

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

Омельчук С.К., канд.техн.наук, **Хом'як А.Я.**, канд.техн.наук, **Неівестна Н.В.**,
канд.техн.наук, **Соловйова Н.П.**

АЕРОГЕОДЕЗИЧНІ МЕТОДИ ПРИ ТОПОГРАФОГЕОДЕЗИЧНИХ ЗНІМАННЯХ

Анотація. Аналіз ефективності застосування новітніх високотехнологічних методів при виконанні топографо-геодезичного знімання місцевості для вивчення і оцінки місцевості, виконання проектно-дослідницьких робіт, забезпечення будівництва і реконструкції населених пунктів, промислового, гідроенергетичного і дорожнього будівництва та інших народно-господарських задач.

Ключові слова: топографо-геодезичні знімання, аерогеодезичні методи, стереофотограмметрія, фотограмметрія, універсальні та аналогові прилади.

Вступ. Топографо-геодезичні знімання місцевості, яке застосовують при створенні державних геодезичних мереж, проектування та будівництва інженерних споруд, картографування та вирішення багатьох народно-господарчих задач потребує впровадження найбільш ефективних і високотехнологічних методів, які б замінили трудомісткі польові процеси. Такими засобами автоматизації геодезичних робіт є аерофотознімання та впровадження фотограмметричних методів. Сучасні методи фотограмметрії дозволяють отримати високу точність вимірювань, оскільки вимірюють не самі об'єкти, а їх фотографічне зображення. Фотограмметрія - це засіб безконтактного дистанційного вимірювання при дослідженні недоступних об'єктів та динамічних процесів. У фотограмметрії використовують знімки, одержані спеціальними знімальними камерами з літальних апаратів або з поверхні Землі. Для топографічних цілей в народному господарстві

використовують і супутникову геодезію. В залежності від видів зйомки, вони поділяються на аерофотозйомку і наземну фотограмметричну зйомку.

Мета і методи. Метою аналізу застосування аерогеодезичних методів при топографо-геодезичних зніманнях є дослідження технологічних схем створення топографічних карт методами аерофотознімання і стереофотограмметрії. Одним з основних завдань геодезичної галузі в Україні є забезпечення народного господарства топографо- геодезичною і картографічною продукцією. На сьогоднішній день на всю територію України складені топографічні карти масштабів

1:100 000 ÷ 1:10 000. Сучасний етап картографування території України полягає в створенні топографічних планів великих масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 і 1:500, які знаходять широке застосування в різних галузях народного господарства.

Результати і пояснення. Топографічні плани створюються шляхом аеротопографічного знімання місцевості. Якщо виконується фотографування місцевості, вона називається аерофотозйомкою, якщо виконується сканування місцевості - це електронна зйомка. Крім цього використовується наземна фотограмметрична зйомка. Фотографування земної поверхні виконується з літальних апаратів (літаків, гелікоптерів, супутників, безпілотників).

Лінією, що є траєкторією польоту літака під час фотографування, називають маршрутом. Якщо ця лінія пряма, то маємо прямолінійний маршрут, також існують криволінійний та ламаний маршрути. Якщо фотографування ведеться у межах одного маршруту, то це маршрутне аерознімання. Якщо фотографують певну територію з кількох паралельних маршрутів, то маємо багато-маршрутне аерофотознімання (АФЗ).

Залежні від кута нахилу аерофотокамери під час знімання розрізняють АФЗ:

- горизонтальне, кут нахилу дорівнює нулю ($\alpha=0$)
- планове, якщо кут нахилу не перевищує 3° ($|\alpha| < 3^\circ$)
- перспективне, при куті нахилу більшим від 3° ($|\alpha| > 3^\circ$).

Залежно від масштабу 1:m аерофотознімків розрізняють:

- дрібномасштабне АФЗ, масштаб знімків 1:50 000 і дрібніше;
- середньомасштабне АФЗ, масштаб знімків знаходиться в межах від 1:50 000 до 1: 10 000;

- великомасштабне АФЗ, масштаб більший від 1:10 000 [5].

Аерофотознімання проводять з використанням чорно-білої, спектрозональної або кольорової фотоплівки. Для топографічних цілей доцільно застосовувати кольорову плівку, бо такі знімки значно інформативніші. Спектрозональна плівка використовується для розв'язання задач топографічного призначення.

Для топографічного знімання треба витримувати основні параметри аерофотознімання, такі як: прямолінійність маршруту, горизонтальність траєкторії. Для планових знімків кут нахилу не повинен перевищувати 3° . Між знімками одного маршруту необхідно витримувати поздовжнє перекриття аерознімків, яке повинно бути $\geq 53\%$, поперечне перекриття між сусідніми маршрутними не повинно бути $\geq 23\%$.

Аерофотокамера, а в подальшому при фотограмметричній обробці, аерознімки повинні бути правильно зорієнтовані стосовно траєкторії польоту. Тому для виконання цієї задачі потрібна аерофотозйомка та спеціальна допоміжна апаратура, яка дозволяє витримувати всі параметри та вимоги до АФЗ. Сучасний стан розвитку електроніки, радіотехніки, супутникової навігації дозволив повністю автоматизувати процеси аерофотознімання. Так, наприклад, аерофотознімальна система ASCOT (Aerial Survey Control Tool)-дослівно «засіб для контролю за аерофотозніманням» повністю відповідає всім вимогам. Це багатофункціональна система, що дозволяє проектувати АФЗ, виконувати знімання згідно з проектом, автоматично витримувати навігаційні параметри АФЗ, а також фіксувати просторові координати аерокамери в момент фотографування [6].

При топографо-геодезичному зніманні необхідно виконати розрахунки параметрів АФЗ. Вибирають аерофотокамеру стосовно величини фокусної віддалі. У гірській місцевості або на забудованій високими будівлями використовують аерокамери з фокусною відстані $f=200; 350$ або 500 мм. При картографуванні рівнинних територій використовують коротко та середньо-фокусні камери з фокусною відстанню $f=70; 100; 140; 150$ мм.

Проектування осей маршрутів здійснюється на дрібномасштабних топографічних картах, які використовує штурман аерофотознімальник під час АФЗ. При використанні системи типу ASCOT попередньо карту оцифровують, тобто для кожного маршруту з карти знімають координати його початку і кінця.

Ці данні вносять в бортовий комп'ютер, який на автоматично за допомогою програми відслідковує аерознімальні маршрути, оптимізує та виконує інші операції з керування аерофотозніманням.

Під керівництвом штурмана вивчається район і територія фотографування на картах, схемах, описах з метою з'ясування фізико-географічних і кліматичних умов наявності основних майданних і лінійних орієнтирів і можливостей використання їх для візуального орієнтування. З'ясовуються орієнтовні дати початку і кінця безсніжного періоду, закінчення паводків і появи рослинного покриву, часу доби коли висота Сонця більше 20° , а при фотографуванні на кольорову або спектральнозональну плівку - більше 25° .

З'ясовують значення магнітних схилень і аномалій, проходження державного кордону, а також розташування повітряних трас, місцевих повітряних ліній, зон з особливим режимом польотів, аеродромів і їх даних відповідно до регламенту аеронавігаційної інформації з повітряних трас України. Треба врахувати також наявність основних і запасних аеродромів, їхнього устаткування радіо-світлочутливими засобами, схеми побудови маневру на посадку. При отриманні додаткових даних про район робіт уточнюються границі ділянок аерофотозйомки, їх середня площа фотографування і висота аерофотозйомки, а також час для початку і кінця фотографування. При цьому враховується, що аерофотознімання різних районів необхідно проводити у піщаних пустелях, степових районах і засніжених рівнинах. У ранковий час при фотографуванні довгі тіні від об'єктів дають можливість визначати напрямок дійсного меридіану і відповідно орієнтувати подальші планові матеріали в камеральних умовах. Аерофотознімання гірських районів виконують близько полудня, коли тіні найбільш короткі і не заважають розрізняти на аерофотознімках деталі місцевості в щілинах і глибоких западинах.

Маршрутне знімання виконується з обов'язковим поздовжнім перекриттям, площадне знімання складається з ряду маршрутів, між якими необхідно мати поперечне перекриття. Аерофотознімання роблять не раніше, ніж за один рік до початку камеральних робіт, з відновлення карти. Аерофотознімання виконується відповідно до основних положень по аерофотозніманню для створення і відновлення топографічних карт і планів з урахуванням масштабу карти, фізико-географічних умов району знімання, а також можливості універсальних параметрів [2].

Стереофотограмметричний метод дозволяє знімати в камеральних умовах не тільки контурну частину, але й рельєф місцевості. Він є основним методом створення топографічних карт. Цей метод використовує властивості пари знімків, яка дозволяє отримати стереоскопічну моделі місцевості у будь-якому масштабі. Стереоскопічна модель місцевості - це зменшене, подібне місцевості зображення земної поверхні, яку ми бачимо при бінокулярному розгляданні двох суміжних аерознімків певним чином зорієнтованих. За стереотопографічним методом топографічні карти і плани складається на аналітичних приладах.

