчетчик могут принять самостоятельное решение о возможности применения использованной в программе методики для решения своей инженерной задачи, за которую они несут ответственность. Понятно, что и эксперты не только могут, но и должны воспользоваться такой методологией оценки адекватности результатов.

Что же касается исходных данных для расчета и моделирования, а также исходных гипотез и допущений, если они не общеприняты, а также результатов чьих-то научных исследований и экспериментальных данных, то они должны прикладываться к выполняемому расчету в виде ксерокопий.

Выводы

Скорее всего, в наших странах после набора определенного опыта проектирования в условиях действия вышеуказанной «гибкой» технологии проектирования, опирающейся на «Технические регламенты», «Национальные стандарты», наработанные «Стандарты предприятий и организаций» будут уточнены и более корректно сформулированы подходы, приемы, методики быстрой, надежной, понятной и проверяемой процедуры оценки достоверности расчётов с применением сложного компьютерного моделирования. Одним из возможных подходов к решению такой задачи может быть добавление к паре проектировщик (расчетчик) - эксперт третьего специалиста, привлекаемого к проверке расчёта и разделяющего ответственность за правильность конечного результата. При этом этот третий специалист, скорее всего, должен подбираться под требования проверяемой задачи исходя из его опыта, квалификации, а также наличия и умения использовать необходимое компьютерное оборудование и программное обеспечение.

В современных условиях эксперты, привлекаемые к экспертизе проектной документации, должны:

- знать основные принципы, концепции и требования нормативных документов;
- иметь образование в области, связанной с его профессиональной деятельностью как эксперта;
- быть компетентными в использовании оценки рисков и опасных факторов в качестве метода расчёта;
- иметь опыт проведения экспертизы проектной документации, соблюдения расчётных требований и требований к документации, а также подтверждения выполнения проектных задач.
- обладать высоким уровнем знаний в области проектирования, необходимым для анализа выполненных расчетов в сфере его компетенции.

Что же касается используемых при проектировании сооружений компьютерных моделей, то необходимо чтобы:

- все работы по компьютерному моделированию выполнялись под руководством проектировщика; при этом программист – расчетчик должен обладать знаниями и опытом применения программы для решения инженерных задач с учетом требований нормативных документов;
- информацию об используемом программном необходимо представлять в качестве неотъемлемой части документации (название программного комплекса, его краткое описание, виды выполняемых расчетов, входные и выходные данные, с указанием, откуда они берутся и каким образом они используются при проектировании).
- следует предоставлять информацию об используемых уравнениях точных и приближенных математических моделей, имеющих неопределённости, допущениях, ограничениях, областях применения; желательно предоставить несколько примеров простых воспроизводимых исходных данных и эталонных тестов.

Возможная структура стандарта организации (СТО) по оформлению документации по программному обеспечению расчета конструкций и сооружений может иметь следующий вид.

СТО «Состав и оформление документации программного обеспечения в области расчета транспортных сооружений»

Предисловие

Сведения о стандарте

1. Область применения
2. Нормативные ссылки
3. Термины и определения
4. Общие положения
5. Состав и обозначение документации
6. Декларация программы
7. Техническое руководство
8. Руководство пользователя
9. Руководство по валидации (проверке адекватности) модели
10. Руководство по верификации расчетов
11. Контрольные примеры.
12. Библиография

Литература

1. Криксунов Э.З., Перельмутер А.В. О расчетных моделях сооружений и возможностях их анализа // CADmaster. – 2000. – № 3. – С. 38-43.
2. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – М. :ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
3. Овчинников И.Г. Овчинников И.И., Кононович В.И. Оценка достоверности численных расчетов при проектировании: доверять или не доверять компьютерам?// Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 200-й годовщине победы России в Отечественной войне 1812 года «Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе». Том 3. Модернизация в сфере эксплуатации, строительства и реконструкции объектов транспортной инфраструктуры. Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета. Пермь. 2012. – С. 377–388.

Скрипець А.В., канд. техн. наук, професор (НАУ), **Краснов В.М.**, канд. техн. наук, доцент (НАУ), **Сагідаєв Ю.М.**, канд. техн. наук (НДІ «Украеропроект»), **Кіресєв М.Е.** (НАУ), **Смолич Д.В.** (НАУ)

ПОБУДОВА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА ШОРСТКОСТІ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ

Анотація. Розглянуті питання побудова та експериментальне дослідження автоматичного вимірювача шорсткості покриттів.

Ключові слова: автомобільна дорога, аеропорт, злітно-посадкова смуга, покриття, шорсткість.

Аннотация. Рассмотрены вопросы построение и экспериментальное исследование автоматического измерителя шероховатости покрытий.

Ключевые слова: автомобильная дорога, аэропорт, взлетно-посадочная полоса, покрытия, шероховатость.

Annotation. The questions and the construction of an experimental study of automatic measuring roughness surfaces.

Key words: road, airport, runway, pavement, roughness.

Постановка проблеми

При будівництві ключового елемента аеропорту – злітно-посадкової смуги (ЗПС) – важливе значення має дотримання норм вимірювання шорсткості за вимогами ІКАО.

Загальне занепокоєння викликає рівень зчеплення між пневматиками повітряного судна (ПС) та поверхнею ЗПС у певних експлуатаційних умовах, таких як наявність на ЗПС снігу, сльоти, льоду або води, особливо при високих швидкостях ПС на етапах зльоту або посадки. Це занепокоєння посилюється щодо транспортних реактивних ПС, оскільки характеристика гальмування таких повітряних суден значною мірою залежить від зчеплення між пневматиками шасі ПС і поверхнею ЗПС; вони мають високі швидкості

посадки і зльоту, і в деяких випадках довжина ЗПС, необхідна для посадки або зльоту, наближається до критичної. Крім того, за наявності бічного вітру в таких експлуатаційних умовах може бути погіршена шляхова керованість ПС.

Про ступінь серйозності ситуації свідчать дії національних повноважних органів з льотної придатності, в рекомендаціях яких містяться вимоги про збільшення посадкової дистанції для мокрої ЗПС в порівнянні з сухою. Додаткові проблеми, пов'язані зі зльотом реактивних ПС з покритої сльотою або водою ЗПС, пов'язані як з погіршенням характеристик ПС внаслідок впливу, викликаного забрудненням опору, так і пошкодженням планера і засмоктуванням забруднень в двигун. Інформація про заходи щодо вирішення проблеми зльоту з покритих сльотою або водою ЗПС міститься в Технічному керівництві з льотної придатності (Doc 9051).

Крім того, необхідно, щоб у розпорядженні льотного екіпажу і пов'язаного з виконанням польоту персоналу була достатня інформація про характеристики зчеплення з поверхнею ЗПС (під час розбігу та пробігу ПС), щоб вони могли своєчасно скоригувати техніку пілотування та застосувати поправки до характеристик. Якщо забрудненням ЗПС є сніг або лід, то необхідно провести оцінку стану ЗПС, заміряти коефіцієнт зчеплення і результати надати екіпажу. Якщо забрудненням ЗПС є вода і ЗПС при намоканні стає слизькою, то екіпаж повинен бути обізнаний з потенційно небезпечними умовами.

Перед застосуванням методів оцінки зчеплення з поверхнею ЗПС або опору, викликаного наявністю метеорологічних забруднень, таких як сніг, сльота, лід і вода, слід особливо підкреслити, що завдання адміністрації аеропорту повинно полягати в швидкому і повному видаленні всіх забруднень і виключення будь-яких інших умов на поверхні ЗПС, які будуть мати несприятливий вплив на льотно-технічні характеристики ПС.

Важливість характеристик зчеплення з поверхнею ЗПС. Інциденти та авіаційні події, пов'язані з викочуванням повітряного судна за межі ЗПС або з його бічним викочуванням із ЗПС, показують, що в багатьох випадках основною причиною або принаймні супутнім фактором є недостатні характеристики зчеплення з ЗПС (гальмування повітряного судна). Крім цього аспекту, що відноситься до безпеки, результатом поганих характеристик зчеплення може бути значення регулярності та ефективності польотів. Необхідно, щоб поверхня ЗПС із штучним покриттям була побудована так, щоб

на мокрій ЗПС забезпечувалися належні характеристики зчеплення. Для цього бажано, щоб середня глибина текстури нової поверхні була не менше 1,0 мм. Звичайно, це вимагає застосування деяких видів спеціальної обробки поверхні.

Відповідні характеристики зчеплення з ЗПС необхідні для трьох певних цілей:

1) уповільнення руху повітряного судна після посадки або в разі перерваного зльоту;

2) підтримання шляхової керованості під час розбігу по землі при зльоті або пробігу при посадці, особливо в разі бічного вітру, несиметричної тяги двигунів або технічних несправностей;

3) розкручення коліс при приземленні.

Коефіцієнт зчеплення між пневматиком шасі і ЗПС залежить від низки факторів, таких як швидкість ПС, текстура поверхні, тип забруднення ЗПС, товщина шару забруднення, склад гуми пневматика, конструкція пневматика, рисунок протектора пневматика, температура поверхні протектора, знос пневматика, тиск пневматика, ефективність системи гальмування, гальмівний момент, коефіцієнт проковзування колеса і пори року. Деякі з цих факторів впливають один на одного, і кожен з них окремо по різному впливає на величину коефіцієнта зчеплення. Але параметром, який найбільше визначає величину зчеплення з мокрою поверхнею і співвідношення зчеплення / швидкість, є мікро-/макротекстура поверхні.

Методи вимірювання текстури поверхні ЗПС. Вважається, що текстура поверхні є основним чинником, що визначає відмінності в коефіцієнті зчеплення при гальмуванні на мокрих ЗПС. Поверхні ЗПС містять як макро-, так і мікротекстури.

Макротекстура – це шорстка текстура, утворена заповнювачем, або штучно створена текстура, наприклад шляхом нарізання канавок. Макротекстуру можна виміряти за допомогою низки способів, і від неї в основному залежить видалення більшої частини води з поверхні. Мікротекстура, з іншого боку, є текстурою окремих частин заповнювача, які можна відчувати, але які неможливо безпосередньо виміряти. Мікротекстура має важливе значення для прориву дуже тонкої водяної плівки. Таким чином, макротекстура в основному використовується для посилення дренажу більшої частини води, знижуючи тим самим тенденцію пневматиків шасі повітряних суден до динамічного глісування, в той час як мікротекстура є дуже важливою

для зниження початку в'язкісного глісування, яке пов'язане з дуже тонкими водяними плівками. Оскільки як макротекстури, так і мікротекстури значно впливають на коефіцієнти зчеплення ПС з мокрими поверхнями, то можна вважати, що, користуючись тільки вимірами макротекстури, можна встановити лише загальні тенденції. Наявні дані дійсно вказують на загальну тенденцію на користь великих макротекстур для збільшення коефіцієнтів зчеплення ПС з мокрими поверхнями.

Рекомендується, щоб середня глибина макротекстури нової поверхні була не менше 1 мм з тим, щоб забезпечити високі характеристики зчеплення на мокрій ЗПС. У той час як глибина менше 1 мм може все ще забезпечити прийнятний дренаж, при настиланні нової поверхні необхідно вибирати глибину, яка більше мінімальних значень, оскільки звичайне використання покриття призведе до погіршення поверхні. Якщо не буде забезпечена деяка глибина текстури поверхні на додаток до мінімальної при настиланні поверхні покриття, то в найближчий же час може виникнути необхідність в ремонті поверхні.

Для цього логічно застосовувати метод, який визначає градієнт кривої зчеплення/швидкість для деякої поверхні шляхом вимірювання макротекстури поверхні. Для отримання середньої глибини макротекстури слід проводити репрезентативні проби по всій поверхні. Кількість необхідних проб буде залежати від різноманітності макротекстури поверхні. Тому до вимірювання текстури поверхні доцільно провести візуальний огляд поверхні, щоб визначити значимі зміни в поверхнях штучних покриттів.

На даний момент в Україні широко застосовуваними методами вимірювання глибини макротекстури поверхні є методи заливки мастильним матеріалом та засипання піском. Опис цих двох методів, а також інших методів, які можуть бути використані для вимірювання середньої глибини текстури, розглядаються нижче.

Певний обсяг мастильних матеріалів або часток піску певного розміру наноситься на поверхню до тих пір, поки не будуть заповнені всі поглиблення. Якщо потім цей обсяг розділити на площу нанесення, то отримають середню величину заглиблень. Вимірювання такого роду дають лише уявлення про вплив швидкості на криву зчеплення / швидкість і є досить трудомісткими.

Можуть бути використані також такі методи для вимірювання макротекстури поверхні:

- 1) безпосереднє вимірювання на покритті. Вимірюється фактична довжина нитки, що стосується вимірюваної поверхні;
- 2) стереофотографічний метод. Частина площі фотографується за допомогою спеціально створеного стереофотоапарата. За отриманими контурними лініями робиться ескіз профілю, довжина якого вимірюється;
- 3) стрижневий метод. На поверхні встановлюється ряд довжиною в 0,30 м невеликих тонких стрижнів (голок), які підтримуються у вертикальному положенні двома тримачами. При ослабленні затискачів голкоподібні кінці всіх стрижнів увійдуть в контакт з верхньою частиною покриття і дадуть профільну лінію поверхні, довжину якої можна виміряти;
- 4) «відбиток». Знімається відбиток поверхні за допомогою затверділого матеріалу (пластиліну), після розпилу якого вимірюється довжина профілю відбитка;
- 5) відбиток копіювального паперу. За допомогою копіювального паперу поверхня ділянки покриття відтворюється на папері для письма. Потім вимірюється довжина отриманого таким чином профілю;
- 6) вимір закінчення води. Визначається кількість води, що протікає протягом певного часу через низ плоского циліндра, розміщеного на покритті (падіння висоти).

За допомогою таких вимірювань може бути отриманий приблизний показник шорсткості поверхні. При вимірах об'єму таким показником є площа розгладження піску або мастильного матеріалу. Відношення об'єму розгладжувачого матеріалу до площі нанесення називається середньою глибиною текстури. Відношення довжини лінії, виміряної за профілем діагонального перерізу покриття, до довжини базової лінії називається баластуванням профілю. З'ясовується можливість наявності взаємозв'язку між коефіцієнтом профілю і зменшенням шорсткості поверхні, але висновків щодо цієї кореляції поки не зроблено. Проте відомо, що для шорстких поверхонь цей коефіцієнт повинен становити більше 1,05.

Також важливо, щоб мінеральний заповнювач, призначений для використання при будівництві покриттів ЗПС, був попередньо випробуваний в лабораторії на опір шліфуванню. Крім того, цей заповнювач також повинен бути вивчений у відношенні опору його поверхні викришуванню і сколюванню в результаті руху транспорту. Питання текстури поверхні ЗПС докладно

розглядається в документі «Покриття» Керівництва до проектування аеродромів (Дос 9157).

Поки не існує безпосереднього методу визначення необхідної тонкої шорсткості окремих заповнювачів в технічних термінах. Але слід підкреслити важливість забезпечення необхідної мікротекстури, оскільки недостатня мікротекстура призведе до зниження характеристик зчеплення ПС з поверхнею ЗПС. Погіршення мікротекстур в результаті впливу руху по ЗПС і ерозії може відбутися у відносно короткий період у порівнянні з погіршенням макротекстури поверхні.

Вимірювання шорсткості ЗПС тріангуляційним методом. Тріангуляційний метод контролю ґрунтується на розрахунку шуканої відстані через співвідношення трикутника з використанням відомих параметрів системи. Він дозволяє вимірювати як відносну зміну відстані від датчика до контрольованого об'єкта, так і абсолютну його величину. Причому, контрольована відстань може мати масштаб від декількох мікрометрів (наприклад, при контролі поверхні кристалів мікроелектроніки) до сотень і тисяч метрів (при геодезичних застосуваннях).