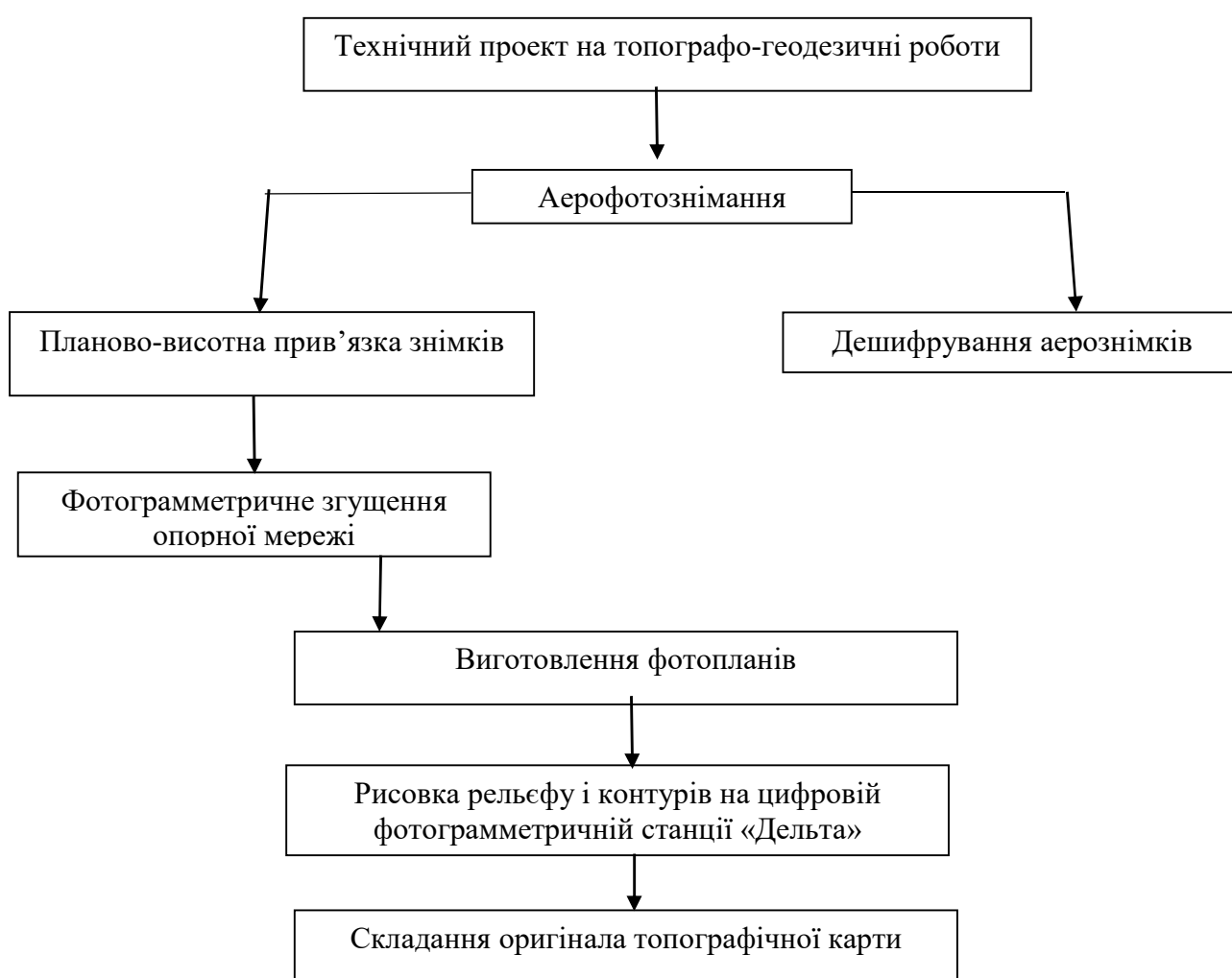


Рисунок 1 – Технологічна схема виконання топографо-геодезичних робіт

Дешифрування аерознімків це розкриття об'єктів і рельєфу місцевості по їх фотографічному зображенню. Дешифрування буває суцільним і маршрутним. Суцільне польове дешифрування виконується на важливих народно-

господарських і оборонних об'єктах. Маршрутне дешифрування виконується в поєднанні з камеральним для інших районів.

Карти масштабів 1:10 000 призначені для детального вивчення й оцінки місцевості, орієнтування на місцевості, виконання проектно-дослідницьких робіт, забезпечення будівництва і реконструкції населених пунктів, промислового, гідроенергетичного і дорожнього будівництва, вибору трас і прокладки трубопроводів, ліній зв'язку й електропередачі, великомасштабної геологічної зйомки і пошуково-розвідувальних робіт, проектування меліоративних систем землевпорядження і лісовпорядження, визначення координат об'єктів [1].

Стереофотограмметрична обробка матеріалів аерофотознімання дає змогу отримати топографічний план або карту, електронну карту (ЕК) та цифрову модель місцевості (ЦММ). Цифрові моделі місцевості поділяють на цифрові моделі рельєфу (ЦМР), цифрові моделі контурів (ЦМК), цифрові моделі гідрології, геології та ґрунтознавства (ЦМГ), які об'єднані єдиною назвою цифрової моделі інженерного призначення (ЦМІП). Цифрові моделі в залежності від складності рельєфу поділяються на структурні, регулярні, та нерегулярні і дають можливість автоматизації обробки матеріалів знімання [8].

Крім стереофотограмметричної обробки матеріалів аерознімання, використовується наземне фототеодолітне знімання місцевості, яке виконується фототеодолітним комплектом. Фототеодоліт-це прилад, який поєднує теодоліт з фотокамерою. До комплекту фототеодоліта входить теодоліт, базисна нівелірна рейка, марки, ниткові виски, штативи та касети, пристрої та накладний рівень. Ситуацію і рельєф місцевості на фототеодолітних знімках отримують з двох точок базису фотографування. Для отримання стереоскопічної моделі слід надати знімкам такого самого положення, яке вони займали один відносно одного в період знімання і поновити зв'язок променів, які існували при фотографуванні [4].

Камеральне оброблення стереопар фотознімків виконують графічним, графомеханічним і аналітичним способами. В результаті отримують топографічні плани та цифрові моделі місцевості (ЦММ). Графічний спосіб використовують для складання топографічних планів. Цей спосіб малопродуктивний, тому що він неавтоматизований і не знає змогу скласти ЦММ.

Графомеханічний спосіб вимагає наявності досить складних універсальних фотограмметричних приладів. При цьому забезпечується одночасна обробка знімків та складання топографічних планів на координатографах, але не дає змоги отримати ЦММ.

Аналітичний спосіб виконується на стереофотограмметричних приладах з автоматичною реєстрацією результатів вимірювання фототеодолітних знімків. Координати точок місцевості обчислюють на комп'ютері, а топографічний план отримують на графопобудівнику з підмогою масиву точок ЦММ.

Синтез комп'ютерних технологій обробки зображень місцевості та методів стереофотограмметричної обробки аерознімків дав можливість створити автоматизовану систему цифрової фотограмметрії (АСЦФ). Аналогом такої системи є цифрова фотограмметрична станція «Дельта» (Україна) і «Photomod» Росія.

Висновки та рекомендації. При виконанні аналізу методів, які виконують при топографо-геодезичних зніманнях, порівнювались аерогеодезичні методи, такі як: аерофотозйомка, електронне знімання чи скасування земної поверхні. Стереофотограмметричне знімання має високий ступінь автоматизації та точності вимірів, дає змогу отримувати одночасно топографічні плани, карти і цифрову модель місцевості, має високу продуктивність праці.

Застосування спеціального комплексу космічних і наземних технологічних засобів, сучасного програмного забезпечення продемонструвало багато переваг використання даного комплексу. Вони базуються на аналогово-аналітичній обробці знімків за допомогою універсальних приладів, забезпечених пристроями для автоматизованої реєстрації цифрових даних.

Перелік посилань

1. Войтенко С.П. Інженерна геодезія: Підручник-К.: Знання, 2009-557.- Вища освіта ХХІ століття.
2. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії/О.Л. Дорожинський. - Л., 2003-212с.
3. Островський А.Л. Геодезія /А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський. – Л.: Простір М, 2007-410 с.
4. Сердюков В.М. Фототрмерія. – М. Вища школа, 1983. – 28-34 с., 60-80 с.
5. Мала гірнича енциклопедія: у 3 т./за ред. Білецького В.С. – Д.: Східний видавничий дім, 2004-2013 с.
6. Дейнеко В.Ф., Аерогеодезія: - М. Віща школа, 1985.- 326 с.
7. Железняк О.О., Чубко Л. С. Космічна фотограмметрія: навч. посіб. /О.О. Железняк, Л.С. Чубко. – К:НАУ, 2012.- 220 с.
8. Зацерковний В.І., Бурачек В.Г., Железняк О.О., Терещенко А.О. геоінформаційні системи і бази даних: монографія. – Кн.1 Ніжин: НДУ ім. Гоголя, 2014. – 492 с.

УДК 624.21

Ткачук С.Г., д-р техн. наук, **Башкевич І.В.**, канд. техн. наук

ОБГРУНТУВАННЯ ПОЧАТКОВИХ УМОВ ДЛЯ РУСЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ ПІД МОСТОВИМИ ПЕРЕХОДАМИ

Анотація. В статті розглядаються умови за яких застосовуються різні види початкових умов для аналітичної реалізації математичної моделі загального розмиву на мостових переходах через рівнинні річки. Даються практичні рекомендації щодо розв'язку задачі Коші в кожному конкретному розрахунковому випадку.

Ключові слова: мостовий перехід, загальний розмив, багаторічне прогнозування руслових деформацій, кубічний сплайн.

Аннотация. В статье рассматриваются условия, при которых применяются различные виды начальных условий для аналитической реализации математической модели общего размыва на мостовых переходах через равнинные реки. Даются практические рекомендации по решению задачи Коши в каждом конкретном расчетном случае.

Ключевые слова: мостовой переход, общий размыв, многолетнее прогнозирование русловых деформаций, кубический сплайн.