Тріангуляційну схему (рис. 1) умовно можна розділити на три частини: випромінювальний (або освітлювальний) канал, контрольована поверхня, приймальний канал [2].

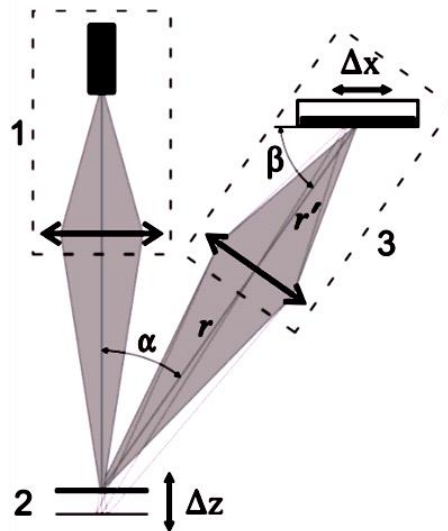


Рисунок 1 – Принципова схема тріангуляційного вимірювача: 1– випромінювальний канал; 2 – контрольована поверхня; 3 – приймальний канал

Перша частина схеми – випромінювальний канал складається з джерела випромінювання та об'єктива, який формує зондувальний пучок на контрольованій поверхні. В якості джерела випромінювання, як правило, використовується лазерний діод. Розподіл світла, що створюється таким джерелом, називається гаусівським (рис. 2, а).

Шириною d зондувального пучка називається відстань між точками профілю інтенсивності на рівні I_{MAX}/e .

Перетяжкою гаусівського пучка називається мінімальна ширина пучка вздовж напрямку поширення. На рис. 2,б перетяжка розташована в площині А. Звичайно, в цій площині інтенсивність зондувального пучка досягає максимального значення.

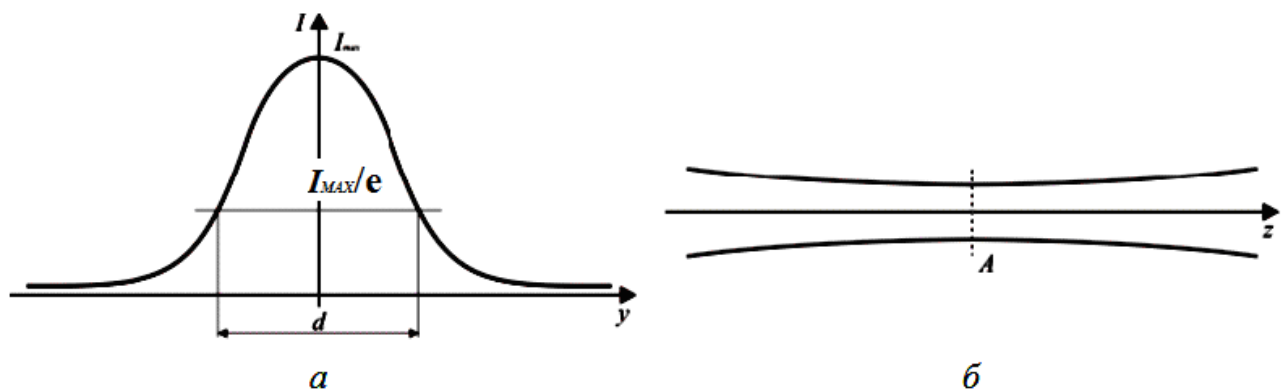


Рисунок 2 – Розподіл світла: а – розподіл Гауса (I – інтенсивність, y – напрям, перпендикулярний розповсюдженню випромінювання); б – гаусівський пучок у поздовжньому перерізі (z – напрям розповсюдження випромінювання)

Об'єктив складається з однієї або декількох оптичних лінз. Відносне положення об'єктива і лазерного діода визначає параметри випромінювального каналу. Щоб налаштувати лазерний модуль, необхідно виставити перетяжку в центр діапазону вимірювання і відцентрувати зондувальний пучок.

Результатом прийнятного налаштування є відцентрований пучок, ширина і інтенсивність якого симетрично змінюються відносно центра діапазону вимірювання.

Друга невід'ємна частина триангуляційної вимірної схеми – це контрольована поверхня. Кожна поверхня має властивість відбивати або розсіювати падаюче випромінювання. Розсіяне поверхнею контрольованого об'єкта випромінювання використовується в триангуляції як фізична основа для отримання інформації про відстань до цієї поверхні.

Завдання триангуляційного датчика – виміряти відстань від обраної точки на осі зондувального пучка до фізичної точки поверхні з високою точністю. Будь-яка контрольована поверхня характеризується нерівністю або ступенем своєї гладкості – шорсткістю R_z . Як правило, необхідна точність вимірювання обернено пропорційна шорсткості контрольованої поверхні. Так, шорсткість поверхні кристалів мікроелектроніки, а значить і вимірювана відстань до них, мають масштаб від декількох мікрометрів. А, наприклад, в геодезичній галузі необхідно визначати відстані з точністю до сотень і тисяч метрів.

Третя частина схеми триангуляційного вимірювача – приймальний канал, який складається з проеціюючого об'єктива і фотоприймача.

Проеціюючий об'єктив формує зображення зондувальної плями в площині фотоприймача. Чим більший діаметр D об'єктива, тим вище його світлосила (тим інтенсивніше і якісніше будується зображення плями).

В залежності від конкретної реалізації для реєстрації сформованого зображення в якості приймача використовують ПЗЗ лінійку або матрицю, CMOS лінійку або матрицю, позиційно-чутливий приймач, фото- / або відеокамери.

Схема триангуляційного вимірювача (див. рис. 1) працює наступним чином. Випромінювальний канал 1 формує зображення світлової плями на контрольованій поверхні 2. Далі розсіяне контрольованою поверхнею світло надходить в приймальний канал 3. Таким чином, в площині фотоприймача створюється зображення освітленої ділянки контрольованої поверхні (світлова пляма). При зсуві контрольованої поверхні на величину ΔZ світлова пляма в площині фотоприймача зміщується на величину ΔX . Залежність зміщення контрольованої поверхні ΔZ від зсуву світлової плями в площині фотоприймача ΔX має такий вигляд:

$$\Delta Z = r \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\alpha - \varphi)},$$

де $\varphi = \arctg(A \cdot \Delta X / (1 + B \cdot \Delta X))$; $A = \sin \beta / r'$; $B = -\cos \beta / r'$;

r – відстань від контрольованої поверхні 2 до проеціюючого об'єктива приймального каналу;

r' – відстань від проеціюючого об'єктива до фотоприймача.

Якщо в якості зондувального пучка використовувати лазерну лінію, створену за допомогою циліндричної лінзи, то на фотоприймачі сформується лінія, яка відповідає профілю контрольованої поверхні (рис. 3).

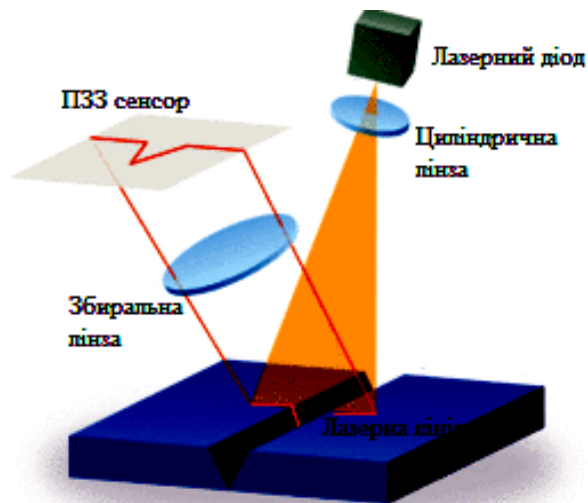


Рисунок 3 – Схема тріангуляційного вимірювача з використанням лазерної лінії

Установка для автоматичного вимірювання шорсткості фрагмента ЗПС. В розробленій установці в якості випромінювального каналу (див. рис. 1) використовується лазерний діод та циліндрична лінза, в результаті чого на контрольованій поверхні формується лазерний пучок у вигляді тонкої лінії (див. рис.2). Приймальний канал являє собою проєціюючий об'єктив та фотоприймач (ПЗ3 матриця), виконані в єдиному корпусі. На рис. 4 наведено зовнішній вигляд ПЗ3 матриці, що використовується як фотоприймач.

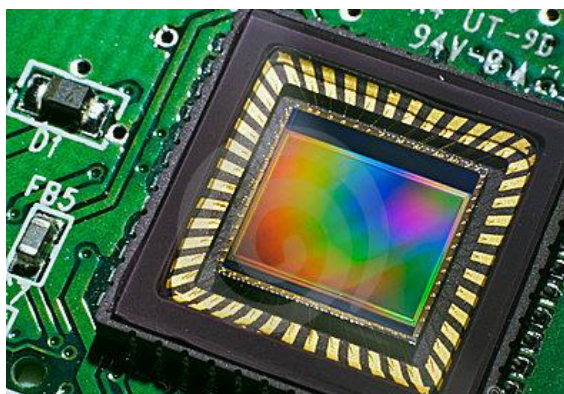


Рисунок 4 – ПЗ3 матриця фотоприймального каналу

Характеристики лазерного випромінювача:

- довжина хвилі λ – 660 нм (червоний);
- робоча речовина – алюмінієво-галієво-індієвий фосфід (AlGaInP);
- вихідна потужність – 5 мВт;

- розходження пучка – 0,1–0,6 мрад;
- товщина лінії – 1 мм на відстані 1 м;
- напруга живлення – 3-5 В;
- робоча температура – -10°-70°С;
- температура зберігання – -30°-80°С.

Характеристики приймального каналу:

- тип матриці – ПЗЗ (прилад із зарядовим зв'язком);
- розмір матриці – 1/2,3" або 6,16 x 4,55 мм;
- роздільна здатність – 14,1 тпрх або 4320 x 3240 пікселів;
- розмір 1-го пікселя – 0,00142593 x 0,00142593 мм;
- фокусна відстань – 4,25-42,5 мм;
- кроп-фактор – ≈ 6 ;
- формат вихідного зображення – JPEG.

За допомогою лазерного випромінювача на контрольованій поверхні (далі «фрагмент ЗПС») утворюється лінія. Площина лазерного пучка є перпендикулярною до площини фрагмента ЗПС. Цифрова фотокамера розташована під строго заданим кутом α (див. рис. 1) до площини лазерного пучка. При фотографуванні фрагмента ЗПС на фотографії буде видно червону лінію, яка чітко описує профіль цього фрагмента. Фотографія має вигляд, зображений на рис. 5.

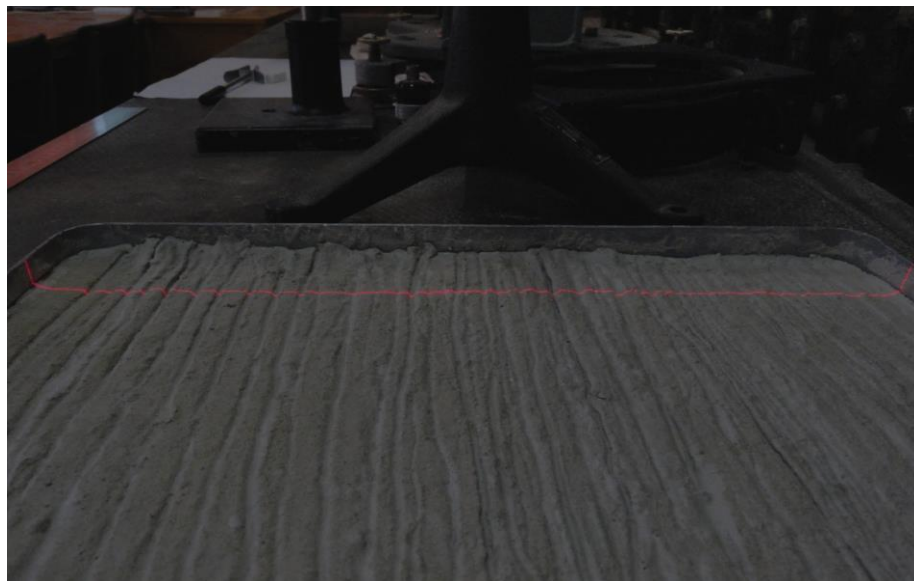


Рисунок 5 – Зображення фрагмента ЗПС з лінією профілю

Далі отримане зображення обробляється в середовищі MatLab за допомогою стандартного пакету програмування Image Processing Toolbox. Після обробки отримують чисельні значення глибини боріздок та роблять висновки щодо шорсткості просканованого фрагмента.

Геометричні параметри є похідними від характеристик текстури поверхні покриття ЗПС. Зокрема, середня глибина профілю (СГП) визначається як різниця між середнім арифметичним двох піків і середнім рівнем на 100 мм лінії сканування (базової лінії) (рис. 6). Після того, як отримали СГП, також можна обчислити розрахункову глибину текстури (РГП).

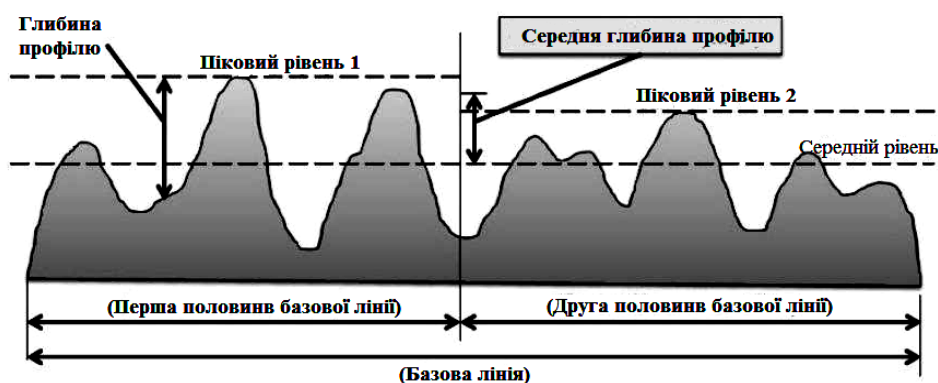


Рисунок 6 – Оцінка середньої глибини профілю

СГП визначається за формулою:

$$\text{СГП} = \frac{\text{Піковий рівень 1} + \text{Піковий рівень 2}}{2} - \text{Середній рівень}.$$

Додаткові параметри, які можуть бути визначені на додаток до середньої глибини профілю, зображені на рис. 7:

- середня шорсткість (R_a): середнє значення абсолютного відхилення лінії профілю від середньої лінії;
- пікова висота поглиблення (R_t): максимальна відстань по вертикалі між найвищим і найнижчим значеннями профілю;
- глибина вирівнювання (R_u): відстань між лінією, що дотична до максимального значення, та середнім рівнем;
- середня глибина (R_m): відстань між середньою лінією і лінією, що дотична до найнижчої точки.

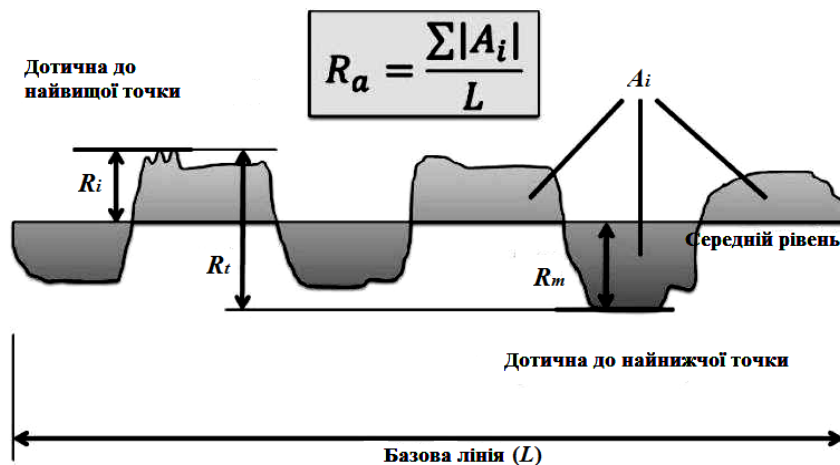


Рисунок 7 – Додаткові параметри сканованого профілю

В Міжнародному стандарті ISO 13473-2 визначені також статистичні параметри профілю ЗПС: дисперсія (D), середньоквадратичне відхилення (σ), асиметрія профілю (R_{ac}) та його «крутість», які є показниками вирівнювання профілю (R_{vir}). Фізичні значення показників R_{ac} та R_{vir} показані на рис. 8.

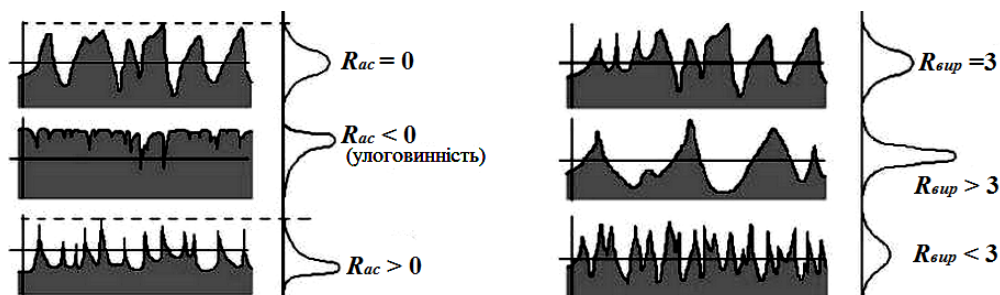


Рисунок 8 – Фізичні значення показників асиметрії та вирівнювання профілю

Комп'ютерна програма для обробки та аналізу отриманого зображення профілю ЗПС. Зображення профілю (див. рис. 5) обробляється в середовищі Matlab за допомогою стандартного пакету програмування Image Processing Toolbox, куди входять:

- підпрограма фільтрації, що виокремлює тільки червону лінію, яка відповідає профілю просканованого фрагмента ЗПС;
- підпрограма визначення пікових значень лінії профілю. Ця підпрограма повторюється стільки разів, скільки є зображень, що надає можливість побудувати тривимірне зображення поверхні сканування;
- підпрограма визначення середніх ліній (див. рис. 6);
- підпрограма побудови тривимірного зображення фрагмента ЗПС.

Побудована таким чином тривимірна модель фрагмента ЗПС зображена на рис. 9. Для оцінки якості збіжності побудованої моделі з реальним фрагментом ЗПС наведемо фотографію (рис. 10).

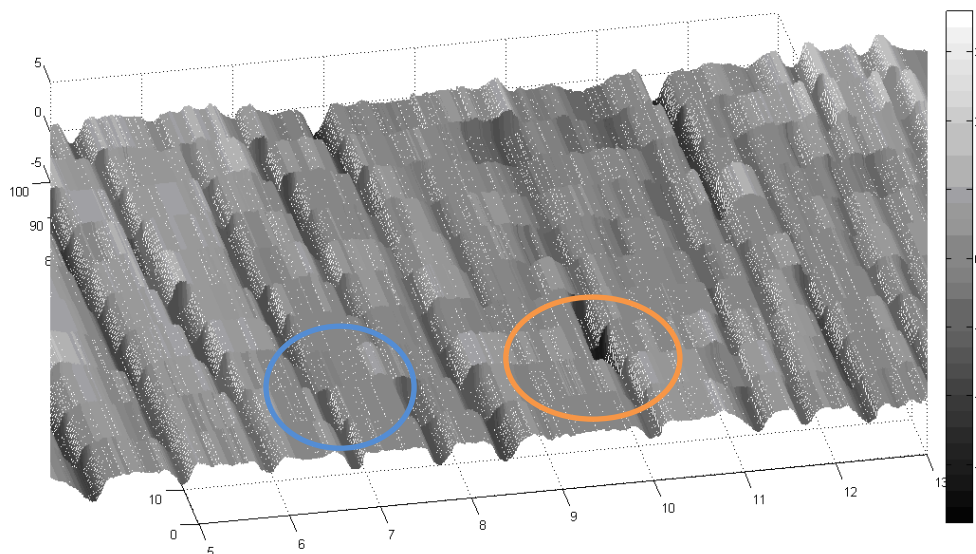


Рисунок 9 – 3-D модель фрагмента ЗПС



Рисунок 10 – Фотографія сканованого фрагмента ЗПС

Література

1. PIARC World Road Association Report of the Committee on Surface Characteristics. Proceeding of XVIII World Road Congress; Brussels, Belgium. 13–19 September 1987.
2. Guidi G., Russo M., Magrassi G., Bordoni M. A performance evaluation of triangulation based range sensors. Sensors. 2010;10:7192–7215.
3. Blateyron F. New 3D Parameters and Filtration Techniques for Surface Metrology. Proceeding of JSPE Annual Congress2006; Tokyo, Japan. 17–21 September 2006.

УДК 625.142.42

Кульбовський І.І., канд. техн. наук

СУЧАСНА КОНСТРУКЦІЯ БЕЗБАЛАСТНОГО ПОЛОТНА З БЛОЧНИМИ РЕЙКОВИМИ ОПОРАМИ EBS В ПРОЕКТАХ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Анотація. Розглянуто сучасну конструкцію безбаластного полотна з блочними рейковими опорами – система EBS.

Ключові слова: блочні опори, конструкція, безбаластне полотно, система EBS, метрополітен.

Аннотация. Рассмотрена современная конструкция безбаластного полотна с блочными рельсовыми опорами – система EBS.

Ключевые слова: блочные опоры, конструкция, безбаластное полотно, система EBS, метрополитен.

Annotation. The modern construction of ballastless track with block rail supports - system EBS are considered.

Key words: block supports, construction, ballastless track, system EBS, underground.

Типова конструкція колії для тунелів метрополітену практично не зазнала істотних змін з моменту будівництва першої лінії Московського метрополітену. Особливістю такої колії є використання дерев'яних шпал, замонолічених в бетон. Середній термін служби дерев'яних шпал обмежується, як правило,

двадцятьма роками з причин підвищеної вологості деревини і низької якості її просочення антисептиком.

Підвищений рівень вібрації тунельної обладки при типовій конструкції колії, створює дискомфорт в житлових будинках та інших спорудах, розташованих неподалік трас метрополітену неглибокого закладення.

Експлуатація нових ділянок віброзахисної конструкції колії з лежневою залізобетонною підрейковою основою та блоками БПО частково зменшила рівень вібрації та продовжила термін служби підрейкової основи, але не вирішила основних проблем в колійному господарстві метрополітену, а саме:

- підвищення експлуатаційної міцності залізничного полотна, зменшення витрат на поточне утримання;
- зменшення впливу шуму, вібрації і блукаючого струму;
- спрощення технології будівництва і модернізації залізничного полотна;
- підвищення безпеки руху та збільшення швидкості руху потягів.

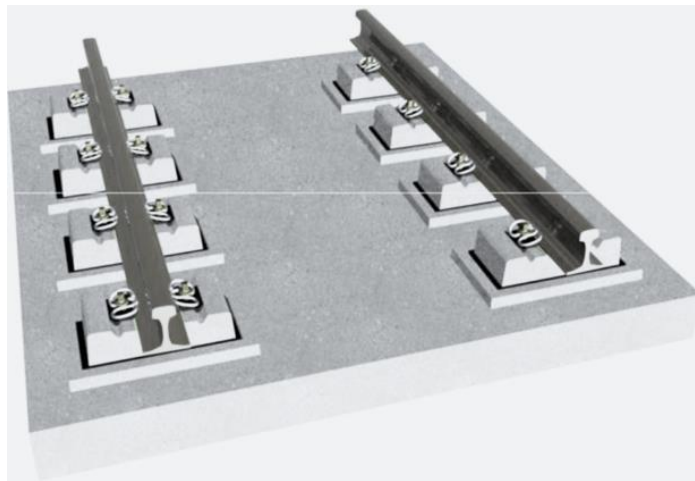


Рисунок 1 – Блочна рейкова опора

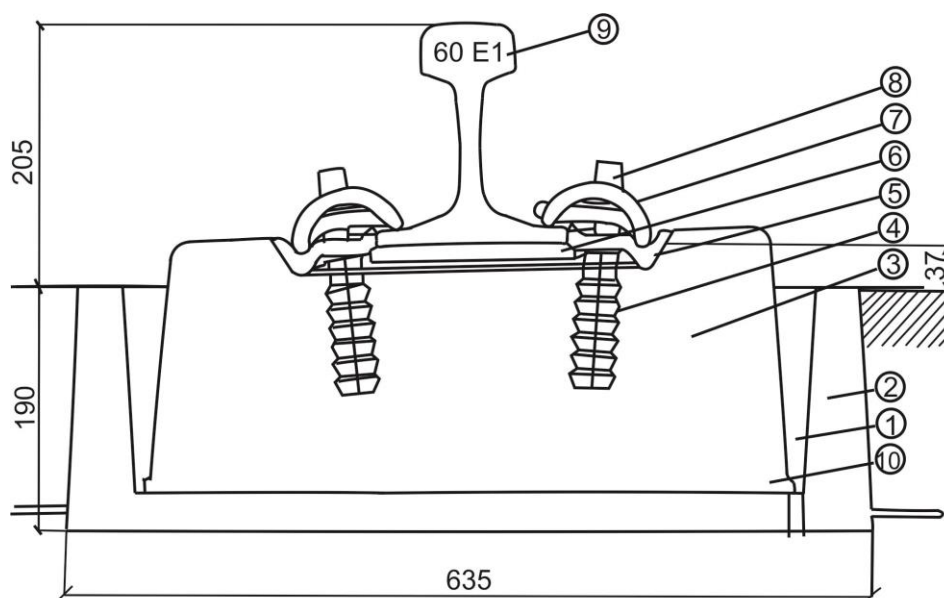
Система EBS являє собою безбаластну систему рейкових опорних блоків, яка призначена для застосування у верхній будові колії (*рис.1*). Вона забезпечує пружне перенесення навантажень від рухомого складу потягів і гасіння вібрацій, викликаних його проїздом. В даній системі рейки закріплені не до обрізних шпал, а до окремих бетонних опорних блоків, утоплених в збірних бетонних лотках з використанням еластичної поліуретанової смоли Edilon Corkelast®. Двохкомпонентна смоляна маса Edilon Corkelast® забезпечує міцність та еластичне кріплення бетонних блоків у збірному лотку,

виготовленому із штучного матеріалу. Завдяки цьому, кріплення рейок безпосередньо до основи не потрібне.

Значна пружність блочних опор і кріплення рейок позитивно впливає на перенесення вертикальних і горизонтальних навантажень від коліс, зменшуючи зношення рейок. Під опорними бетонними блоками можливе застосування віброізоляційної прокладки, яка забезпечує жорсткість кріплення кожної основи (рис. 2).

Система EBS забезпечує достатню жорсткість бетонного опорного блоку і зв'язаний з нею вертикальний прогин рейок не більше 2,5мм, а також стабільність колії на прямих та кривих ділянках. Максимальна відстань між опорами залежить від швидкості руху і осьових навантажень.

EBS – система, яка використовується як поглинач коливань середніх і високих частот, що виникають при взаємодії колеса –рейки. Рівень вібрації, а також рівень шуму при використанні системи значно знижується, що важливо для урбанізації територій.



1. ізоляційний шар опорного блоку - залівна маса Edilon Corkelast
2. збірний лоток опорного блоку
3. бетонний опорний блок
4. гвинтовий дюбель
5. кутова направляюча
6. підрейкова прокладка
7. еластична клема
8. болт
9. рейка
10. еластична віброізоляційна прокладка Edilon Resilient Strip

Рисунок 2 – Рейкова блочна опора зі збірним бетонним лотком

Для кріплення блочних опор використовують поліуретанові матеріали, які забезпечують редукцію шуму і вібрації. Міцність системи, легкість монтажу, а також мінімізація затрат на утримання верхньої будови колії – важливі переваги.

Висновки

Сучасна конструкція безбаластного полотна з блочними рейковими опорами EBS, гарантує безпеку руху потягів зі встановленими швидкостями та дозволяє істотно зменшити витрати на поточне утримання, що досягається завдяки:

- виключенню необхідності розбиття колійного бетону і укладання нового;
- повній механізації колійних робіт при очищенні лоткової зони;
- продовженню терміну служби підрейкової основи;
- зниженню рівня вібрації;
- зменшенню впливу шуму;
- стійкості з'єднання опори до впливу вологи, низьких температур і корозії

Література

1. Калиничев В.П. Метрополитены. – М.: Транспорт, 1988. – 200 с.
 2. Проектная документация участка в Киевском метрополитене в системе рельсовых блочных опор EBS. Техническое описание к исполнительному проекту. ТРАМПРОЕКТ – бюро исследований и проектов – Войчех Олексевиц (Варшава).
 3. Технічне свідоцтво придатності будівельних виробів для застосування. Зареєстроване за № 196 будівництва та житлово-комунального господарства України, м. Київ.
 4. Висновок науково-технічної експертизи ДП «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства» щодо придатності для застосування в будівництві та реконструкції залізничних колій будівельних виробів: система рейкових блокових підпор – Embedded Block System; системи ізольованих рейок – Embedded Rail System; системи збірки залізобетонних плит – Level Crossing – Length; віброізоляційних матів TRACKELAST ВІД 10.10.2011 р.
 5. Технічна апробата – АТ/09 – 2010 – 0098 – 01 Рейкова блокова підпора. Система EBS, 2010 р.
- ДСТУ 4344:2004. Рейки звичайні для залізниць широкої колії. Загальні технічні умови.

Невінгловський В.Ф.

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ

Анотація. В роботі наведено аналітичні залежності та методика розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття з використанням полімерних латексів на тріщиностійкості від спільної дії температури і транспортного навантаження. Підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття за рахунок полімерних латексів на залізобетонній мостовій споруді.

Ключові слова: асфальтобетонне покриття, полімерний латекс, залишковий ресурс, міра пошкодженості.

Аннотация. В работе приведены аналитические зависимости и методика расчета остаточного ресурса асфальтобетонного покрытия с использованием полимерных латексов на трещиностойкости от общего действия температуры и транспортной нагрузки. Повышение остаточного ресурса асфальтобетонного покрытия за счет полимерных латексов на железобетонном мостовом сооружении.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, полимерный латекс, остаточный ресурс, мера поврежденности.

Annotation. It is in-process resulted analytical dependences and method of calculation of remaining resource of asphalt carpet with the use of polymeric lateksiv on trischinostiynkosti from the general action of temperature and transport loading. An increase of remaining resource of asphalt carpet is due to polymeric lateksiv on reinforce-concrete bridge building.

Key words: asphalt carpet, polymeric lateks, remaining resource, measure of damaged.

Вступ

В Україні на автомобільних шляхах експлуатуються близько 16,1 тис. мостів і шляхопроводів, переважна більшість яких залізобетонні [1]. Асфальтобетонне покриття є найбільш розповсюдженим на залізобетонних автодорожніх мостах. Однак воно часто уражається поперечними тріщинами температурно-усадочного походження. Тріщини стають джерелом подальших руйнувань і призводять до передчасного виходу з ладу як самого покриття, так і елементів споруд [2, 3]. Дорожній бітум, як один із основних компонентів асфальтобетону, що виробляється на заводах України має низьку корозійну стійкість бітумів призводить до виникнення на поверхні покриття тріщин, сітки тріщин, вибоїн тощо. Альтернативним рішенням з поліпшення реологічної поведінки бітумів є модифікація полімерними латексами серії Бутонал, які здатні забезпечити додаткову гнучкість при низьких температурах і додаткове зчеплення для сприйняття напружень [4-6].