Abstract. The article examines terms for which the different types of initial conditions are used for analytical realization of mathematical model of general floodwater erosion on bridge crossing through the flat rivers. Practical recommendations are given in relation to the decision of task of Koshi in every concrete calculation case.

Keywords: bridge, riverbed deformations, long-term forecasting of common washout, cubic spline.

Найважливіша задача проектування мостових переходів полягає в обґрунтуванні їх генеральних розмірів, таких як: ширина отвору, відмітка низу прогонової будови і верху насипів підходів, заглиблення фундаментів биків і

стоянів, розмірів та розташування регуляційних споруд. Провідною у цьому переліку проектних характеристик мостових переходів є ширина отвору, яка власне і визначає довжину мосту. Здебільшого головним чинником для обґрунтування величини отвору визначається величиною розмиву.

В системі багаторічного прогнозування [1] величини загального розмиву математична модель руслових деформацій повинна складатися як мінімум з чотирьох залежностей [2]:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{\partial G}{\partial l} - B \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = 0 & - \text{рівняння балансу наносів;} \\ G = A_{\partial} \cdot B \cdot V^m & - \text{транспортуюча спроможність потоку;} \\ Q = B \cdot h \cdot V & - \text{рівняння нерозривності потоку;} \\ \beta_p = \left(1 - \frac{l}{R}\right)^{-1} & - \text{характеристика трансформації} \\ & \text{руслової витрати.} \end{array} \right. \quad (1)$$

де G і Q – витрати наносів і води; h і B_p – глибина і ширина русла; V – швидкість руслового потоку; A і m – коефіцієнт і показник, що враховують фізичні властивості наносів; β_p – коефіцієнт трансформації; R – параметр центральної струмнини.

Щоб отримати єдине рішення, відповідне умовам задачі треба задати початкові умови. Тоді задача прогнозу руслових переформувань і деформацій зводиться до задачі Коші, в якій початковими умовами є поздовжній профіль дна русла.

Можливі чотири види початкових умов, які відповідають двом розрахунковим схемам. Перша розрахункова схема приймається тоді, коли перший паводок проходить по пласкому дну. Друга розрахункова схема – коли для першого паводку неможливо прийняти дно пласким:

1) дно приймається пласким. В цьому випадку початкові умови задаються природним поздовжнім профілем, який після осереднення відміток дна в зоні впливу мостового переходу в першому наближенні можна апроксимувати площиною, тобто вважати, що

$$h = h_{pn} \quad (2)$$

де h_{pn} – середня природна глибина в руслі. Якщо розрахункова повинь проходить першою по такому пласкому дну, то руслові деформації за багаторічний період будуть щонайменші і відповідати верхній границі розмиву.

2) дно приймається вже zdeформоване (розмите) повинню, що пройшла раніше. За цих умов поздовжній профіль дна русла описується залежністю [3]:

$$h = h_{зал} \cdot \left[0,5 + \sqrt{0,25 + \frac{20 \cdot A \cdot \Gamma \cdot \beta_m^4 \cdot (\beta_m - 1)}{l_c \cdot B_p^4 \cdot h_{зал}^5}} \right]^{1/5} \quad (3)$$

де h_{pn} – залишкова глибина в руслі під мостом від попередньої повені; A – функція фізико-механічних властивостей наносів; β_m – коефіцієнт стиснення потоку під мостом; B_p – ширина русла; l_c – довжина зони стиснення; $\Gamma = \int Q_{pn}^4 dt$ – інтегральна функція гідрографа руслової витрати Q_{pn} .

Для другої і наступних паводків початкові умови задаються залежністю (3), в якій значення всіх величин відповідають моменту звільнення заплав від води. Іншими словами початковими умовами для кожного наступного паводку стає поздовжній профіль розмитого дна після попереднього паводку.

Коли неможливо прийняти дно пласким, тобто є вирви або пасма, то поздовжній профіль можна апроксимувати за допомогою кубічного сплайну, який в останній час набув значного поширення в різних галузях науки і техніки. Застосування кубічного сплайну обумовлено тим, що поліном третього ступеня є простою кривою, що має точку перегину, яка забезпечує його добрі інтерполяційні можливості. Кубічні сплайни мають на всьому відрізку апроксимації безперервні похідні до другого порядку. Така гладкість зазвичай виявляється достатньою для більшості завдань. Невисока степінь полінома спрощує обчислення і зменшує обчислювальну похибку. В якості початкових умов кубічних сплайн може бути двох видів: кубічний сплайн в похилах і кубічний сплайн через моменти.

3) локальний спосіб задання поздовжнього профілю кубічним сплайном в похилах [4].

Формула для інтерполяційного многочлена Ерміта

$$H_3(x) = y_o + (x - x_o) \cdot y_o' + (x - x_o)^2 \cdot \left(\frac{y_1 - y_o}{(x_1 - x_o)^2} - \frac{y_o'}{x_1 - x_o} \right) + (x - x_o)^2 \cdot (x - x_1) \cdot \left(\frac{y_1' - y_o'}{(x_1 - x_o)^2} - \frac{2 \cdot (y_1 - y_o)}{(x_1 - x_o)^3} \right) \quad (4)$$

3 ДВОМА

вузлами кратності 2, що виражає інтерполяційний кубічний многочлен на відрізку $[x_i; x_{i+1}]$ через значення функції y_i і її похідних m_i в граничних точках відрізка. Отримаємо вираз кубічного сплайна на кожному частковому відрізку через похили:

$$S_3(x) = y_i + (x - x_i)m_i + \frac{(x - x_i)^2}{h_i} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - m_i \right) - \frac{(x - x_i)^2}{h_i} (x_{i+1} - x) \cdot \left(m_{i+1} + m_i - 2 \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} \right), x \in [x_i; x_{i+1}] \quad (i = 0, 1, \dots, N-1). \quad (5)$$

Після згрупування коефіцієнтів при невідомих значеннях похилів, можна Отримати представлення сплайна в іншій формі:

$$S_3(x) = \frac{(x_{i+1} - x)^2 \cdot (x - x_i)}{h_i^2} m_i - \frac{(x - x_i)^2 \cdot (x_{i+1} - x)}{h_i^2} m_{i+1} + \frac{(x_{i+1} - x)^2 \cdot (2(x - x_i) + h_i)}{h_i^3} y_i + \frac{(x - x_i)^2 \cdot (2(x_{i+1} - x) + h_i)}{h_i^3} y_{i+1}. \quad (6)$$

З формули (5) можна знайти вираз для другої похідної кубічного сплайна:

$$S_3''(x) = \frac{2}{h_i} \cdot \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - m_i \right) - \left(\frac{2(x_{i+1} - x)}{h_i^2} - \frac{4(x - x_i)}{h_i^2} \right) \cdot \left(m_i + m_{i+1} - 2 \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} \right) = (y_{i+1} - y_i) \cdot \frac{6 - 12 \cdot t}{h_i^2} + m_i \cdot \frac{(-4 + 6 \cdot t)}{h_i} + m_{i+1} \cdot \frac{(-2 + 6 \cdot t)}{h_i}, \quad (7)$$

$$\text{де } t = \frac{x - x_i}{h_i}, x \in [x_i; x_{i+1}] \quad (i = 0, 1, 2, \dots, N-1).$$

Враховуючи в (7) $x = x_i$, можна обчислити праву односторонню похідну другого порядку у вузлі x_i :

$$S_3''(x_i + 0) = -\frac{4 \cdot m_i}{h_i} - \frac{2 \cdot m_{i+1}}{h_i} + 6 \cdot \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}^2}.$$

Замінивши в (7) індекс i на $i-1$, можна обчислити ліву односторонню похідну другого порядку у вузлі x_i :

$$S_3''(x_i - 0) = \frac{2 \cdot m_{i-1}}{h_{i-1}} - \frac{4 \cdot m_i}{h_{i-1}} - 6 \cdot \frac{y_i - y_{i-1}}{h_{i-1}^2}.$$

З умови безперервності другої похідної кубічного сплайна у вузлах x_i вважаємо:

$$S_3''(x_i - 0) = S_3''(x_i + 0), \quad (i = 1, 2, \dots, N-1),$$

що еквівалентно системі лінійних алгебраїчних рівнянь відносно нахилів:

$$\beta_i \cdot m_{i-1} + 2 \cdot m_i + \alpha_i \cdot m_{i+1} = c_i, \quad (i = 1, 2, \dots, N-1), \quad (8)$$

де

$$\alpha_i = \frac{h_{i-1}}{h_i + h_{i-1}}, \quad \beta_i = \frac{h_i}{h_i + h_{i-1}} = 1 - \alpha_i, \quad c_i = 3 \cdot \left(\alpha_i \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} + \beta_i \frac{y_i - y_{i-1}}{h_{i-1}} \right).$$

До рівняння (7) необхідно додати ті два рівняння, яких не вистачає відповідно до заданих краєвих умов типу:

$$1) m_0 = f'(a), m_N = f'(b); \quad (9)$$

$$2) 2 \cdot m_0 + m_1 = 3 \cdot \frac{y_1 - y_0}{h_0} - \frac{h_0}{2} \cdot f''(a), \quad (10)$$

$$m_{N-1} + 2 \cdot m_N = 3 \cdot \frac{y_N - y_{N-1}}{h_{N-1}} + \frac{h_{N-1}}{2} \cdot f''(b);$$

$$3) 2 \cdot m_1 + \alpha_1 \cdot m_2 + \beta_1 \cdot m_N = c_1, \quad (11)$$

$$\alpha_N \cdot m_1 + \beta_N \cdot m_{N-1} + 2 \cdot m_N = c_N,$$

де з умови періодичності

$$y_0 = y_N, y_1 = y_{N+1}, m_0 = m_N, m_1 = m_{N+1}, h_N = h_0,$$

в системі рівнянь (8) можна вважати $i = 1, 2, \dots, N-1$;

$$4) \left(1 + \frac{h_0}{h_1} \right) \cdot m_1 + \frac{h_0}{h_1} \cdot m_2 = \frac{1}{3} \cdot c_1 + 2 \cdot \frac{h_0}{h_1} \cdot \frac{y_2 - y_1}{h_1}, \quad (12)$$

$$\frac{h_{N-1}}{h_{N-2}} \cdot m_{N-2} + \left(1 + \frac{h_{N-1}}{h_{N-2}} \right) \cdot m_{N-1} = \frac{1}{3} \cdot c_{N-1} + 2 \cdot \frac{h_{N-1}}{h_{N-2}} \cdot \frac{y_{N-1} - y_{N-2}}{h_{N-2}},$$

Для крайових умов всіх типів система алгебраїчних рівнянь (8), доповнена відповідно рівняннями (9) – (12), має матрицю з домінуючою діагоналлю, тому існує єдине рішення, яке може бути отримане методом прогонки.