З утворенням тріщин поступово погіршується рівність покриття, знижується безпека і комфортність руху, збільшуються транспортні витрати і витрати на ремонт [3]. Ремонт тріщин є складним, трудомістким і дорогим процесом, супроводжується значними матеріало- і енерговитратами. Причому, виконувані ремонтні заходи не завжди досягають бажаного результату по усуненню тріщин.

Аналіз останніх досліджень

Розроблені теоретичні основи професора Мозгового В.В. [2] дали змогу визначити граничний стан асфальтобетонного покриття і прогнозувати їх температурну тріщиностійкість на базі кінетичної теорії міцності твердих тіл. Розвиток цієї роботи [2] дозволив встановити аналітичні залежності для визначення температурних напружень та граничного стану асфальтобетонного покриття в зоні між деформаційними швами залізобетонних прогонових будов та на основі цього розроблено методику розрахунку покриття на температурну тріщиностійкість [3].

На основі аналізу роботи [7] асфальтобетонних шарів зносу нежорсткого дорожнього одягу для міських умов визначено, що основними причинами утворення тріщин є спільна дія горизонтальних розтягуючих напружень від коливання температури, що викликає невідповідного скорочення розмірів при охолодженні, та дія горизонтальних розтягуючих напружень від транспортного навантаження, це дозволило розробити аналітичні залежності, а також

запропонована ідея оцінки залишкового ресурсу асфальтобетонних шарів зносу.

Аналізуючи результати сучасних досліджень, можна прийти висновку, що на даний час відсутня методика розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних мостах від спільної дії горизонтальних розтягуючих напружень від коливання температури та дії горизонтальних розтягуючих напружень від транспортного навантаження.

Внаслідок чого була проведена робота, щодо підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття за рахунок полімерних латексів на залізобетонних мостових спорудах, завдяки розробці методики його розрахунку на спільну дію температурної тріщиностійкості і тріщиностійкості від транспортного навантаження.

Розроблено концептуальні положення підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних мостових спорудах за рахунок модифікації полімерними латексами, що полягають у наступному: асфальтобетонні покриття на залізобетонних мостових спорудах повинні бути на протязі заданого терміну служби стійкими до водо-морозних впливів, повинно бути забезпечене належне зчеплення з нижнім шаром асфальтобетонного покриття та прогоновою плитою, повинні бути стійкими до колієутворення при високих температурах, а також стійким до тріщиноутворення від дії транспорту з урахуванням коливання температури. При цьому стійкість до водо-морозних впливів забезпечується належним вибором виду матеріалу для асфальтобетонного покриття на залізобетонних мостових спорудах та встановленням відповідних вимог до нього.

Теоретичні дослідження залишкового ресурсу з позицій дії температурного фактору з урахуванням дії транспортного навантаження на асфальтобетонне покриття мостів полягала у наступному.

Враховуючи те, що на мостах асфальтобетонне покриття працює при різних режимах руху транспортних засобів та відповідно дії гальмівних чи зчіпних дотичних зусиль: на автомобільних дорогах загального користування діє частіше короткочасне навантаження та більше гальмівне зусилля при зупинках транспортних засобів; на міських дорогах час дії навантаження є більш тривалим, а дія дотичних зусиль від транспортних засобів є частішими. Для оцінки залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд необхідно отримати аналітичні залежності, що дозволяють

прогнозувати напруження від дії транспортних засобів та температурні напруження в покритті при коливанні температур в добовому та річному циклах. Крім того, оцінка залишкового ресурсу повинна базуватися на умові граничного стану, що прогнозує утворення тріщин в покритті при дії напружень від транспорту та температурних напружень.

Для вирішення цих задач розглянемо основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових при коливанні температури та дії транспорту (Рис. 1, 2).

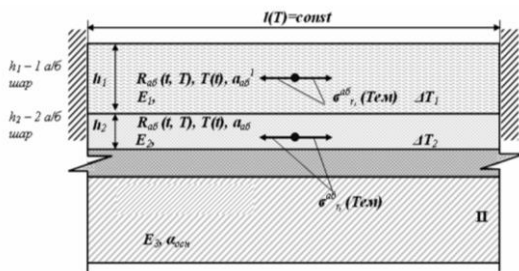


Рис. 1 – Розрахункова схема асфальтобетонного покриття (I), яке недостатньо зчеплене з основою із залізобетону (II) через податливий еластичний прошарок при зниженні температури: $R_{ab}(T)$, $R_{z/b}(T)$, – функція релаксації відповідно асфальтобетонного покриття, залізобетонної балки прогонової будови; $\sigma_{y\ r, (Tem)}^{ab}(t)$ – розтягуючі напруження від дії температури

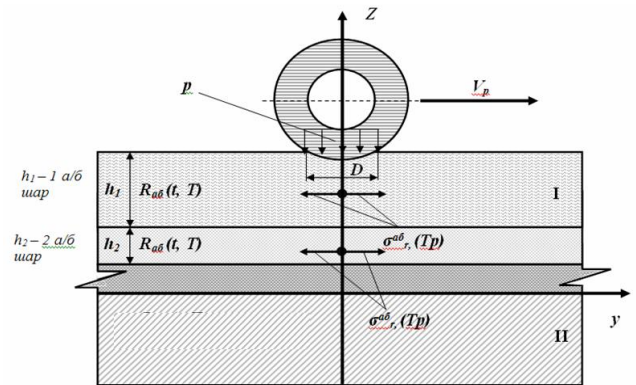


Рис. 2 – Епюра горизонтальних нормальних напружень асфальтобетонного покриття (I), при дії транспортних засобів на незруйновану монолітну основу (II) через податливий еластичний прошарок: $R_{ab}(T)$, $R_{z/b}(T)$, – функція релаксації відповідно асфальтобетонного покриття, залізобетонної балки прогонової будови; $\sigma_{y\ r, (Tp, t, q)}^{ab}(t)$ – розтягуючі напруження від часу дії транспорту; p - на поверхні якої прикладений рівномірний нормальний тиск, розподілений на площі круга діаметром D ; V_p – швидкість транспортного засобу 0-60 (80) км/год

Для розглянутих розрахункових схем з метою прогнозу температурного режиму та урахуванням річних і добових коливань з круговими частотами ω_p , ω_d , була використана бігармонічна залежність наступного виду [2-4, 7].

На основі попередньої залежності встановлені швидкості охолодження при річних k_p та добових k_d коливаннях температури.

Для випадку, коли в'язкопружні властивості матеріалу покриття не змінюються при зміні температури (окремий випадок термо-в'язко-пружності),

використовували інтегральне рівняння лінійної в'язко-пружності спадкоємного типу Больцмана-Вольтера виду [1-4, 6]

$$\sigma_{Tx}(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon_x(\tau), \quad (1)$$

де $R(t-\tau)$ - функція релаксації асфальтобетону; t - час спостереження; τ - час, який передує моменту спостереження.

Функція релаксації представлена аналітичними виразами виду:

$$R(t) = E_{\partial z} + (E_{\text{mm}} - E_{\partial z}) \cdot \left(1 + \frac{t}{\eta}\right)^{-\lambda}, \quad (2)$$

де λ і η - постійні, що визначаються в результаті експерименту;

$E_{\partial z}$ і E_{mm} - відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд.

Граничний стан описували критерієм Бейлі, визначаючи на його основі міру пошкодженості структури асфальтобетону:

$$M[\sigma(t, T, q, \tau, \theta), T(t)] = \int_0^{t_p} \frac{dt}{\tau[\sigma(t, T, q, \tau, \theta), T(t)]}, \quad (3)$$

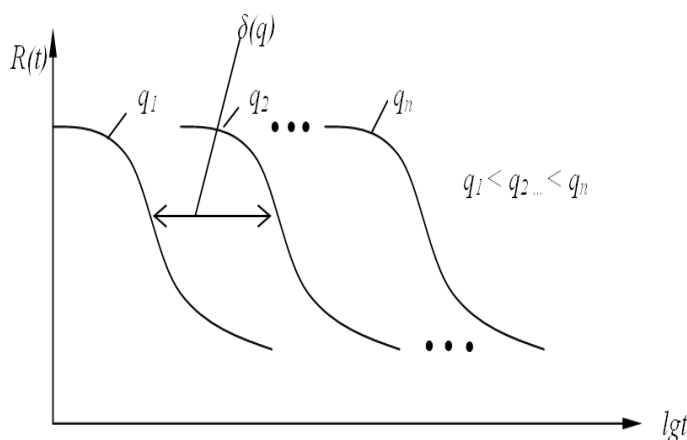
де t_p - час до руйнування (розтріскування);

$\tau[\sigma(t, T, q), T(t)]$ - функція довговічності асфальтобетону;

$\sigma(t, T, q, \tau, \theta)$ - напруження, які залежать від часу дії навантаження температури, кількості полімеру, часу та температури модифікації;

$T(t)$ - температура асфальтобетону, що змінюється з часом.

В роботі [6] в наслідок лабораторних досліджень було виявлено особливість зміни функції релаксації в залежності від кількості полімерного латексу (рис. 3).



де $\delta(q)$ - коефіцієнт полімерно-часової аналогії, який залежить від кількості полімеру

Рисунок 3 – Типовий графік функції полімерно-часового зсуву

Однак не враховано час модифікації бітумного в'язучого з полімерним латексом та температури модифікації, що вагомо впливає на функцію релаксації. Загальна схема зміни функції релаксації від часу модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу має такий вигляд (рис. 4, 5).

Тобто, для опису зміни функції релаксації від часу модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу можна застосувати так звану полімерно-часову суперпозицію подібну до функції релаксації. Функція полімерно-часового зсуву представляє собою зсув за шкалою $\lg t$ функції релаксації.

Залежність $\delta(\tau)$ та $\delta(\theta)$ встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу.

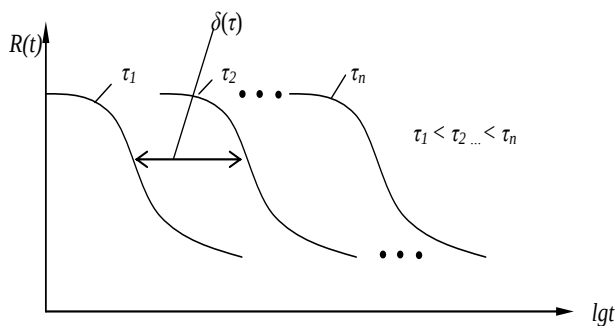


Рис. 4 – Типовий графік функції релаксації від часу модифікації: $\delta(\tau)$ – коефіцієнт полімерно-часової аналогії, який залежить від часу модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу

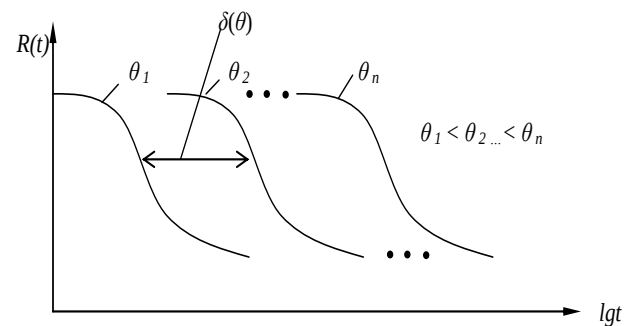


Рис. 5 – Типовий графік функції релаксації від температури модифікації: $\delta(\theta)$ – коефіцієнт полімерно-часової аналогії, який залежить від температури модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу

При визначенні температурних напружень в покритті для термочутливих складів асфальтобетону, як термореологічно простих матеріалів, використовували температурно-часову суперпозицію, на підставі якої отримані аналітичні залежності для прогнозу температурних напружень в асфальтобетонному покритті для двох випадків коли температура в покритті і залізобетонній прогоновій будові змінюються майже однаково і неоднаково. При зміні температури зі сталою швидкістю охолодження для визначення температурних напружень $\sigma_{Tx}(t)$ з урахуванням (2) отримана залежність:

$$\sigma^{ab}_{r,(Tem)}(t, T, q, \tau, \theta) = \frac{k_1 \cdot \alpha_{ab1} \cdot h_{ab1} + k_2 \cdot \alpha_{ab2} \cdot h_{ab2}}{h_{pfu}} \left(E_{\partial z} + (E_{mm} - E_{\partial z}) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P(T_0 + k \cdot t - T_0)} (e^{-P \cdot k \cdot (t - t_1)} - 1)}{\eta} \right)^{-\lambda} dt_1 \right), \quad (4)$$

де α_{ab1} , α_{ab2} – відповідно коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону верхнього та нижнього шару покриття;

k_1 , k_2 – швидкість охолодження верхнього та нижнього шару покриття;

h_{ab1} , h_{ab2} – товщина верхнього та нижнього шару покриття;

$E_{\partial z}$ і E_{mm} – відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд;

T_0 – початкова температура;

p – деякий експериментальний параметр з розмірністю $[1/^\circ\text{C}]$.

Застосування методу квазіупругої апроксимації [6], дозволило отримати графічний вираз визначення горизонтальних нормальних напружень з метою оцінки тріщиностійкості асфальтобетонних покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах (рис. 6).

Оскільки характеристики міцності асфальтобетону залежать як від температури так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то граничне прикладання навантажень на асфальтобетонному покритті, визначали за допомогою залишкового ресурсу (Z_p).

Для оцінки граничного стану асфальтобетонного покриття по залишковому ресурсу, можна описати як багато параметрична залежність. Узагальнений критерій – показника залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття (Z_p), який є функцією двох перемінних:

$$Z_p(t, T, q, \tau, \theta) = C_{TP} \cdot K_y - K_{від} \cdot (M_{Tem} + M_{Tp}), \quad (5)$$

$$\text{де } M_{Tem} = \int_0^{t_p} \frac{\sigma_T(t)^{b(t,T)}}{B_t(t,T)} dt \quad - \text{ міра пошкодженості асфальтобетонного}$$

покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах від зміни температури;

$$M_{Tp} = \frac{\sum N}{[N]} \quad - \text{ міра пошкодженості асфальтобетонного покриття}$$

модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах від дії транспорту [8];

K_{yp} – коефіцієнт умови роботи, що відображає матеріалоемні, експлуатаційні та конструктивні фактори;

$K_{від}$ – коефіцієнт відновлення асфальтобетонного покриття за даними роботи В.В. Мозгового [2], рівний 0,85.

B, b – параметри функції довговічності;

$[C_{тр}]$ – граничне допустиме значення міри пошкодженості асфальтобетонного покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах, приймається рівним добутку коефіцієнтів: коефіцієнту довготривалої водостійкості, морозостійкості і агресивної водостійкості ($C_{тр} = K_{вод} K_{мрз} K_a$); $\sum N$ – сумарна інтенсивність руху, що визначається за методикою ВБН В. 2.3 -218-186 ; $[N]$ – гранично допустима кількість розрахункового навантаження, що може витримати асфальтобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого нормального напруження σ_r , що визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186.



Рисунок 6 – Залежність горизонтальних нормальних напружень

Значення $[N]$ встановлюється за аналітичною залежністю:

$$[N] = \left(\frac{R_{\text{лаб}} k_m k_{np}}{R_p} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (6)$$

де $R_{\text{лаб}}$ – лабораторне значення границі міцності на розтяг при згині від одноразового прикладання навантаження (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);

k_m – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодно – кліматичних умов (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);

m – показник втоми;

k_{np} – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у не розрахунковий період (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);

$$R_p = K_{m\sigma} \cdot \sigma_r, \quad (7)$$

де $K_{m\sigma}$ – коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);

σ_r – найбільше напруження розтягу при згині від дії розрахункового транспортного навантаження в асфальтобетонному покритті за залежністю (5).