Для обчислення значень сплайна $S_3(x)$ в точці $x \in [a; b]$ при відомих значення похилів ($m_i = 0, 1, \dots, N$), можна скористатися формулою (5), перетвореною до вигляду, зручного для обчислень:

$$S_3(t) = y_i + (x - x_i) \cdot (m_i + t \cdot (B + A \cdot t)), \quad (13)$$

де

$$A = -2 \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} + m_{i+1} + m_i;$$

$$B = -A + \frac{y_{i+1} - y_i}{h_i} - m_i; \quad t = \frac{x - x_i}{h_i}.$$

m_i - похил в довільній точці поздовжнього профілю.

4) глобальний спосіб задання поздовжнього профілю кубічним сплайном через моменти [5].

Зважаючи на неперервність і лінійність другої похідної функції $S(x)$ на кожному відтинку сітки $[x_i; x_{i+1}]$, ($i = 1, 2, \dots, n$) можна записати при $x_{i-1} \leq x \leq x_i$:

$$S(x)'' = m_{i-1} \cdot \frac{x_i - x}{h_i} + m_i \cdot \frac{x - x_{i-1}}{h_i} \quad (14)$$

де $h_i = x_i - x_{i-1}$, $m_k = S(x_k)''$. Проінтегрувавши двічі обидві частини рівності (14), можна отримати:

$$S(x) = m_{i-1} \cdot \frac{(x_i - x)^3}{6 \cdot h_i} + m_i \cdot \frac{(x - x_{i-1})^3}{6 \cdot h_i} + A_i \cdot \frac{x_i - x}{h_i} + B_i \cdot \frac{x - x_{i-1}}{h_i} \quad (15)$$

де A_i і B_i – деякі константи інтегрування. Вони обчислюються з умови $S(x_{i-1}) = f_{i-1}$, $S(x) = f_i$. Якщо підставити $x = x_i$ і $x = x_{i-1}$ в (15), то

$$m_i \cdot \frac{h_i^2}{6} + B_i = f_i$$

$$m_{i-1} \cdot \frac{h_i^2}{6} + B_i = f_{i-1}$$

Остаточно виходить, що

$$S(x) = m_{i-1} \cdot \frac{(x_i - x)^3}{6 \cdot h_i} + m_i \cdot \frac{(x - x_{i-1})^3}{6 \cdot h_i} + \left(f_{i-1} - \frac{m_{i-1} \cdot h_i^2}{6} \right) \cdot \frac{x_i - x}{h_i} + \left(f_i - \frac{m_i \cdot h_i^2}{6} \right) \cdot \frac{x - x_{i-1}}{h_i} \quad (16)$$

$$S'(x) = -m_{i-1} \cdot \frac{(x_i - x)^2}{2 \cdot h_i} + m_i \cdot \frac{(x - x_{i-1})^2}{2 \cdot h_i} + \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i} - \frac{m_i - m_{i-1}}{6} \cdot h_i \quad (17)$$

З умови неперервності $S'(x)$ в точках $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$ отримаємо $n-1$ рівнянь

$$\frac{h_i}{6} \cdot m_{i-1} + \frac{h_i + h_{i+1}}{3} \cdot m_i + \frac{h_{i+1}}{6} \cdot m_{i+1} = \frac{f_{i+1}}{h_{i+1}} - \frac{f_i - f_{i-1}}{h_i} \quad (18)$$

Для того щоб визначити невідомі $m_1, m_2, \dots, m_{n-1}$, необхідно визначити алгебраїчну систему рівнянь. Зробивши деякі позначення, можна записати рівність (18) у вигляді зручному для програмування:

$$h = h_i + l \cdot \Lambda + h_i \cdot \Delta - M_{i+1} \cdot (\Lambda - \Lambda^3) - M_i \cdot (\Delta - \Delta^3) \quad (19)$$

де h_i, h_{i+1} – природні глибини русла в початковий момент руслових деформацій у вузлових точках сплайну i та $i+1$;

M_i, M_{i+1} – моменти сплайну у вузлових точках;

$$\Delta = 1 - \Lambda; \quad \Lambda = \frac{l - l_i}{\lambda_i};$$

λ – відстань між вузовими точками поздовжнього профілю дна русла.

Сплайни володіють гарними апроксимативними властивостями. Інтерполяційні сплайни в раді задач забезпечують мінімально можливу похибку

наближення на даному класі функцій серед всіх многочленів фіксованого ступеня.

Обираючи з двох способів апроксимації поздовжнього профілю дна русла, доцільніше застосовувати кубічний сплайн в похилах (13). Оскільки, при застосуванні кубічного сплайну через моменти (19), необхідно вирішувати складну систему алгебраїчних рівнянь для пошуку моментів сплайну. Крім того, не завжди є повна вихідна інформація для прогнозування руслових переформувань, що значно ускладнює обчислювальний процес. Спосіб задання кубічного сплайну в похилах в системі багаторічного прогнозування величини загального розмиву дає можливість вирішенню багатьох задач, які виникають в процесі проектування різних гідротехнічних споруд.

Насамкінець треба зауважити, що апроксимація поздовжнього профілю дна кубічними сплайнами буде необхідним за будь-якої розрахункової схеми при врахуванні природних руслових переформувань, що відбуваються кожного паводку до і після затоплення заплав.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 367 с.
2. Ткачук С.Г. Прогнозування руслових деформацій на мостових переходах. Частина 3 і 4. Навчальний посібник. К., 2004. – 98 с.
3. Ткачук С.Г., Корецький А.С. Аналітична методика багаторічного прогнозування загального розмиву на мостових переходах. Сб. «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво» № 70, Київ, НТУ, 2004.
4. Барановская Г.Г., Любченко И.Н. Микрокалькуляторы в курсе высшей математики: Практикум. – К.: Вища школа, 1987. – 288 с.
5. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1977. – 456 с.

ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ТА ВИРОБИ

УДК 625.852

Кузлю М.Т., д-р техн. наук, Бондар В.М.

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ДО ДІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА УХИЛАХ ДОРІГ І ВУЛИЦЬ

Анотація. У статті розглянуто стан питання щодо підвищення стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць. На основі Аналізу відомих підходів встановлено напрями подальших досліджень стосовно стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць.

Об'єкт дослідження –щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття.

Мета роботи – постановка напрямів досліджень стосовно стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць.

Методи дослідження – аналітичні.

Ключові слова: щебенево-мастиковий асфальтобетон, стійкість, напружено-деформованого стану, навантаження.

Annotation. The article deals with the state of the issue of increasing the resistance of stone-mastic asphalt pavement to the effect of vehicles on the slopes of roads and streets. Based on the analysis of known approaches, the directions of further research on the resistance of crushed stone and mastic asphalt concrete to the influence of vehicles on the slopes of roads and streets have been established.

The object of study - stone-mastic asphalt pavement.

Purpose - to set directions for research on the resistance of crushed stone and mastic asphalt pavement to the effect of vehicles on the slopes of roads and streets.

Research methods - analytical.

Keywords: stone-mastic asphalt, resistance, tensile-deformed condition, loading

Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття, як відомо, є одним із найбільш поширених на автомобільних дорогах в багатьох зарубіжних країнах. Також цей вид покриття в останні роки набув поширення у вітчизняній дорожньо-будівельній практиці. На даний час згідно з ДБН В.2.3-4 передбачається дорожнє покриття влаштовувати із щебенево-мастикового асфальтобетону.

Із опублікованих джерел інформації відомо, що щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) був розроблений в 1966 році в Німеччині. Розробником ЩМА є центральна лабораторія компанії “Strabag-Bau AG”, автор розробки Цихнер. Починаючи з 1970 року, ЩМА став широко застосовуватися в дорожньому будівництві, одержавши назву «Splittmastixasphalt» (SMA) [1, 2]. Цей вид асфальтобетону з'явився як результат боротьби дорожніх служб Німеччини з інтенсивним руйнуванням дорожнього полотна й утворенням у ньому колій через ріст інтенсивності руху великовантажних транспортних засобів і застосування шипованих шин. За роки свого використання ЩМА продемонстрував прекрасні експлуатаційні якості та завоював надзвичайно високу популярність у Європі як зносостійкий матеріал дорожніх покриттів на високонавантажених трасах, в аеропортах і морських портах, а в останні роки щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші стали також широко поширюватися по усьому світі завдяки багатьом своїм перевагам [3-8].