У вищенаведеній моделі критичним є стан, коли показник залишкового ресурсу буде становити менше $[Z]=0,3$. Отже граничний стан можна записати так:

$$Z_p(t, T, q, \tau, \theta) > [Z]. \quad (8)$$

Оскільки характеристики міцності асфальтобетону залежать як від часу дії навантаження так і від температури, проявляючи кінетичний характер руйнування, то визначали залишковий ресурс, який залежить від сумарної міри тріщиноутворення $M(t) = M_{Tem} + M_{Tp}$ за t зміни напруження і температури:

$$Z_p(t, T, q, \tau, \theta) = C_{Tp} \cdot K_y - K_{\sigma\theta} \cdot \int_0^{t_{ng}} \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_{ij}(t, T(t)) \cdot t^{n_j-1} \right)^b}{c \cdot e^{\frac{F}{[T(t)+273]b}}} dt +$$

$$+ \int_0^{t_p} \frac{\left(k_{a\sigma} \alpha_{a\sigma} \cdot h_{a\sigma} \left(E_{\sigma\epsilon} + (E_{mm} - E_{\sigma\epsilon}) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{P_1 k_{a\sigma}}{\eta} \left(e^{\frac{P_1 (T_s + k_{a\sigma} t - T_s)}{P_1 k_{a\sigma} (t-t_1)} - 1 \right) \right)^{-\lambda} dt_1 \right) \right)^b}{c \cdot e^{\frac{F}{[T(t)+273]b}}} dt > [Z] \quad (9)$$

Висновок

Розроблено основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд, що враховують особливості конструкцій покриття. Для цих розрахункових схем розроблено аналітичні залежності для розрахунку горизонтальних нормальних напружень, що виникають в асфальтобетонному покритті від коливання температури та дії

транспортних засобів. Ці аналітичні залежності отримані з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону, що описуються функцією релаксацією, функцією температурно-часової зміщення.

Отримано аналітичні залежності для розрахунку залишкового ресурсу за тріщиностійкістю асфальтобетонного покриття з використанням полімерних латексів на залізобетонних мостових спорудах з урахуванням температурного та транспортного факторів та розроблено методику залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття з використанням полімерних латексів на мостах від спільної дії температури і транспортного навантаження, а також з урахуванням термореологічних властивостей і регіональних кліматичних умов.

Література

1. Коваль П. М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України // Дороги і мости. Збірник наукових статей. Вип.1. – Київ, 2003. – С.15 – 22.
2. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11. – К., 1996 – 406 с.
3. Іщенко О.М. Розробка методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 2003. – 21 с.
4. Невінгловський В. Ф. Підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття за рахунок полімерних латексів на залізобетонних мостових спорудах / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М.В.// Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»: Луцьк. – 2012 – Вип. 36. – С. 227-232.
5. Онищенко А. М. Підвищення довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання полімерного модифікатору Бутонал NS 104 / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С., Баран С. А., Лаптева Н. С., Лютенко В. А. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2010 - № 38 – С. 84-87.
6. Онищенко А. М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів. Дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.11 / Онищенко А. М. – Київ, 2008. – 229 с.
7. Жуков О.О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг. Дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.11 / Жуков О. О. – Київ, 2011. – 176 с.
8. МВ 218-02070915-679:2010 Методичні вказівки з розрахунку асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість.

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ РЕСУРСУ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

Анотація. Стаття присвячена моделюванню життєвого циклу залізобетонних елементів мостів. Процес акумуляції пошкоджень описується аналітичною степеневою функцією. Запропонована модель обґрунтовується статистичними даними системи експлуатації мостів.

Ключові слова: модель життєвого циклу, оцінка ресурсу елементів мостів, прогноз залишкового ресурсу.

Аннотация. Статья посвящена моделированию жизненного цикла железобетонных элементов мостов. Процесс аккумуляции повреждений описывается аналитической степенной функцией. Предложенная модель обосновывается статистическим данным системы эксплуатации мостов.

Ключевые слова: модель жизненного цикла, оценка ресурса элементов мостов, прогноз остаточного ресурса.

Annotation. This paper is devoted to modeling the life cycle of reinforced concrete bridge elements. The process of accumulation of damage described analytical power function. The proposed model is justified statistics system operation bridges.

Key words: life-cycle model, bridge elements assessments, prediction of the resource.

Проблема

Не одне десятиріччя спеціалісти з будівельних конструкцій шукають шляхи для продовження строку служби конструкцій та споруд на основі наукових розробок з оцінки параметрів надійності і довговічності, створенню систем з керування станом конструкцій та споруд і методів прогнозування технічного стану конструкцій і споруд протягом всього життєвого циклу.

Мости на автомобільних дорогах загального користування, в містах і населених пунктах не мають належного догляду, необхідні ремонтно-профілактичні роботи вчасно не виконуються. Світова практика показує, що за умов дбайливого утримання залізобетонні прогонові будови можуть служити понад 100 років, а без догляду строк служби скорочується до 35-50 років.

Причин незадовільного стану мостів України є декілька:

- відсутність належного догляду та адекватної експлуатації;
- низька якість матеріалів для гідроізоляції та виконання робіт;
- невиправдано широке застосування в останні 30 років збірних залізобетонних конструкцій, недостатньо перевірених практикою.

Оцінюючи стан автодорожніх і міських мостів України в цілому, слід наголосити, що їх фізичний стан та організація експлуатації є незадовільними, загрозливими для функціонування споруд та дорожньої мережі.

Мета роботи

Метою цієї роботи є розробка методології оцінки ресурсу прогонових будов на всіх стадіях життєвого циклу автодорожніх мостів на стадії проектування. В статті аналізується параметри моделі та наводиться числовий порівняльний аналіз за статистичними даними системи експлуатації автодорожніх мостів на дорогах загального користування АЕСУМ [1].

Модель життєвого циклу

Модель життєвого циклу запропонована в роботі[2], містить модель тріщиноутворення та функцію – індикатор деградації залізобетонного елементу. Єдиним параметром моделі є фактор ширини розкриття тріщини a_{cr} , що отримана на стадії проектування. Модель є детерміністичною - в якій змінні та функції приймають фіксовані значення. В цій моделі ігнорується випадкова природа змінних, а час t приймає фіксовані значення.

Модель життєвого циклу представимо у вигляді:

$$A(t) = a_{cr} \cdot f(t), \quad (1)$$

де a_{cr} – функція ширини розкриття тріщин;

$f(t)$ - індикатор деградації залізобетонного елементу.

Функція ширини розкриття тріщин a_{cr} на стадії проектування, в загальному випадку має вид:

$$a_{cr} = f_a(b, h, A_{red}, I_{red}, y_{red}, R_{b.ser}, R_{bt.ser}, E_p, M_{c8}, N_o, e_o, M_r, N_1, e_1, \sigma_n, \sigma_{bt}, \sigma_{bc}, A_p, A_{bt}, A_r, x_t, \Delta\sigma_p, \beta, n, d, R_r, \psi) \quad (2)$$

b – ширина приведенного перерізу;
 h – висота приведенного перерізу;
 A_{red} – площа приведенного перерізу;
 I_{red} – момент інерції приведенного перерізу;
 y_{red} – положення нейтральної вісі;
 $R_{b,ser}$ – розрахунковий опір бетону на стиск для другої групи граничних станів;
 $R_{bt,ser}$ – розрахунковий опір бетону на розтяг для другої групи граничних станів; E_p – модуль пружності арматури;
 M_{cb} – нормативний момент від власної ваги балки;
 N_0 – рівнодійна зусиль попереднього напруження на стадії виготовлення;
 e_0 – ексцентриситет рівнодійної;
 M_r – нормативний момент від постійного та тимчасового навантаження;
 N_1 – рівнодійна зусиль попереднього напруження на стадії експлуатації;
 σ_{π} – сумарні втрати від попереднього напруження;
 A_p – площа арматури;
 A_r – площа взаємодії;
 x_t – висота розтягнутої зони бетону;

Функція $f(t)$ – індикатор деградації залізобетонного елементу, безрозмірна функція, яка представлена так:

$$f(t) = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5 \cdot s \cdot t^2 \quad (3)$$

де m_1 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від типу армування;

m_2 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від проектного класу бетону;

m_3 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від типу конструкції (збірна, збірно – монолітна і монолітна);

m_4 – коефіцієнт розкриття тріщин, визначається в залежності від умов експлуатації;

m_5 – коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від дорожньо – кліматичних зон; s – масштабний коефіцієнт,

Δ_{cr} – граничне значення ширини розкриття тріщини, см; t – час.

Коефіцієнт m_1 приймаємо в залежності від нормативних вимог до тріщиностійкості[3]. Значення приймаються як відношення граничних значень ширини розкриття тріщин:

$$m_1 = \frac{\Delta_{cr}(K_i)}{\Delta_{cr}(K_1)} \quad (4)$$

де $\Delta_{cr}(K_i)$ – граничне значення ширини розкриття тріщини в залежності від категорії тріщиностійкості;

$\Delta_{cr}(K_1)$ – граничне значення ширини розкриття тріщини для категорії тріщиностійкості “2а”, $\Delta_{cr}(K_1)=0.01$, см.

Таблиця 1–Значення параметрів моделі в залежності від категорії тріщиностійкості мостових конструкцій

Параметри моделі, K_i	Граничне значення ширини розкриття тріщини Δ_{cr} , см	Категорія тріщиностійкості	Коефіцієнт m_1
K_1	0.010	2а	1.0
K_2	0.015	2б та 3а	1.5
K_3	0.020	3б	2.0
K_4	0.030	3в	3.0

Коефіцієнти m_2 приймаємо, як відношення розрахункового опору осьового розтягу бетону R_{bt} класу В60 до розрахункового опору осьового розтягу R_{bt} , проектного класу бетону:

$$m_2 = \frac{R_{bt}(B60)}{R_{bt}(B_i)} \quad (5)$$

де $R_{bt}(B60)$ – розрахунковий опір осьовому розтягу, МПа (кгс/см²), бетону класу В60;

$R_{bt}(B_i)$ – розрахунковий опір осьовому розтягу, МПа (кгс/см²), проектного класу бетону. Обчислені коефіцієнти характеристики бетону, наведені в таблиці 2.

Таблиця 2–Коефіцієнти характеристики бетону, m_2

Класи бетону В	R_{bt}	Коефіцієнт m_2
В40 і вище	1.25-1.50	1
В30 – В35	1.1-1.15	1.3
В25 – В27.5	0.95-1.05	1.5
В20 і менше	0.85	1.75

Коефіцієнт m_3 приймаємо в залежності від проектного терміну служби, років:

$$m_3 = \frac{T_1}{T_i} \quad (6)$$

де T_1 - максимальний термін служби прогонової будови ($T=100$ років);

T_i - термін служби прогонової будови в залежності від типу конструкції.

Коефіцієнт m_3 приймається як відношення максимального терміну служби в 100 років до відповідного терміну служби збірно – монолітної конструкції та збірної конструкції [3]. Обчисленні коефіцієнти типу конструкції наведені в табл.3.

Таблиця 3-Коефіцієнти типу конструкції, m_3

Тип армування елемента	Коефіцієнт m_3
Монолітна конструкція	1.0
Збірно – монолітна конструкція	1.25
Збірна конструкція	1.45

Коефіцієнт m_4 приймаємо, як відношення розкриття тріщини на стадії проектування a_{cr1} до ширини розкриття тріщини в залежності від умов експлуатації a_{cri} :

$$m_4 = \frac{a_{cri}}{a_{cr1}} \quad (7)$$

де a_{cr1} - ширина розкриття тріщини на стадії проектування, см;

a_{cri} - ширина розкриття тріщини в залежності від умов експлуатації, см;

Граничні значення наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 -Коефіцієнти умов експлуатації, m_4

Умови експлуатації	Коефіцієнт умов експлуатації m_4	Розрахункові значення ширини розкриття тріщини, a_{cr} , см
Згідно з вимогами чинних норм експлуатації	1.0	$a_{cr} \leq 0.010$
Незадовільна експлуатація	1.5	$0.02 \geq a_{cr} > 0.015$
Відсутність систематичної експлуатації	2.0	$0.03 \geq a_{cr} > 0.02$

m_5 - коефіцієнт розкриття тріщин, що визначається в залежності від дорожньо-кліматичних зон, наведено в табл. 5 згідно [5].

Таблиця 5 - Коефіцієнт дорожньо-кліматичних зон, m_5

Географічні границі дорожньо-кліматичних зон України	Коефіцієнт дорожньо-кліматичних зон, m_5
Південна	1.1
Гірська	1.2
Центральна	1.3
Північна	1.4

Проектний час досягнення i – го експлуатаційного стану, в функції ширини розкриття тріщини, знайдемо з моделі життєвого циклу залізобетонних елементів (1), якщо покласти $A(t) = A_{lim}$, де A_{lim} , - граничне значення ширини розкриття тріщини в i – му експлуатаційному стані згідно нормативного документу [4]:

$$T = \sqrt{\frac{A_{lim}}{a \cdot K}} \quad (8)$$

Аналіз моделі

Метою представленого нижче аналізу є тестування моделі та порівняння результатів прогнозу життєвого циклу з даними Аналітичної експертної системи управління мостами Укравтодору (АЕСУМ) [1]. Аналізуються результати прогнозу в залежності від значень коефіцієнтів m_i функції - індикатора деградації залізобетонного елементу ϕ .(3).

Коефіцієнт умов експлуатації, m_4

Властивості моделі в функції коефіцієнту умов експлуатації m_4 аналізується для таких початкових даних: збірна залізобетонна прогонова будова, класу бетону В 30, арматура без попереднього напруження, умови Південної зони (табл.5).

Результати прогнозування життєвого циклу в функції коефіцієнта умов експлуатації, m_4 представлені в табл. 4. Обчисленні виконані в форматі прийнятому в АЕСУМ, тобто прогнозується час переходу в Π – В експлуатаційні стани.

Таблиця 6– Прогноз життєвого циклу в залежності від умов експлуатації.

Позначення кривої моделі	Ширина розкриття тріщини	Перехід до і – го експлуатаційного стану			
		II	III	IV	V
$A(t)$	0.1	35	49	60	70
$Aa(t)$	0.1	28	40	49	57
$Ab(t)$	0.1	25	35	43	48

Графіки кривих прогнозу представлені на рис.1

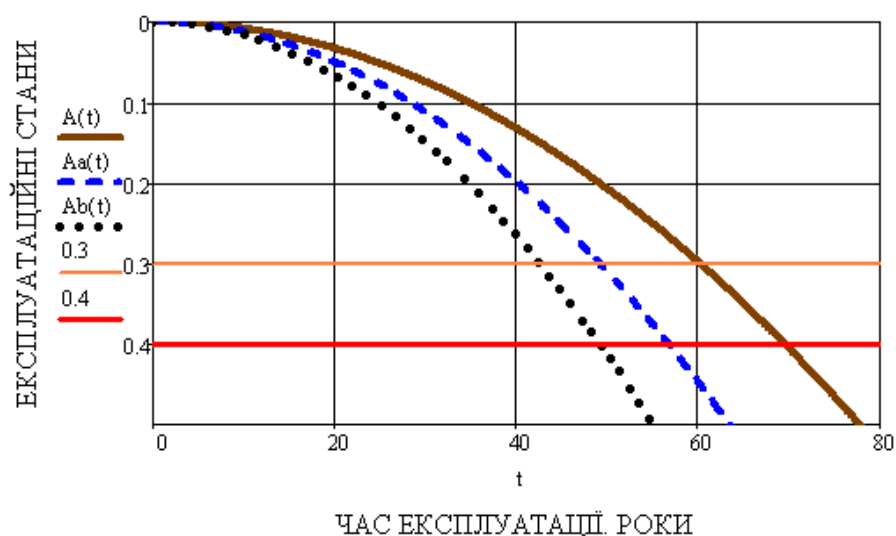


Рисунок 1 - Криві прогнозу терміну життєвого циклу

$A(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, при умові експлуатації згідно з вимогами чинних норм;

$Aa(t)$ - крива прогнозу терміну життєвого циклу, при умові незадовільної експлуатації;

$Ab(t)$ - крива прогнозу терміну життєвого циклу, при умові відсутньої систематичної експлуатації

Результати представлені в табл.6 отримані за умови досягнення граничної ширини розкриття тріщини $a_{cr}=0.01$ см в трьох випадках умов експлуатації, для коефіцієнтів умов експлуатації m_4 (табл.4). Інші коефіцієнти функції – індикатора ф. (3) прийняті сталими згідно початковими даними : $m_1=3$; $m_2=1.3$; $m_3=1.45$ та $m_5=1$.