Поверхня покриттів, одержувана при застосуванні ЩМА, характеризується комфортними й безпечними їздовими якостями, а її текстура відрізняється шорсткістю й здатністю поглинати шум при русі транспортних коштів. Тверда каркасна структура із щебенів, що формує кістяк асфальтобетону, обумовлює високу опірність зсувним деформаціям, а наявність великої кількості бітумного в'язучого, надає ЩМА деформативності і довговічності. Досвід країн, що мають тривалий досвід застосування ЩМА, свідчить, що для одержання гарної якості покриття необхідно, щоб суміш була

збалансована по складу, а укладання й ущільнення повинно виконуватися відповідно до технологічного регламенту на високому технічному рівні

Ідея щебенево-мастикового асфальтобетону полягає у тому, щоб шляхом підбору мінеральної частини створити щебневий кістяк підвищеної стійкості до дії транспортних навантажень, а шляхом заповнення його бітумною мастикою отримати залишкову пористість бажаної величини. Завдяки високій клеючій здатності розчину з асфальтов'язучого у створеній структурі затрудняється зміщення зерен мінеральної складової всередині “каркасу” і підвищується зсувостійкість матеріалу до дії зсувних зусиль.

Під зсувостійкістю мається на увазі здатність асфальтобетону опиратися необоротному пластичному деформуванню при багаторазовому колісному навантаженні. Результати випробувань багатьох дослідників показали більш високу стійкість ЩМА до колієутворення в порівнянні із іншими асфальтобетонами що обумовлено виникненням порівняно меншим деформаціям, як у поперечному, так і в поздовжньому напрямку за рахунок наявності твердого щебеневого кістяку, що забезпечує передачу навантаження з поверхні покриття в нищележащий шар через контактуючі один з одним крупні зерна кам'яного матеріалу.

Проведені наукові дослідження ЩМА показали, що для забезпечення його стійкості потрібно слідкувати за складом ЩМА, ступенем його ущільнення, термо-вязко-пружньо-пластичними параметрами [3, 9].

У багатьох дослідженнях відмічається, що реологічні характеристики, від яких залежить як рівень напружено-деформованого стану покриття, так і стійкість до пластичних деформацій та стійкість до порушення суцільності ефективно можна регулювати за рахунок використання полімерних і мінеральних структуруючих добавок у суміші та/або в'язуче.

Вищенаведена інформація свідчить про суттєві переваги щебенево-мастикового асфальтобетону, як матеріалу покриття конструкції дорожнього одягу. Водночас, ці переваги можуть бути реалізовані якщо всі інші елементи дорожньої конструкції повноцінно виконують свої функції протягом усього терміну служби під дією транспортних та кліматичних факторів.

Значна кількість досліджень була присвячена оцінюванню рівня напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття в конструкції дорожнього одягу, як багатошарового на півпростору. Вертикальні зусилля від

сучасного вантажного транспорту, що рухається, викликають, головним чином, напруження стиску в асфальтобетонних покриттях, що створюють тиск від пневматиків на поверхню покриття в межах 0,8-1,2 МПа. Стискаючі напруження такої величини при одноразовому короткочасному навантаженні не утворюють небезпеки для покриття, оскільки міцність асфальтобетону, враховуючи реакцію сусідніх з місцем контакту шарів матеріалу, навіть при високій температурі, перевищує ці величини. Відмічається, що значно небезпечніша багаторазова повторна дія вертикальних нормальних напружень, а також розтягуючих горизонтальних та зсувних напружень [10-14].

Виконані матеріалознавські дослідження стверджують, що діючі на покриття автомобільної дороги транспортні навантаження викликають нормальні та дотичні напруження у поєднанні з високими літніми температурами призводять до великої кількості дефектів покриття пластичного характеру [15-18]. Це обумовлено як недостатньою деформативною стійкістю асфальтобетону при підвищених температурах, а також недостатнім зчепленням між асфальтобетонними шарами. У багатьох роботах відмічається, що зміна температури асфальтобетонного покриття в межах від +10 °С до +50 °С викликає в шарах покриття збільшення вертикальних і горизонтальних переміщень від транспортного навантаження в 1,5-2 рази [19] а відсутність зчеплення хоча б в одному з конструктивних шарів дорожнього одягу, викликає збільшення горизонтальних переміщень від 3,7 (у верхніх шарах покриття) до 7,7 рази (в нижньому шарі покриття).

Як критерії для оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення пластичних деформацій при дії транспортних навантажень є експериментальні показники зсувостійкості асфальтобетону [17, 18, 20-22].

Узагальнюючи існуючі дослідження можна відмітити, що одним із факторів забезпечення надійності та працездатності дорожньої конструкції є спільна робота її шарів, за рахунок наявності міцних зв'язків між монолітними шарами, можлива при забезпеченні міжшарового зчеплення. Дана умова, у тому числі, забезпечує міцність і надійну роботу асфальтобетонних шарів під час експлуатації дорожнього одягу. Саме створення міцного контакту між цими шарами за рахунок достатнього зчеплення є обов'язковою важливою умовою, що передбачається розрахунковими схемами роботи конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами при їх проектуванні згідно нормативних

документів, що діяли в останні роки [23, 24]. Однак, як показує практика, не завжди вдається забезпечити необхідне зчеплення між асфальтобетонними шарами. Дослідження багатьох вчених [25] свідчать, що найбільш поширеними причинами є: невідповідність технологічних режимів укладання шарів дорожнього одягу, перш за все температурних; не врахування фізико-механічних властивостей матеріалів на етапі будівництва; впливу кліматичних і механічних чинників, або найчастіше їх комплексного впливу на етапі експлуатації автомобільної дороги та інше. Так, в дослідженнях Стороженка М.С., Аринушкиної Н.С. та Грищенка Т.М. “ХНАДУ”, [26] звертається увага на те, що під дією вертикального навантаження від колеса автомобіля в шарах дорожнього одягу виникають зсувні напруження. Якщо ці напруження перевищують опір зсуву матеріалу, то внаслідок порушення граничної рівноваги виникають та поступово накопичуються від багаторазового навантаження залишкові деформації. В результаті дорожній одяг починає руйнуватися. Отже, будь-який міцний дорожній одяг протягом року не повинен мати залишкових деформацій, тобто повинен працювати в стадії оборотних (пружних) деформацій.

Крім зсувних зусиль, що виникають в шарах дорожніх одягів від вертикального колісного навантаження, горизонтальні зусилля виникають від дії крутного моменту при русі автомобіля, збільшуючись при зміні швидкості руху, зрушенні автомобіля з місця і досягають максимуму при гальмуванні. Співвідношення вертикальної і горизонтальної складових навантаження залежать від режимів руху, профілю поверхні проїзної частини, зчеплення колеса з покриттям, конструктивних особливостей автомобіля і досягає в більшості випадків 75% від вертикальних навантажень. Сумарні максимальні напруження виникають на глибині 4-10 см від поверхні, тобто на нижній границі шару посилення. Значення міжшарового зчеплення підтверджується експериментально при випробуванні моделей на розтяг при згині.

Відомо, що в останні роки збільшується інтенсивність руху та вагові параметри транспортних засобів (вантажопідємність, осьове навантаження, кількість осей транспортного засобу, питомий тиск автомобільних шин на покриття). В результаті цих обставин почали більш інтенсивно з'являтися деформації асфальтобетонного покриття, у тому числі і на покритті із ЩМА, особливо на ухилах при дії горизонтальних зусиль від транспортних засобів.

Внаслідок чого скорочується строк служби асфальтобетонного покриття та суттєво погіршуються показники безпеки руху.

При вирішенні питання підвищення стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних навантажень на ухилах доріг і вулиць слід розглядати не тільки вплив дії транспортного навантаження при гальмуванні на спуску або при русенні з місця на підйомі, а також довготривалу дію власної ваги, особливо за високих температур покриття у літній період року. У багатьох дослідженнях спрощені підходи врахування власної ваги на стійкість асфальтобетонного покриття на ухилах розглядають наступним чином.

Власна вага дорожнього одягу в будь-якій його точці по товщині з урахуванням куту нахилу розподіляється на дві складові. Однією з них є дотична складова T , що діє паралельно площині покриття і намагається зсунути дорожній одяг вниз викликаючи небезпеку зсуву. Друга з них є нормальна складова P , що діє перпендикулярно до площини покриття і притискає дорожній одяг до нього, створюючи опір зсуву і допомагає утримувати дорожній одяг від сповзання разом із силами зчеплення. Таким чином, умова стійкості від сповзання дорожнього одягу виходить із умови міцності на зсув по одній із вірогідних небезпечних площин

$$T \leq [T], \quad (1)$$

де T – дотична складова власної ваги G дорожнього одягу;

$[T]$ – опір зсуву дорожнього одягу.

В роботі [27] запропоновано математичну модель та рівняння процесу хвилеутворення дорожнього одягу, наведено приклад розрахунку несучої спроможності верхнього шару асфальтобетонного покриття проти хвилеутворення на ділянках інтенсивного гальмування автомобільних потоків. Авторами встановлено, що суттєво впливає на пластичне розповзання шару гальмівна сила F_T , яка досягає значень співмірних з нормальним навантаженням за гальмівного режиму руху колеса. Величина гальмівної сили під час гальмування автомобіля для окремого колеса визначається за формулою $F_T = \varphi P_Z$, де φ – коефіцієнт зчеплення колеса з опорною поверхнею, P_Z – значення зусилля яке приводить у пластичний стан шар асфальтобетону під колесами автомобіля. Механічна модель процесу взаємодії загальмованого колеса з дорожньою поверхнею розглядається як зсув і стиск ідеально-пластичного тонкого шару між паралельними жорсткими плитами відповідно до [28]. Дослідниками [27]

наведені підрахунки показали, що в умовах слабкого силового навантаження забезпечується несуча спроможність шару асфальтобетону в температурному діапазоні $t=(20^{\circ}\text{C}; 50^{\circ}\text{C})$. Проте під час гальмівного режиму руху колеса за $t=50^{\circ}\text{C}$ відбувається втрата стійкості дорожнього одягу проти пластичного течення. На ділянці дороги інтенсивного гальмування автомобілів, що дорівнює, приблизно, довжині гальмівного шляху $S_{\text{ГМ}}$, після проїзду k -го автомобіля відбувається незворотне видовження шару асфальтобетону на величину Δl_k^p . Тому прилегла ділянка дорожнього одягу до гальмівної ділянки перебуває в стисненому стані під дією стискаючої сили $F_{\text{ст}}$. За деякого граничного значення цієї сили відбувається втрата стійкості цього шару і він випучується. Подальше охолодження дорожньої поверхні не приводить до зникнення випучених областей, а проїзд по них важких автомобілів викликає поступове руйнування дорожнього одягу.

Крім того дослідження виконані в роботі [29] показують, що при оцінці міцності асфальтобетонного шару на зсувостійкість слід враховувати зміни компонентів напруження, а саме дотичні напруження в тілі контакту шарів $\sum \tau_{xz}$, $\sum \tau_{yz}$, та горизонтальні напруження в тілі асфальтобетонного шару $\sum \sigma_x$, $\sum \sigma_y$ (при комплексній дії зовнішнього навантаження та температурного деформування), від яких будуть залежати значення головних напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 .

Висновки. Аналіз відомих досліджень свідчить про високу ефективність використання покриття із ЩМА у випадку, якщо всі елементи дорожньої конструкції виконують свої функції і забезпечують стабільну основу для реалізації його переваг. Вивченню поведінки такого покриття на ухилах автомобільних доріг та вулиць приділено недостатньо уваги, що потребує подальших досліджень з урахуванням:

- довготривалої дії власної ваги;
- фактичного характеру зв'язку між шарами дорожньої конструкції;
- змінних властивостей ґрунтової основи за довжиною ухилу та сезонної зміни вологості;
- характеру дії параметрів транспортного навантаження під час гальмування та рушення з місця транспортних засобів.

Перелік посилань

1. Splittmastixasphalt,-Dr.-Ing. K.H. Kolb die Herren H. Erhard, F. Hoggenmuller, O. Kast und andere. / LEITFADEN. Deutscher Asphaltverband (DAV), 27 s.
2. Asphalt | Taschenkalender: BGA. Bonn, 2003.
3. Г.Н. Кирюхин, Е.А. Смирнов. Покрытия из щебеночно-мастичного асфальтобетона. М.: ООО «Издательство "Элит"». - 2009. 176 с. илл.
4. Krzystov Blazejowski. SMA. Teoria I praktyka. 2007.
5. Юрген Хученройтер, Томас Вернер. Щебеночно-мастичный асфальтобетон: основные понятия, структура, состав, свойства, опыт применения. Автомобильные дороги, №4, 2002, С. 40-42.
6. Веренько, В. А. Конструирование и расчет дорожной одежды повышенной надежности и долговечности : пособие по выполнению курсового проекта № 3 «Проект дорожной одежды нежесткого типа (деталь проекта)» для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги». - Минск : БНТУ, 2012. - 78 с.
7. В.К. Жданюк, Д.Ю. Костін, О.О. Арінушкіна Властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів на модифікованих бітумах // Автошляховик України. 2012. №6(230). С.23-27
8. В.К. Жданюк, Д.Ю. Костін, О.О. Воловик Дослідження колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів при різних температурах // Автошляховик України. 2012. №2(226). С.25-29
9. Stone Mastic Asphalt Technology for Urban Pavements. - John Emery, Carl Woodman, Robert Burlie. // XIII IRF World Meeting, Toronto, Ontario, Canada 1997.
10. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок: дис. ... докт. техн. наук. Киев, 1983. 552 с.
11. Онищенко А.М. Підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх : дис. ... докт. техн. наук. Київ, 2018. 606 с.
12. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. Под ред. Н.И.Иванова. М. Транспорт 1973, 328 с.

13. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. – К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003. – 240 с.
14. Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1964. – 167 с.
15. Бонченко Г.А. Асфальтобетон. Сдвигоустойчивость и технология модифицирования полимером. М.: Машиностроение, 1994. 175 с.
16. Антипов В.И., Богуславский А.М. Методика расчета асфальтобетонных покрытий на сдвиг. М.: Аэропорт, 1979. 11 с.
17. Золотарев В.А. Исследование свойств асфальтобетонов различной структуры: автореф. дис...канд. техн. наук. Харьков, 1967. 24с.
18. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Вища школа, 1977. 116 с.
19. Матуа В.П., Баранов Е.М., Джанашия Д.Р. Методы прогнозирования, развития и учета накопления остаточных деформаций при конструировании дорожных одежд // Дороги і мости. 2006. Вип. 4. С.181-199.
20. Чугуенко С.А. Сдвигоустойчивость асфальтобетонов на битумах, модифицированных полимерами: дис. ... канд.тех. наук. Харьков, 2006. 185 с.
21. Гезенцвей Л.Б., Горелышев Н.В., Богуславский А.М., Королев И.В. Асфальтовый бетон. М.: Транспорт, 1985. 350 с.
22. Экспериментальные исследования асфальтобетонов верхних слоев покрытия (ЩМА, плотных асфальтобетонов на ПБВ и др.) для определения расчетных характеристик, используемых при проектировании нежестких дорожных одежд (дополнительно к ОДН 218.046-01) / Открытое акционерное общество «Дорожный научно-исследовательский институт «СоюздорНИИ» (ОАО «СоюздорНИИ»). – Государственный контракт № УД-47/310. Балашиха, 2009. 112 с.
23. ВСН 46-83 Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа, М., «Транспорт», 1985, 159 с.
24. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
25. МИНАКОВ А.С., КИЯШКО И.В. ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МЕЖСЛОЙНОГО СЦЕПЛЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА. Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-

будівельного факультету. Харків: ХНАДУ, 2010. С. 112-115.

26. Стороженко М.С. Аринушкина Н.С. Грищенко Т.М. Підвищення міцності і зсувостійкості асфальтобетонних шарів посилення на нежорстких дорожніх одягах. Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. Харків: ХНАДУ, 2010. С. 155-159

27. Бігун Г. Г. Оцінка стійкості дорожнього одягу проти хвилеутворення / Г. Г. Бігун, Л. О. Карасьова, Я. Ф. Андрусик // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2013. – № 755 : Теорія і практика будівництва. – С. 10–14. – Бібліографія: 5 назв.

28. Грушко И.М., Королев И.В., Борщ И.М., Мищенко Г.М. Дорожно-строительные материалы. – М.: Транспорт, 1991. – 357 с.

29. Дорожко, Євген Вікторович. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі : дис. ... канд. техн. наук / Євген Вікторович Дорожко ; ХНАДУ. - Х. : ХНАДУ, 2016. - 280 с.

УДК 504.05/.06

Мусяца О.Н., канд. хім. наук, Катеринко О.І.

ОТРИМАННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ СУМІСНИМ ДИСПЕРГУВАННЯМ ПОЛІЕТИЛЕНУ І КАРБІДІВ МЕТАЛІВ ТА ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Анотація. В статті проведено дослідження структури, твердості і фрикційних властивостей (стирання по сталі) термопластичних наноккомпозитів на основі лінійного поліетилену і карбідів, отриманих спільним диспергуванням компонентів при вібропомелі.

Об'єкт дослідження - продукт спільного диспергування лінійного поліетилену і дисперсних карбідів силіцію, титану і молібдену.

Мета дослідження - виявлення ролі спільного диспергування полімеру, що кристалізується, з дисперсними карбідами у формуванні структури і властивостей композиційних термопластичних матеріалів.

Метод дослідження - зразки для дослідження виготовлялися спільним диспергуванням порошкоподібного поліетилену і дисперсних карбідів на ексцентриковому вібромлині з подальшою гомогенізацією розплаву полімеру з добавками і гарячим пресуванням зразків. Структура термопластичних матеріалів досліджувалася методами гель-золь-аналізу і рентгенографії. З отриманими матеріалами проводили термомеханічний аналіз, а також визначали твердість по Брінеллю і фрикційні властивості.

Результати дослідження полягають у тому, що вперше експериментально показано вплив спільного диспергування полімеру, що кристалізується, і дисперсних карбідів на молекулярну і надмолекулярну структуру композиційних термопластичних матеріалів і їх фізико-механічні властивості.

Область застосування - результати даного дослідження слід використовувати при отриманні полімерних виробів з термопластів, що кристалізуються і які знаходять широке застосування, в тому числі, транспортному і дорожньому будівництві, для підвищення їх фізико-механічних властивостей.

Ключові слова: лінійний поліетилен, карбіди, спільне диспергування, структура, твердість, зносостійкість.

Abstract. In the article the structure, hardness and frictional properties (abrasion on steel) of thermoplastic nanocomposites based on linear polyethylene and carbides, obtained by dispersing the components in a joint vibropomole.

Object of research - the joint product dispersion linear polyethylene and particulate silicon carbide, titanium, and molybdenum.

The purpose of research - the identification of the role of co-crystallizing polymer dispersion with dispersed carbides in the formation of structure and properties of composite thermoplastic materials.