Як видно з табл. 6 за умов експлуатації згідно нормативних вимог ресурс складає 70 років, тоді як при відсутності систематичних заходів утримання

ресурс складає 48 років. Отримані значення ресурсу досить є близькими до фактичних даних, отриманих з АЕСУМ.

Коефіцієнт умов кліматичних зон, m_5

Властивості моделі в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 аналізується для таких початкових даних: збірна залізобетонна прогонова будова, класу бетону В 30, арматура без попереднього напруження, умови експлуатації - згідно чинних норм експлуатації.

Результати прогнозування життєвого циклу в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 представлені в табл. 5. Обчисленні виконані в форматі прийнятому в АЕСУМ, тобто прогнозується не тільки ресурс споруди, а і час переходу в II – V експлуатаційні стани.

Таблиця 7 - Перехід в експлуатаційний стан з плином часу, в залежності від дорожньо – кліматичної зони

Позначення кривої моделі	Географічні частини України	Перехід до і-го експлуатаційного стану, роки			
		II	III	IV	V
A1(t)	Південна	33	47	57	66
A2(t)	Гірська	32	45	55	64
A3(t)	Центральна	31	43	53	61
A4(t)	Північна	29	42	51	59

Графіки кривих прогнозу представлені на рис.2

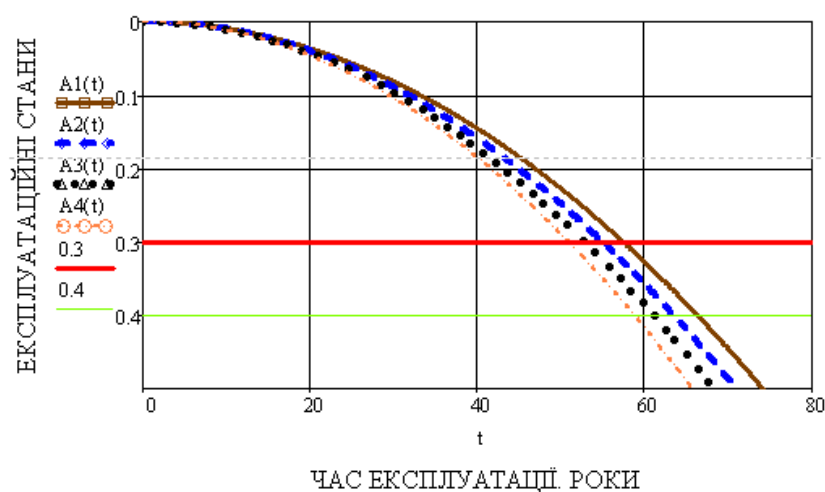


Рисунок 2 – Криві прогнозу терміну життєвого циклу

де $A1(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Південної дорожньо – кліматичної зони;

$A2(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Гірської дорожньо – кліматичної зони;

$A3(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Центральної дорожньо – кліматичної зони;

$A4(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Північної дорожньо – кліматичної зони.

Результати представлені в табл.7 отримані за умови досягнення граничної ширини розкриття тріщини $a_{cr} = 0.01$ см, для чотирьох дорожньо - кліматичних зон m_5 (табл.5). Інші коефіцієнти функції – індикатора ϕ . (3) прийняті сталими згідно початкових даних : $m_1=3$; $m_2=1.3$; $m_3=1.45$ та $m_4=1$.

Як видно з цих числових експериментів вплив кліматичних умов на результати прогнозу для України є незначним.

Властивості моделі в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 нижче аналізуються також у випадку відсутності систематичної експлуатації.

Вихідні данні: збірна залізобетонна прогонова будова, класу бетону В 30, арматура без попереднього напруження, умови експлуатації – відсутність регулярних експлуатаційних заходів.

Результати прогнозування життєвого циклу в функції коефіцієнту дорожньо- кліматичних зон, m_5 представлені в табл. 5. Обчисленні виконані в форматі прийнятому в АЕСУМ, тобто прогнозується час переходу в II – V експлуатаційні стани. Отримані значення ресурсу свідчать про суттєвий вплив умов експлуатації довговічність споруди.

Таблиця 8 - Перехід в нижчі експлуатаційні стани з плином часу, в залежності від дорожньо – кліматичної зони, в умовах відсутності регулярних експлуатаційних заходів

Позначення кривої моделі	Географічні частини України	Перехід до i – го експлуатаційного стану			
		II	III	IV	V
$A1(t)$	Південна	23	33	41	47
$A2(t)$	Гірська	22	32	39	45
$A3(t)$	Центральна	22	31	37	43
$A4(t)$	Північна	21	29	36	42

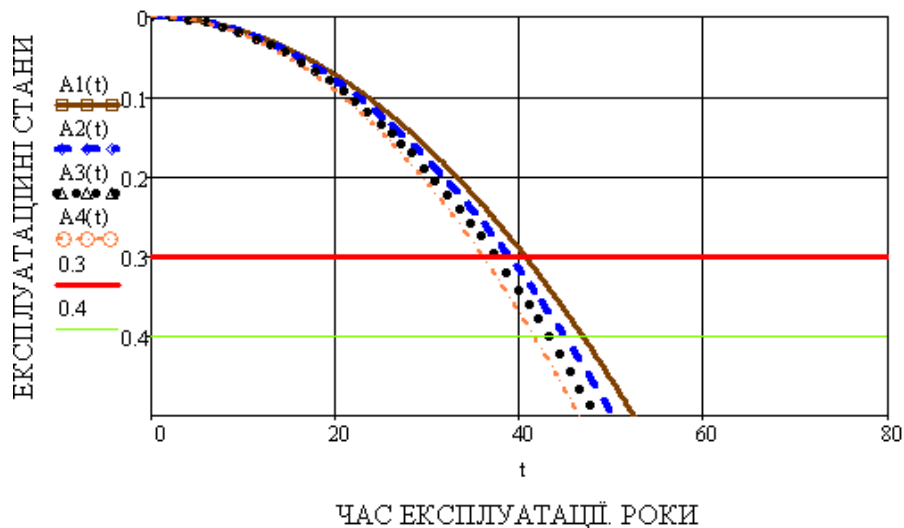


Рисунок 3 – Криві прогнозу терміну життєвого циклу

де $A1(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Південної дорожньо – кліматичної зони;

$A2(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Гірської дорожньо – кліматичної зони;

$A3(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Центральної дорожньо – кліматичної зони;

$A4(t)$ – крива прогнозу терміну життєвого циклу, для Північної дорожньо – кліматичної зони.

Результати представлені в табл.8 отримані за умови досягнення граничної ширини розкриття тріщини $a_{cr}=0.01$ см, для чотирьох дорожньо - кліматичних зон m_5 (табл.5). Інші коефіцієнти функції – індикатора ϕ . (3) прийняті сталими згідно початкових даних : $m_1=3$; $m_2=1.3$; $m_3=1.45$ та $m_4=2$.

Як видно з табл. 8, в порівнянні з даними табл. 7 модель суттєво реагує на зміну одночасно двох коефіцієнтів: дорожньо - кліматичних зон ресурс та умов експлуатації.

Результати, що представлені в табл.7 та табл. 8 зведено в загальну таблицю (табл. 9), в якій приведений зведений аналіз прогнозованого ресурсу та фактичний термін служби мостів що досягли 5-го експлуатаційного стану.

Для аналізу з АЕСУМ було отримано вибірки 10 збірних залізобетонних прогонових будов мостів, армованих без попереднього напруження, класу бетону В30, що знаходяться в п'ятому експлуатаційному стані.

Таблиця 9 – Прогнозований ресурс в залежності від умов експлуатації та дорожньо-кліматичних зон

№ п/ п	Міст	Ресурс за моделлю, роки	Ресурс за моделлю, в умовах відсутності експл. заходів, роки	Фактичний термін служби при досягненні 5 експлуатаційн ого стану, роки
	Південна			
1	Шляхопровід Донецька обл	66	47	45
2	Шляхопровід, Луганська обл	66	47	47
	Гірська			
3	Міст,р. Прут, Івано-Франківська обл	64	45	44
	Центральна			
4	Міст , р.Серет, Тернопільська обл	61	43	39
5	Міст, р. Десна Вінницька область	61	43	43
6	Міст , р.Вільшанка, Харківська обл	61	43	42
7	Шляхорівід, Черкаська обл.	61	43	45
	Північна			
8	Міст р.Тетерів, Житомирська обл	59	42	43
9	Міст, струмок , Рівненська обл	59	42	47
10	Міст, канал с.Луки, Львівська обл	59	42	37

Як видно з табл. 9 (перша колонка) прогнозований ресурс за моделлю близько співпадає з вимогами нормативного документу[3]- 70 років. Прогноз за умови максимальних значень коефіцієнтів m_4 та m_5 (інші коефіцієнти мають сталі величини), складає всього лиш 42 - 47 років (5-й експлуатаційний стан). Порівняння термінів прогнозу та фактичних термінів служби отриманих з даних АЕСУМ (друга і третя колонки таблиці 9) свідчить про досить точне прогнозування за моделлю, що пропонується.

Висновки

1. Саме така модель, що описує деградацію елементу з плином часу має відкрити шлях до проектування залізобетонних елементів на заданий термін служби, прогнозувати життєвий цикл елемента моста в експлуатації.

2. Як видно з результатів аналізу, модель дає результати достатньої збіжності з даними системи експлуатації автодорожніх мостів на дорогах загального користування з фактичними термінами служби, що є вагомим обґрунтуванням можливості застосування моделі на всіх етапах життєвого циклу, починаючи з проектування.

3. Наведена детерміністична модель є досить перспективною для проектної практики, як інструмент управління довговічністю залізобетонних прогонових будов. В остаточному варіанті модель потребує певного імовірнісного вдосконалення.

Ця робота була виконана під керівництвом д-ра техн. наук, професора Лантуха-Лященко А.І. Висловлюю йому мою щирю подяку.

Література

1. Лантух-Лященко А.І. Надійність і довговічність автодорожніх мостів наукові розробки з нормативного регулювання. Транспортна Академія України: 20 років (1992-2012).-К.:НТУ, 2012-208 с. –С. 39-59.
2. Янчук Л.Л. Обґрунтування моделі прогнозу життєвого циклу залізобетонних елементів мостового переходу. / Л.Л. Янчук // Теорія і практика будівництва : [збірник наукових праць] / : Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2010. - 403 с. : іл. - (Вісник / Національний університет "Львівська політехніка" ; № 664). – С. 365-370.
3. ДБН В.2.3- 22 - 2009 "Мости і труби. Основні вимоги проектування".-
4. Мінрегіонбуд України, К.: 2009.
5. ДСТУ-Н Б.В.2.3-23:2009 «Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів». - Мінрегіонбуд України, К.: 2009.
6. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування Частина ІІ. Будівництво.М.

УДК 625.7

Гавриш В.С.

АКУСТИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИДОРОЖНОГО ПРОСТРАНСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Анотація. Дана стаття присвячена методиці оцінки рівня акустичного забруднення на автомобільних дорогах. Проаналізовано основні фактори шкідливого впливу шуму на населення в придорожньому просторі. Розглянуто два методи оцінки: метод натурних вимірів і розрахунковий.

Ключові слова: автомобільна дорога, придорожній простір, акустичне забруднення, шумовий дискомфорт, транспортний потік, еквівалентний рівень шуму.

Аннотация. Данная статья посвящена методике оценки уровня акустического загрязнения на автомобильных дорогах. Проанализированы основные факторы вредного воздействия шума на население в придорожном пространстве. Рассмотрены два метода оценки: метод натурных измерений и расчетный.

Ключевые слова: автомобильная дорога, придорожное пространство, акустическое загрязнение, шумовой дискомфорт, транспортный поток, эквивалентный уровень шума.

Annotation . This article deals with the method of assessment the level of noise pollution on highways. The main factors of the harmful effects of noise on the population in the roadside area are analyzed. Two methods of assessment: a method of natural measurements and calculation method are considered.

Keywords: highway, roadside area, acoustic pollution, noise

Введение

Среди всех факторов негативного воздействия автомобильных дорог на окружающую среду в последние годы уделяется наибольшее внимание транспортному шуму. Во многом это происходит из-за того, что транспортный шум является одним из наиболее раздражающих факторов физического воздействия на человека [1].

Обеспечению снижения шума в жилой застройке способствовали многочисленные исследования ученых отечественной школы градостроительной и архитектурной акустики. Представителями данной школы были решены такие важные проблемы как прогнозирование шума на автомобильных дорогах и в придорожном пространстве населенных пунктов, формирование градостроительной политики, направленной на реализацию методов снижения шума за счет планировочных градостроительных средств, внедрение методов защиты от шума. Среди основателей школы градостроительной акустики необходимо отметить следующих ученых: Г.Л. Осипова, В.Н. Луканина, Н.И. Иванова, И.Л. Карагодину, Б.Г. Пруткова, Е.П. Самойлюка, И.А. Шишкина, Е.Я. Юдина, П.И. Поспелова. Внедрению методов защиты от шума, как части обеспечения экологической устойчивости автомобильных дорог, способствовали работы В.Ф. Бабкова, М.В. Немчинова, И.Е. Евгеньева и многих других [2].

В последние годы высокая интенсивность движения еще больше усугубляет проблему воздействия шума на человека, которая стала проявляться в особенности там, где загрузка в "часы пик" приблизилась к пропускной способности. Происходит перераспределение интенсивности движения по часам суток. Жители пригородных районов населенных пунктов, располагающихся вдоль автомобильных дорог, стали отдавать предпочтение передвижению в более ранние утренние и поздние вечерние часы. Это связано с ненормируемым рабочим временем, с желанием двигаться по дорогам без задержек и с более высоким уровнем комфорта и безопасности. Таким образом, загрузка автомобильных дорог в вечерние и утренние часы значительно возросла по сравнению с таковой, в традиционные "часы пик".

Отсутствие в нормативных документах по проектированию автомобильных дорог технически и экономически обоснованных величин буферных зон до застройки, законодательных требований по запрету на ее

размещение у построенных дорог, привело к тому, что во многих населенных пунктах уровни звука превышают допустимые величины, регламентируемые санитарными нормами и Законами Украины. За последнее время средний уровень шума, производимый транспортом, увеличился на 15 – 18 дБ. Вот почему проблема борьбы с шумом автотранспорта приобретает значительную остроту [2].

Результаты экспериментальных исследований по определению акустического загрязнения

Шумовую характеристику транспортных потоков следует измерять согласно ГОСТ 20444 – 95 «Транспортные потоки в населенных пунктах» и ГОСТ 20444 – 85 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики». Методы измерения шумовых характеристик вне и внутри основных средств дорожного движения регламентируются ГОСТ 19358 – 99 «Автомобили, автопоезда, автобусы, мотоциклы, мотороллеры, мопеды и мотовелосипеды. Внешний и внутренний шум. Предельно допустимые уровни. Методы измерения», базирующимся на рекомендациях Международной организации по стандартизации ИСО/ Р 362 «Измерения шума автомобилей».

По итогам измерений разрабатываются мероприятия по защите населения от транспортного шума. Шумовой характеристикой транспортных потоков является эквивалентный уровень звука $L_{A_{экв}}$ в дБА.