The method of investigation - samples for study were made by dispersing powdered polyethylene joint and disperse carbides eccentric vibrating mill followed by homogenization of molten polymer with the additives and hot-pressed samples. Structure Thermoplastic materials was investigated by the sol-gel analysis and X-ray. With the obtained materials carried thermomechanical analysis, and determined Brinell and frictional properties.

Results of the study lies in the fact that for the first time experimentally demonstrated the effect of co-crystallizing polymer dispersion and dispersion of carbides at the molecular and supramolecular structure of composite thermoplastic materials and their physical and mechanical properties.

Keywords: linear polyethylene, carbides, co-dispersing structure, hardness, wear resistance

Постановка проблеми. Останнім часом все більша увага приділяється дослідженням композиційних полімерних матеріалів, основу яких складають термопласти. До таких матеріалів, впершу чергу, відносяться полімери, що містять дисперсні наповнювачі неорганічної природи, в тому числі нанорозмірні добавки. Інтерес до композиційних матеріалів на основі термопластів обумовлений головним чином легкістю їх переробки у вироби всіма відомими способами.

Найбільш поширеними термопластами є поліолефіни, більшість яких належить до типових полімерів, що кристалізуються. Завдяки доступності сировинної бази, поліолефіни займають провідне місце в світовому виробництві полімерних матеріалів. Поліолефіни мають ряд цінних властивостей, таких, як

низьке значення щільності, вологопоглинання і газопроникність, високі діелектричні показники і хімічна стійкість, що дозволяє використовувати вироби з цих полімерів в електротехнічній, радіотехнічній та хімічній промисловості, транспортному та дорожньому будівництві, медицині і ряді інших областей. Однак, як матеріали конструкційного призначення поліолефіни мають обмежене застосування внаслідок невисоких фізико-механічних характеристик (твердості, міцності, зносостійкості і ін.).

Ефективними способами модифікування поліолефінів є: введення наповнювачів неорганічної природи, особливо нанорозмірних добавок, і створення сітчастої (зшитої) структури композиційних матеріалів. Введення нанорозмірних добавок неорганічної природи в термопластичні полімери може бути здійснено, в основному, методом прямого змішування добавок з розплавом полімеру або механохімічно шляхом спільного диспергування компонентів з подальшою переробкою наповненого розплаву.

Одним з найбільш перспективних аспектів механохімічного впливу на термопластичні матеріали, що містять добавки неорганічної природи, слід вважати зміну структури і властивостей отриманих композиційних матеріалів. Найбільш ефективно таке модифікування відбувається при вальцюванні і вібропомелі термопластичних систем [1].

У більш ранніх роботах [2] було встановлено, що при вібраційному подрібненні ряду неорганічних речовин в присутності деяких мономерів відбувається їх полімеризація. При цьому здійснюється хімічне щеплення макромолекул на поверхні дисперсних частинок неорганічних субстратів [2, 3]. Така взаємодія можлива в наслідок утворення макрорадикалів при механічній деструкції компонентів системи: полімер-неорганічна добавка [4, 5]. В роботі [6] показано, що при спільному диспергуванні поліетилену з сажею методом вібропомелу можлива кополімеризація цих компонентів з утворенням більш еластичного продукту в порівнянні з механічною сумішшю поліетилену і сажі.

Раніше нами було показано [7], що введення в розплав лінійного поліетилену нанорозмірних карбідів силіцію, титану і молібдену супроводжується зміною молекулярної і кристалічної структури композицій, що знайшло своє відображення на зміні термомеханічних властивостей, підвищенні твердості і теплостійкості термопластичних матеріалів.

У даній роботі досліджено вплив спільного диспергування лінійного поліетилену і дисперсних карбідів на структуру (на різних рівнях її організації), твердість і фрикційні властивості отриманих термопластичних матеріалів.

Об'єкти і методи дослідження. Об'єктом дослідження служив порошкоподібний поліетилен високої щільності (ПЕВЩ) (середнь'язкісна молекулярна маса $9,5 \times 10^4$, ступінь кристалічності 54 %). Як добавки використовували дисперсні карбіди силіцію, титану і молібдену (розмір часток 3-10 мкм, питома поверхня $< 20 \text{ м}^2/\text{г}$). Для порівняння був також використаний нанорозмірний карбід силіцію, який найбільш ефективно впливає на структуру і властивості лінійного поліетилену [7].

Спільне диспергування ПЕВЩ і всіх зазначених карбідів здійснювали за допомогою лабораторного ексцентрикового вібромліна [8] при кімнатній температурі за методикою, аналогічною викладеній в роботах [2, 6]. Добавки карбідів в ПЕВЩ становили 0,2-7,0 % (об).

З композицій, отриманих спільним диспергуванням і гомогенізацією розплаву полімеру з добавками карбідів в пластографі Брабендера (40 хв. при 453 К), методом гарячого пресування (тиск 35 МПа при температурі 443 К протягом 20 хв.) виготовлялися зразки для дослідження структури і властивостей матеріалів. За аналогічним режимом оброблявся полімер, який не містить добавок карбідів. Визначення вмісту гель-фракції (зшитих макромолекул) і кількості прищепленого полімеру на частинках карбідів проводилося шляхом екстракції незв'язаних макромолекул ПЕВЩ і вільних частинок карбідів киплячим толуолом до постійної маси залишку таким же чином, як і в роботі [7]. Рентгенографічне дослідження кристалічної структури зразків ПЕВЩ (ступінь кристалічності і висота складки кристалітів) здійснювали на дифрактометрі ДРОН-3. Твердість матеріалів визначалася по Брінеллю згідно ГОСТ 4870-91.

Фрикційні властивості зразків ПЕВЩ досліджували на машині для випробування матеріалів на тертя і знос МІ-1М. В якості контртіла служив сталевий диск (твердість по Роквеллу HRA = 80). Визначення зносостійкості і коефіцієнту тертя проводилося при питомому навантаженні на зразки поліетилену 12,4 МПа і швидкості обертання сталевого диска 7 об/с. Фіксувався масовий знос після кожного кілометра шляху тертя. Характер зносу зразків поліолефінів оцінювався по виду поверхонь, що стираються, на

металографічному мікроскопі МІМ-8М в косому освітленні в напрямку перпендикулярному руху контртіла.

Експериментальна частина і обговорення результатів. Вплив добавок дисперсних карбідів на молекулярну структуру ПЕВЩ можна встановити за кількістю щепленого полімеру на частинках добавок і вмістом гель-фракції в композиціях, що не піддавалися і піддавалися спільному диспергуванню компонентів, таким же чином, як були визначені ці параметри в роботі [7] для систем: ПЕВЩ - нанорозмірні карбіди. Для композицій ПЕВЩ, що містять вихідні дисперсні карбіди (SiC-д, TiC-д, MoC-д), і які не піддавалися спільному диспергуванню з полімером, кількість щеплених макромолекул ПЕВЩ і вміст гель-фракції досить незначний - 2-5 %. У той же час після спільного диспергування ПЕВЩ і вихідних дисперсних карбідів Si, Ti і Mo спостерігається ефективне щеплення макромолекул полімеру з поверхнею частинок карбідів і утворення просторової сітки, що обумовлюють гель-фракції в композиційних матеріалах (табл. 1).

Таблиця 1 - Вплив концентрації добавок (ϕ) карбідів Si, Ti, Mo на кількість привитого полімеру (P) і вміст гель-фракції (G) в композиціях після сумісного диспергування компонентів

Параметри структури	Добавка	ϕ , %		
		1,0	3,0	7,0
P, %	SiC-н	18	22	35
	SiC-д	20	25	36
	TiC-д	19	23	34
	MoC-д	18	21	33
G, %	SiC-н	14	18	28
	SiC-д	16	21	31
	TiC-д	14	18	30
	MoC-д	12	17	28

Після спалювання гель-фракції при температурі 873 К встановлено, що кількість прищепленого полімеру зростає з підвищенням концентрації нанорозмірних карбідів, досягаючи 33-36 % в залежності від їх природи, при 7 % вмісті добавок. Подібна тенденція дотримується при наявності гель-фракції

ПЕВІЩ в цих композиціях. Причому, вміст гель-фракції ПЕВІЩ у всіх випадках нижче, ніж кількість прищепленого полімеру на частинках карбідів, а ефективність цих процесів має тенденцію до зниження в ряду: SiC-д > TiC-д > MoC-д.

Максимальні значення щепленого полімеру і гель-фракції ($P = 36 \%$, $G = 31 \%$) спостерігаються для ПЕВІЩ, що містить 7% дисперсного SiC-д. Такі значення щепленого полімеру і вмісту гель-фракції не досягаються навіть при введенні в ПЕВІЩ такої ж кількості нанорозмірного карбиду силіцію.

Крім цього, спільне диспергування ПЕВІЩ з нанорозмірним карбідом силіцію (SiC-н) показує більш низькі значення P і G в інтервалі концентрацій добавки $1,0 - 7,0\%$ в порівнянні з цими параметрами композицій після спільного диспергування систем: ПЕВІЩ - дисперсний SiC -д. Такі зміни в молекулярній структурі композицій ПЕВІЩ, що містять карбіди, в процесі спільного диспергування компонентів можуть бути обумовлені утворенням більш дрібних, аж до нанорозмірних, частинок карбідів, що володіють свіжеутвореною поверхнею. Мабуть, при вібропомелі ПЕВІЩ з карбідами вище температури склування і нижче температури плавлення полімеру відбувається хімічне щеплення макромолекул на свіжій поверхні частинок карбідів. Цей ефект може посилюватися в процесі подальшого термомеханічного впливу в розплаві ПЕВІЩ з утворенням просторової сітки полімеру, що включає хімічно щеплені частки карбідів [7].