Места проведения измерений для определения шумовой характеристики транспортных потоков следует выбирать на прямолинейных горизонтальных участках улиц или дорог с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием. Продольный уклон улицы или дороги должен быть не более 1%. Поверхность проезжей части улицы или дороги должна быть гладкой, чистой и сухой (без выбоин, песка, гравия, грязи, воды и снега). Вокруг места проведения измерений в радиусе 50 м не должны находиться какие-либо сооружения (здания, сплошные заборы и др.) или элементы рельефа, отражающие звук или препятствующие его доступу к микрофону. Места проведения измерений должны быть расположены на участках улиц или дорог с установившейся скоростью движения транспорта и на расстоянии 50 м от транспортных узлов и остановок.

Измерительный микрофон должен находиться на расстоянии $(7,5 \pm 0,2)$ м от оси первой полосы движения транспортных средств на высоте $(1,2 \pm 0,1)$ м от уровня проезжей части. При проведении измерений для оценки фактического шумового режима, составления карты улично-дорожной сети населенного пункта и разработке мероприятий по защите населения от транспортного шума на узких улицах и дорогах измерительный микрофон можно устанавливать также на расстоянии, меньшем 7,5 м от оси первой полосы движения транспортных средств, но не ближе 1 м от стен зданий, сплошных заборов или элементов рельефа, отражающих звук. Микрофон должен быть направлен в сторону транспортного потока. Значение уровня звука принимают по максимальному показанию стрелки прибора в момент отсчета.

Продолжительность измерений в каждой точке следует устанавливать в зависимости от интенсивности движения транспортных потоков. Для транспортных потоков интенсивностью выше 1000 авт./час должно быть сделано 300 отсчетов уровней звука (продолжительность измерений не менее 10 мин), для транспортных потоков интенсивностью от 500 до 1000 авт./час – 600 отсчетов уровней звука (продолжительностью измерений не менее 20 мин), для транспортных потоков интенсивностью менее 500 авт./час – 900 отсчетов уровней звука (продолжительностью измерений не менее 30 мин), интервал между отсчетами уровней звука должен составлять от 2 до 3 с. Отсчет уровней звука необходимо производить как при наличии, так и при отсутствии на участке измерения движущихся транспортных средств [3].

Исходя из выше изложенных требований, для дальнейших исследований был выбран участок автомобильной дороги М – 18 Харьков – Симферополь – Алушта – Ялта, который проходит через посёлок городского типа Высокий Харьковского района Харьковской области. В зоне влияния дороги проживает более 15 тыс. человек, которые подвергаются вредному воздействию акустического загрязнения. Необходимо провести оценку уровня акустического загрязнения несколькими методами (натурных измерений и расчетным) и сравнить полученные результаты. В случае превышения допустимых значений предложить возможные шумозащитные мероприятия.

Участок автомобильной дороги М – 18 Харьков – Симферополь – Алушта – Ялта (км 14– км 20) является типичным для дорог второй технической категории и характеризуется следующими транспортно-эксплуатационными

показателями (данные предоставлены Службой Автомобильных Дорог Харьковской области): интенсивность движения 12085 авт./сутки (504 авт./час); состав движения: легковые автомобили – 68,3%, лёгкие грузовые автомобили (до 2,5 т) – 11,3%, средние грузовые автомобили (до 5 т) – 5,1%, тяжелые грузовые автомобили (больше 8 т) – 3%, автобусы средние – 5,7%, автобусы тяжелые – 1,3%, тягачи – 3%, автопоезда – 2,4%; скорость движения 60 – 65 км/час (т. к. населённый пункт). Геометрические параметры дороги: ширина проезжей части 8 м (2 полосы движения без центральной разделительной полосы); ширина земляного полотна 15 м; тип покрытия – асфальтобетон.

Натурные измерения уровней звука транспортного потока проведены согласно методике представленной в нормативных требованиях (ГОСТ 20444 – 85), которые были рассмотрены ранее в данной статье. Измерения проводились точным импульсным шумомером фирмы «Robotron» немецкого производства. Данный шумомер допускается использовать согласно ГОСТ 17187 – 81 «Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний». Замеры были произведены в точках на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения, которая соответствует нормативному расстоянию измерения шума. Для каждой точки произведено 600 замеров уровней звука за 20 мин. согласно нормативных требований. Определение эквивалентного уровня звука проводилось по формуле:

$$L_{Aэкв} = \Delta L_A + 10 \quad (1)$$

где ΔL_A – средний уровень шума, дБА.

По результатам расчета средний уровень шума составил $\Delta L_A = 65$ дБА. Эквивалентный уровень звука ($L_{Aэкв}$) на расстоянии 7,5 м от оси ближней к точке измерения полосы или пути движения транспортных средств составляет 75 дБА. Расчет осуществлен в соответствии с действующим стандартом [3]. Для определения акустического загрязнения была построена таблица 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований акустического загрязнения на участке автодороги М – 18 Харьков – Симферополь – Алушта – Ялта км 14 – км 20

Интервалы уровней звука, дБА	Отметки отсчетов уровней звука в интервале	Число отсчетов уровней звука в интервале	Доля числа отсчетов в данном интервале уровней звука в суммарном числе отсчетов, %	Частные индексы
1	2	3	4	5
От 18 до 22				
» 23 » 27				
» 28 » 32				
» 33 » 37				
» 38 » 42				
» 43 » 47				
» 48 » 52	//	2	1,3	130
» 53 » 57	////////	7	5	1581
» 58 » 62	////////////////	15	10	10000
» 63 » 67	////////////////////	19	14	44268
» 68 » 72	//////////////////////////////////// ////////////////////////////////////	68	50	500000
» 73 » 77	////////////////////////////////////	27	18	569160
» 78 » 82	////	5	4	400000
» 83 » 87				
» 88 » 92				
» 93 » 97				
» 98» 102				
		Суммарный индекс– 1525139		

Уровень шумового загрязнения можно рассчитать с помощью специальных методик: «Методика оценивания прогнозируемого уровня шума в пределах зон влияния автомобильной дороги» и «Методика выявления, оценки и ранжирования потенциальных экологически опасных мест автомобильной дороги». Требования вышеизложенных методик являются обязательными для предприятий и организаций дорожной индустрии Украины при оценке экологического состояния автомобильных дорог общего пользования 1 – 5-й

категорий. Расчетный уровень эквивалентного звука на автомобильной дороге согласно требований определяется по формуле:

$$L_p = L_{mn} + \Delta L_m + \Delta L_\partial + \Delta L_c + \Delta L_y + \Delta L_n + \\ + \Delta L_{pn} + \Delta L_k + \Delta L_3 + \Delta L_{nep} \quad (2)$$

где L_{mn} – расчетный уровень звука от транспортного потока, дБА;

ΔL_m – поправка, учитывающая количество автомобилей в потоке с карбюраторным двигателем, дБА;

ΔL_∂ – поправка, учитывающая количество автомобилей в потоке с дизельным двигателем, дБА;

ΔL_c – поправка, которая учитывает отклонение средней скорости движения на участке дороги по сравнению со скоростью на горизонтальном, дБА;

ΔL_y – поправка, учитывающая величину продольного уклона дороги, дБА;

ΔL_n – поправка, учитывающая тип покрытия проезжей части;

ΔL_{pn} – поправка, учитывающая наличие разделительной полосы, дБА;

ΔL_k – поправка, учитывающая поверхностный покров придорожной полосы;

ΔL_3 – поправка, учитывающая застройку в районе дороги, дБА;

ΔL_{nep} – поправка, учитывающая тип пересечения дорог, дБА [4].

Подставив в расчетную формулу значения, которые соответствуют исследуемому участку автомобильной дороги М – 18 Харьков – Симферополь – Алушта – Ялта (км 14 – км 20), получим результат 77 дБА. Это значение соответствует хорошей качественной оценке состояния окружающей среды, поэтому модальная оценка экологической безопасности дороги – экологически слабо безопасная. Полученные значения превышают допустимые значения по санитарным нормам. Однако полученное значение относится к интервалу 40 – 85 дБА, что соответствует модальной оценке дороги «экологически слабо безопасная», но уже при шуме 68 – 90 дБ возникают неприятные ощущения и повышенная утомляемость. Поэтому население, проживающее в пределах данного участка автомобильной дороги, находится постоянно в условиях акустического дискомфорта [4].

Модальная оценка экологической безопасности автомобильной дороги определяется согласно таблице 2.

Таблица 2 – Градация показателя экологической безопасности автомобильной дороги по акустическому загрязнению

Модальная оценка экологической безопасности дороги	Качественная оценка состояния окружающей среды, баллы	Уровень	Показатель экологической безопасности (градация)
Экологически безопасная	отличный	до 40 дБА	до 1,0
Экологически слабо безопасная	хороший	от 40 до 85 дБА	от 1,0 до 2,12
Экологически условно безопасная	удовлетворительный	от 85 до 110 дБА	от 2,12 до 2,75
Экологически опасная	неудовлетворительный	свыше 110 дБА	свыше 2,75

Общие мероприятия по снижению влияния транспортного шума:

- строительство шумозащитных экранов;
- посадка противозумовых зеленых насаждений;
- снижение скорости движения;
- распределение потоков автомобилей по параллельным маршрутам с целью снижения интенсивности движения;
- устройство обходных автомобильных дорог;
- строительство малозумных покрытий, при проезде по которым шум будет наименьшим;
- обеспечение постоянной скорости движения без остановок, резких торможений и разгонов;
- создание дорожных условий, обеспечивающих наименьшие уровни звука от отдельных автомобилей.

В условиях действующей автомобильной дороги в пределах населенного пункта выбор вышеизложенных мер достаточно ограничен. Осуществление таких мероприятий как строительство шумозащитных экранов и вынос автомобильной дороги за пределы населённого пункта невозможно в настоящее время. Это также связано с ограниченным финансированием дорожной отрасли в нашей стране. Таким образом, перспективным мероприятием по снижению

акустического загрязнения придорожного пространства исследуемого участка автомобильной дороги будет высадка трехрядной зеленой лесополосы из древесных и кустарниковых пород.

Выводы

Автомобильная дорога М – 18 Харьков – Симферополь – Алушта – Ялта, которая проходит через посёлок городского типа Высокий (км 14 – км 20), оказывает значительное шумовое воздействие на жителей населенного пункта и окружающую среду в целом. По этой причине необходимо провести мероприятия по снижению уровня шума, а именно высадку трехрядной зеленой лесополосы. Как следствие уровень шума в придорожном пространстве будет соответствовать нормативным требованиям. Это приведет к улучшению эколого-экономической ситуации, условий жизни и уменьшению заболеваемости людей.

Литература

1. Евгеньев И.Е. Оценка воздействия автомобильных дорог на окружающую среду / И.Е. Евгеньев. – М.: Автомоб. дороги: Обзорн. информ., 1999. – 65 с. – Информавтодор; Вып. 3.
2. Поспелов П.И. Прогнозирование и расчет транспортного шума и средств защиты при проектировании автомобильных дорог: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.11 / П.И. Поспелов – Москва, 2003. – 39 с.
3. ГОСТ 20444-85. Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 18 с.
4. М 218-02071168-416-2005. Методика выявления, оценки и ранжирования потенциальных экологически опасных мест автомобильной дороги. – К.: Укравтодор, 2005. – 35 с.

УДК 625.72

Смирнова Н.В., канд. техн. наук

ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЧАСТКАХ ДОРОГ С НЕВОЗМОЖНЫМИ ОБГОНАМИ

Анотація. У статті проаналізовано основні залежності режимів руху транспортних потоків на ділянках доріг з неможливими обгонами. Запропоновано математичну модель визначення імовірнісних характеристик руху транспортних потоків на ділянках двосмугових доріг. Розкрито алгоритм обчислень моделювання руху транспортного потоку та приведені результати моделювання.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортні потоки, режими руху, верогідність вільного руху, щільність транспортного потоку, інтенсивність руху.

Аннотация. В статье проанализированы основные зависимости режимов движения транспортных потоков на участках дорог с невозможными обгонами. Предложена математическая модель определения вероятностных характеристик движения транспортных потоков на участках двухполосных дорог. Представлен алгоритм вычислений моделирования движения транспортного потока и приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: автомобильная дорога, транспортные потоки, режимы движения, вероятность свободного движения, плотность транспортного потока, интенсивность движения.

Annotation. The article analyzes the main dependences of traffic flow modes at road sections with impossible overtaking. A mathematical model for determining the probability characteristics of traffic flow on 2-lane roads was proposed. An algorithm for computing traffic flow modeling, as well as results of the simulation is represented.

Key words: highway, traffic flows, driving modes, the probability of free movement, traffic density, traffic volume.

В настоящее время в Украине длина дорог II-V категорий составляет для государственных дорог 92%, а местных дорог почти 100%. То есть, почти все дороги Украины – это двухполосные дороги. На двухполосных дорогах самый сложный маневр автомобилей в транспортном потоке это обгон с выездом, на встречную полосу. Именно благодаря обгонам на двухполосных дорогах обеспечиваются высокие скорости движения. Для безопасного обгона видимость встречного автомобиля должна быть достаточно велика. Минимальную видимость S_{min} , достаточную для безопасного обгона, в предположении постоянства скоростей находят как сумму трех слагаемых: 1) пути движения со скоростью v_1 обгоняющего автомобиля за время обгона $t_{об}$, 2) запаса l_{13} между обгоняющим и встречным автомобилем в момент окончания обгона и 3) пути $S_{встр}$, который проехал со скоростью v_3 встречный автомобиль по своей полосе за время обгона до момента окончания обгона и возвращения обгоняющего автомобиля на свою полосу:

$$S_{min} = v_1 \cdot t_{об} + l_{13} + v_3 \cdot t_{об} \quad (1)$$

Действующие ДБН В.2.3-4-2007 «Автомобильные дороги» [1] нормируют п. 5.2.2 минимальную видимость встречного автомобиля рекомендуемой величиной 450 м для всех категорий дорог, а в случае больших объемов работ разрешают снижать в проектах видимость до величин от 450 до 90 м для расчетных скоростей от 120 до 30 км/ч (п. 5.2.3). Обосновываются нормативные значения 450-90 м схемой прерванного обгона. Такие маневры на двухполосной дороге опасны и часто ведут к ДТП.

Нормативы ДБН (450-90 м), существенно меньшие безопасно допустимых по зависимости (1), приводят к тому, что в проектах дорог

неизбежны участки с ограниченными обгонами, на которых снижаются скорости быстроходных автомобилей и растет аварийность, несмотря на организацию движения дорожными знаками и разметкой, запрещающими обгоны. В настоящее время отсутствуют теоретические основы расчета такого рода потерь и снижения транспортно-эксплуатационных показателей качества дороги.

Целью настоящей статьи является моделирование движения транспортных потоков и различных групп автомобилей на участках двухполосных дорог II-IV категорий с невозможными обгонами для технико-экономических обоснований запрещения обгонов при вариантном проектировании дорог.

Все описанные выше ситуации взаимодействия водителей в потоке имеют место для любого автомобиля транспортного потока, и поэтому на двухполосных дорогах складываются следующие режимы движения, см. рис. 1: 1 – стационарный, 2 - переходный без обгонов, 3 - переходный с обгонами.

Режимы движения транспортного потока 1, 2, 3 повторяются соответственно дорожным условиям, которые формируются на дороге в зависимости от параметров технического уровня и организации движения техническими мероприятиями, преимущественно, разметкой и дорожными знаками.

Стационарный режим (1) имеет место на участках с видимостью дороги и встречных автомобилей, достаточной для обгонов. Количество обгонов при этом режиме ограничено только интенсивностью встречного потока, так как с ее ростом уменьшается количество интервалов во встречном потоке, достаточных для обгонов. Общая скорость транспортного потока снижается примерно прямо пропорционально общей интенсивности потока.

Режим переходный без обгонов (2) имеет место на тех участках дороги, на которых обгоны невозможны из-за малой видимости.

Режим переходный с обгонами (3) начинается сразу же после режима (2) в точке В. С появлением возможности обгонов водители начинают реализовать «отложенные» обгоны.

Каждый из отмеченных режимов движения потока описываем дифференциально-вероятностными уравнениями. Данными для их решения являются распределения вероятностей скоростей свободного движения всех автомобилей, которые входят в состав транспортного потока, см.рис. 2.

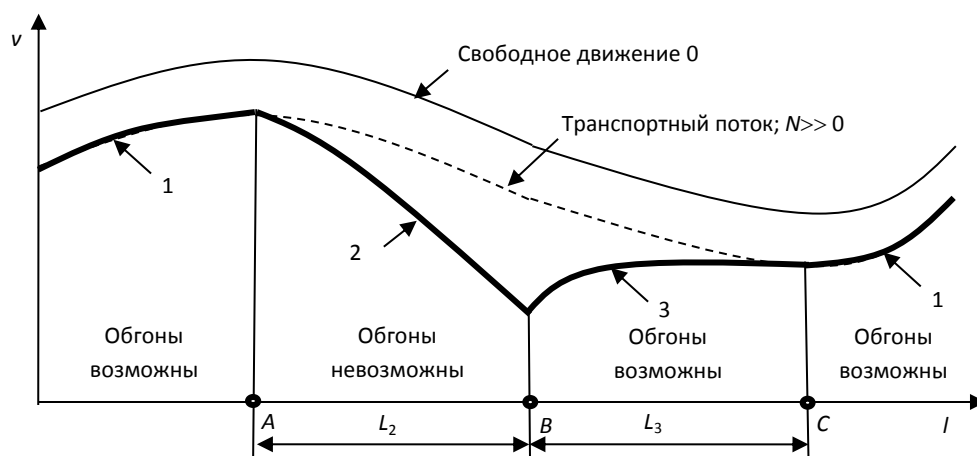


Рисунок 1 – Скорости и режимы движения транспортного потока

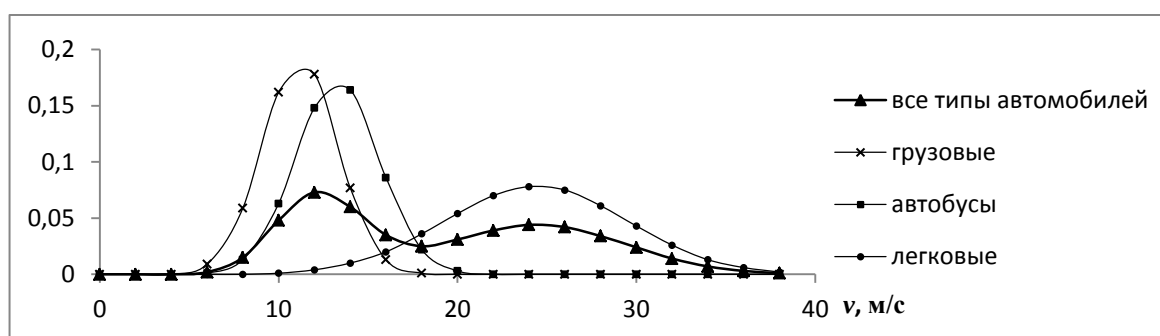


Рисунок 2 – Плотности распределения вероятности свободного движения групп автомобилей и всего транспортного потока. Грузовых и автопоездов – 20 %, автобусов – 24 %, легковых – 56 %

Скорость свободного движения - это скорость, которую выбирает водитель в зависимости от динамических возможностей транспортного средства. Результаты решения уравнений движения потока - это распределения вероятностей скоростей автомобилей транспортного потока с расчетной интенсивностью и средние скорости потока и типовых автомобилей потока (легковых, грузовых, автопоездов, автобусов). По значениям этих скоростей и их графикам известными методами оценивают соответствие нормативным требованиям показателей технического уровня и эксплуатационного состояния дороги.

Построение модели движения транспортного потока начинают обычно с анализа движения двух скоростных групп автомобилей. Этим простым, хотя

несколько искусственным случаем ограничивались отечественные и зарубежные исследователи[2,3].

В любой точке участка дороги быстроходный автомобиль 1 имеет либо скорость v_0 медленного автомобиля 0, либо скорость свободного движения v_1 – скорость, с которой желал бы двигаться водитель, если бы не было других автомобилей. Ясно, что $v_0 < v_1$. Вероятность свободного движения со скоростью v_1 обозначим как P_1 . Вероятность P_1 находится составлением и решением уравнения Колмогорова [4] сохранения состояния 1 при движении от точки x до точки $x + \Delta x$

$$P_1(x + \Delta x) = P_1(x) \left(1 - r' \frac{v_1 - v_0}{v_1} \Delta x\right), \quad (2)$$

где $P_1(x + \Delta x)$ – вероятность сохранения свободного движения до точки $(x + \Delta x)$, $P_1(x)$ – вероятность свободного движения в точке x (первый множитель),

Выражение $\left(1 - r' \frac{v_1 - v_0}{v_1} \Delta x\right)$ или $(1 - \lambda_{10} \Delta x)$ – это вероятность того, что быстроходный автомобиль не догонит медленный автомобиль до точки $x + \Delta x$ (второй множитель). Вероятность $\lambda_{10} \Delta x$ – это вероятность того, что быстроходный автомобиль догонит медленный автомобиль до точки $x + \Delta x$, то есть, вероятность того, что на интервале $\Delta x(v_1 - v_0)/v_1$, который следует сразу же за точкой x , есть хотя бы один тихоходный автомобиль транспортного потока заданной плотности r . В терминах теории исследования операций [4] вероятность $\lambda_{10} \Delta x$ – это плотность перехода автомобиля 1 из состояния 1 в состояние 0.

Входящая в выражение (2) величина r' – это фиктивная плотность транспортного потока

$$r' = \frac{r_0}{1 - r l_0}, \quad (3)$$

где r – действительная плотность транспортного потока, авт/м,

l_0 – минимально-безопасная дистанция между автомобилями, м, такая, что максимальная плотность транспортного потока $r_{max} = 1/l_0$.

Для решения уравнения Колмогорова [4] перенесем $P_1(x)$ в левую часть уравнения (2), разделим правую и левую части на Δx и устремим Δx к 0

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{P_1(x + \Delta x) - P_1(x)}{\Delta x} = -r' \frac{v_1 - v_0}{v_1} . \quad (4)$$

Левая часть в (3) – это производная $P'_1(x)$, то есть

$$\frac{d(P_1(x))}{dx} = -r' \frac{v_1 - v_0}{v_1} \quad (5)$$

Разделяя в (5) переменные и интегрируя, получим вероятность свободного движения быстроходного автомобиля в зависимости от пути x

$$P_1(x) = e^{-xr' \frac{v_1 - v_0}{v_1}} . \quad (6)$$

Обобщая результаты на случай трех и более скоростных групп автомобилей и переходя к непрерывному распределению вероятностей скорости, получим вероятность свободного движения любого автомобиля типа v , то есть автомобиля, водитель которого желал бы двигаться со скоростью v

$$P(v) = e^{-xr'z(v)} , \quad (7)$$

где $r'z(v)$ - суммарная плотность переходов из состояния типа v (движения со скоростью v) в состояния движения со скоростью меньше v (то есть, скоростью тех автомобилей, которых мог бы догнать водитель автомобиля типа v).

Функцию плотности переходов $z(v)$ найдем по аналогии с зависимостью для полученной ранее плотности перехода $\lambda_{10}=r'(v_1-v_0)/v_1$ автомобиля 1 из состояния 1 в состояние 0

$$z(v) = \int_0^v f(w) \frac{v-w}{v} dw \quad \text{или} \quad z(v) = F(v) - \frac{1}{v} \int_0^v wf(w)dw , \quad (8)$$

где $f(v)$ и $F(v)$ – плотность и функция распределения вероятностей скорости при свободном движении всех автомобилей, составляющих транспортный поток.

Для решения нашей задачи о средней скорости потока расчетной интенсивности на участке переходного режима движения без обгонов функцию $\Phi(v)$ распределения скорости автомобилей в транспортном потоке в точке x находим в виде

$$\Psi(v) = 1 - (1 - F(v)P(v)). \quad (9)$$

Среднюю скорость транспортного потока вычисляем в виде

$$m = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} v \varphi(v) dv \text{ или } m = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} (1 - \Psi(v)) dv, \quad (10)$$

где $\varphi(v)$ - плотность распределения и $\Psi(v)$ - функция распределения вероятностей скорости в транспортном потоке. Вычислительные процедуры моделирование движения транспортных потоков и различных групп автомобилей на участках двухполосных дорог с невозможными обгонами осложняются изменением плотности потока r с увеличением x , т.е., по мере продвижения потока автомобилей по участку с невозможными обгонами. Обычно на участке дороги достаточной длины (между пересечениями или примыканиями) интенсивность потока q - величина постоянная. Но плотность потока r меняется от точки к точке с изменением средней скорости потока m согласно соотношению $r = q / m$. Поэтому, моделируя движение потока с постоянной q на участке без обгонов и с уменьшением средней скорости потока m с ростом x , величину искомой скорости m будем вычислять итерационным способом, уточняя в каждой итерации плотность r .

Алгоритм вычислений при моделировании движения транспортного потока составлен следующим образом.

1. В точке $x=0$ (начало участка с невозможными обгонами) задают распределение скорости при свободном движении, т.е. функции $f(v)$ и $F(v)$, см. рис. 2. Устанавливают $x_{\max}$ - длину участка дороги с невозможными обгонами (например, $x_{\max} = 1000$ м). Задают интенсивность Q (авт/час) или q (авт/с) и минимально безопасный интервал между автомобилями t_0 (например, $t_0 = 3$ с).

2. Рассчитывают функцию $z(v)$ по формуле (8).

3. Вычисляют для точки $x_k=0$ (это начало участка движения без обгонов) среднюю скорость потока m по формуле (10) и плотность $r = q / m$.
4. Для следующей точки принимают $x_k=x_{k-1}+\Delta x$ (например, $\Delta x = 100 \text{ м}$).
5. Если $x_k > x_{\max}$, расчет окончен и переходят к п. 10. В противном случае принимают для точки x_k начальное приближение плотности потока $r_{\text{пр}} = r$.
6. Рассчитываем для точки x_k вероятность свободного движения $P(v)$, функцию $\Psi(v)$ распределения вероятностей скорости автомобилей в транспортном потоке по формулам (8) и (9), см. рис. 3.
7. Вычисляют для точки x_k среднюю скорость потока m по формуле (10) и плотность потока $r = q / m$.
8. Если $r > r_{\max}$, расчет окончен, т.к. в точке x_k образовался затор и превышена пропускная способность дороги. Расчет закончен и переходят к п. 10.
9. Если же $r < r_{\max}$, вычисляют относительное отклонение плотности от плотности на предыдущей итерации $\delta = (r - r_{\text{пр}})/r$ и проверяют неравенство $|\delta| < \varepsilon$ (ε – относительная погрешность итерационного приближения, например, 0,05). Если неравенство выполняется, переходят к следующей точке x_k – к пункту 4. В противном случае принимают $r_{\text{пр}} = r$ и переходят к следующей итерации уточнения плотности потока в точке x_k – к пункту 7.
10. Документируют результаты – таблицы характеристик режимов движения потока в каждой точке участка дороги с невозможными обгонами. По таблицам строят графики для последующего анализа вариантов проектных решений с различными конструктивными параметрами проблемных участков с режимами движения транспортного потока с невозможными обгонами, например, график скорости на рис. 4.

Выводы

Предложенная математическая модель позволяет находить вероятностные характеристики движения транспортных потоков на участках двухполосных дорог II-IV категорий с невозможными обгонами.

Результаты моделирования необходимы для технико-экономического анализа вариантов проектных решений с различными конструктивными

параметрами проблемных участков с невозможными обгонами при проектировании дорог и организации движения.

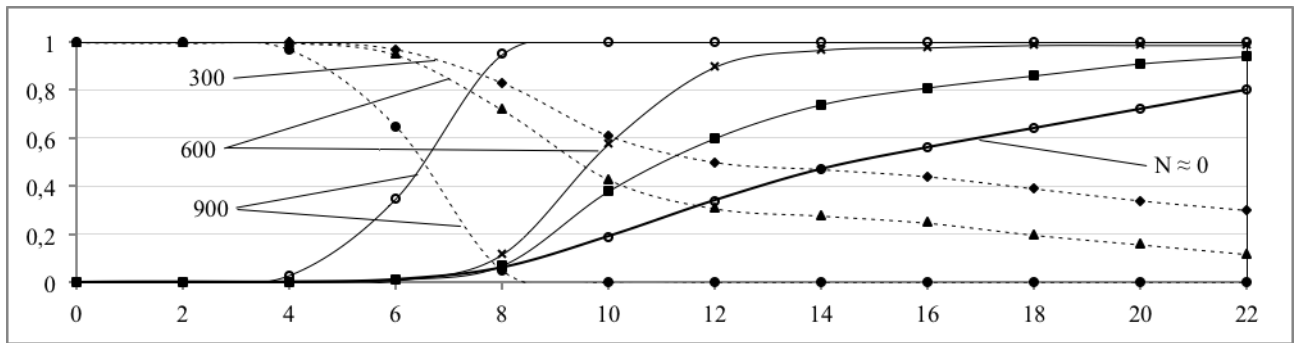


Рисунок 3 – Сплошные линии - функции распределения вероятностей скорости $\Psi(v)$, пунктир – вероятности свободного движения $P(v)$ для интенсивностей потока 300, 600, 900 авт/час

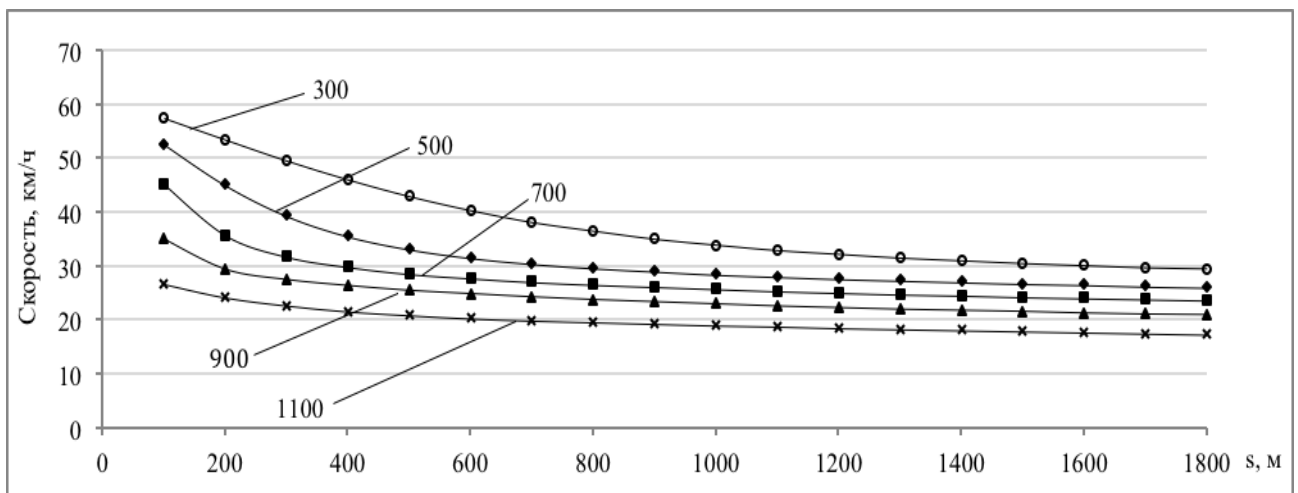


Рисунок 4 – Изменение скорости потока с удалением от начала участка с невозможными обгонами при интенсивности потока: 300, 500, 700, 900, 1100 авт/час

Литература

1. ДБН В.2.3-4-2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.
3. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М. : Транспорт, 1977 – 299 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М. : Советское радио, 1972. – 552 с.