В одній з ранніх робіт [9] було зроблено припущення, що кристалізація лінійного ПЕВІЩ може початися з макромолекул, хімічно пов'язаних з поверхнею твердих дисперсних частинок, зокрема діоксиду титану. В роботах [7, 10, 11] це припущення було доведено при кристалізації лінійного ПЕВІЩ з нанорозмірними частинками карбідів, діоксидів силіцію і титану, дисульфиду молібдену. У даній роботі вплив спільного диспергування полімеру і карбідів на параметри кристалічної структури ПЕВІЩ наведений в табл. 2.

Видно, що спільне диспергування ПЕВІЩ, що містить SiC-н, мало впливає на параметри кристалічної структури полімеру. В обох випадках для систем ПЕВІЩ - SiC-н ступінь кристалічності і висота складки кристалітів полімеру підвищують свої значення в області концентрацій добавки карбиду $0,5 - 1,0\%$ найбільш ефективно, а при збільшенні вмісту SiC-н до 7% зазначені параметри дещо знижуються, не доходячи до значень вихідного полімеру. Практично SiC-

н в диспергованому і недиспергованому з ПЕВІЦ вигляді грає роль структурно - активного наповнювача [12]. Вихідні дисперсні карбіди Si, Ti і Мо такими наповнювачами не є (табл. 2).

Таблиця 2 – Вплив концентрації добавок (ф) карбідів на параметри кристалічної структури ПЕВІЦ: чисельник – без сумісного; знаменник – після сумісного диспергування компонентів

Параметри структури	Добавка	φ, %			
		1,0	3,0	7,0	
K, %	SiC-н	$\frac{64}{66}$	$\frac{63}{65}$	$\frac{61}{62}$	
		SiC-д	$\frac{56}{68}$	$\frac{54}{66}$	$\frac{52}{64}$
	TiC-д		$\frac{56}{67}$	$\frac{54}{65}$	$\frac{52}{63}$
		MoC-д	$\frac{54}{65}$	$\frac{53}{63}$	$\frac{52}{60}$
	L ₀₀₂ , нм		SiC-н	$\frac{23,0}{24,0}$	$\frac{23,0}{24,0}$
		SiC-д		$\frac{21,0}{24,5}$	$\frac{20,5}{23,0}$
			TiC-д	$\frac{20,5}{23,0}$	$\frac{20,0}{22,5}$
		MoC-д		$\frac{20,5}{22,5}$	$\frac{20,0}{22,0}$
Примітка: φ – концентрація добавок, K – ступінь кристалічності (вих. ПЕВЩ – 54 %), L ₀₀₂ – висота складки кристалітів (вих. ПЕВЩ – 20,0 нм)					

У той же час, при кристалізації полімеру в присутності добавок карбідів силіцію, титану і молібдену, диспергованих з ПЕВІЦ, відбувається одночасне підвищення ступеня кристалічності полімеру і висоти складки його кристалітів. Найбільш ефективно збільшення параметрів кристалічної структури ПЕВІЦ спостерігається при вмісті 1,0 % добавок карбідів в полімері. Підвищення вмісту карбідів кілька знижує ефективність впливу цих частинок на кристалічну структуру ПЕВІЦ.

За ефективністю впливу на кристалічну структуру поліетилену, дисперговані з полімером карбіди розподіляються в такій послідовності: SiC-д> TiC-д> MoC-д, що корелює зі ступенем щеплення макромолекул ПЕВЩ на поверхні частинок добавок і вмістом гель-фракції полімеру (порівняння табл. 1 і 2).

Так, максимальне збільшення ступеня кристалічності (на 14 %) і висоти складки кристалітів (на 4,5 нм) має місце в зразках ПЕВЩ, що містить 1,0 % диспергованого SiC-д. Мабуть, дія частинок карбідів як ініціаторів кристалізації ПЕВЩ реалізується тільки в разі хімічного щеплення макромолекул з поверхнею частинок добавок. Ініціатори кристалізації сприяють утворенню більш термодинамічно рівноважної і досконалої кристалічної структури полімеру. Слід також врахувати, що дисперговані частинки карбідів можуть бути порівнянні з висотою складки кристалітів ПЕВЩ. Це в значній мірі має впливати на кінетику і термодинаміку кристалізації полімеру і його надмолекулярну структуру. Підвищення в полімері вмісту гель-фракції (зшитих макромолекул), що локалізуються в аморфних областях ПЕВЩ, повинно ускладнювати кристалізацію термопластичного матеріалу, що і спостерігається при збільшенні концентрації карбідів в полімері (табл. 1, 2).

Порівнюючи дані табл. 2 і результати табл. 3 роботи [7] можна бачити, що дисперговані з ПЕВЩ карбіди Si, Ti і Mo не поступаються за ефективністю модифікування кристалічної структури полімеру в порівнянні з нанорозмірними частинками тих же карбідів.

Зміна молекулярної і кристалічної структури ПЕВЩ, які мали місце під час спільного диспергування полімеру з карбідами, знайшли також своє відображення в зміні твердості термопластичних матеріалів (рис. 1). Твердість термопластичних матеріалів при вмісті карбідів до 1,0 % різко зростає, особливо для SiC-н - на 26 - 28 МПа, що обумовлено більш високими параметрами кристалічної структури ПЕВЩ (табл. 2). Подальше збільшення вмісту карбідів в полімері до 7 % підвищує значення твердості термопластичних матеріалів менш значно - на 7 - 8 МПа, не дивлячись на деяке зниження параметрів кристалічної структури ПЕВЩ (табл. 2). Такий ефект найімовірніше пов'язаний з тим, що при підвищенні вмісту карбідів в полімері, в збільшенні твердості композиційних матеріалів позначається наявність зшитих макромолекул, хімічно прищеплених до поверхні високодисперсних частинок, які концентруються, в основному, в

аморфних ділянках термопласта, що кристалізується. Цей внесок в підвищення твердості термопластичних матеріалів виявляється більш значущим, ніж деяке зниження параметрів кристалічної структури ПЕВЩ, тому що пов'язаний з армуючим впливом аморфних областей полімерів, що кристалізуються [12].

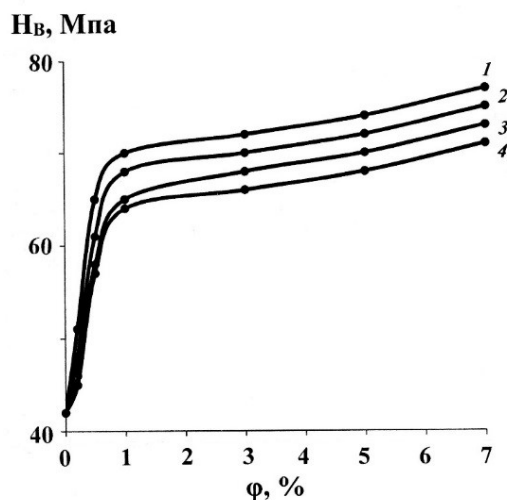


Рисунок 1 – Залежність твердості по Брінеллю (H_B) матеріалів від вмісту (ϕ) карбідів: SiC-н (1), SiC-д (2), TiC-д (3), MoC-д (4)

Цікавим є вплив твердості композиційних матеріалів на основі ПЕВЩ, що містять карбіди, на їх зносостійкість. На існування такого зв'язку між зносостійкістю і твердістю для деяких полімерів вказувалося раніше [13, 14]. Виходячи зі значень твердості досліджуваних зразків поліетилену, була визначена зносостійкість матеріалів з добавками карбідів.

Це явище відбувається як при малих, так і великих концентраціях добавок неорганічної природи. Причому, чим вище концентрація карбідів в полімері, тим їх знос менше. Мабуть, підвищенню зносостійкості поліетилену при введенні малих концентрацій (до 1,0 об. %) карбідів сприяє виключно збільшення ступеня кристалічності, висоти складки кристалітів полімеру і, як наслідок, підвищення їх твердості. При наявності в полімері понад 1,0 об. % карбідів, незважаючи на деяке зменшення їх ступеня кристалічності і досконалості кристалітів, зносостійкість матеріалів продовжує зростати. Введення в поліетилен 7,0 об. % карбідів призводить до мінімального зносу матеріалів при стиранні їх по сталі.

Видно (рис. 2), що зносостійкість досліджуваних матеріалів значно підвищується при введенні в полімер карбідів.

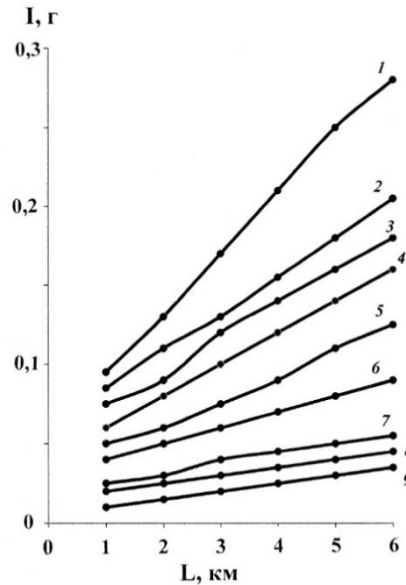


Рисунок 2 – Залежність зносостійкості ПЕВЩ від шляху тертя при вмісті карбідів: вих. ПЕВЩ (1), МоС-д (2, 6), TiC-д (3, 7), SiC-д (4, 8), SiC-н (5, 9), 3 об. % (2, 3, 4, 5), 7 об. % (6, 7, 8, 9)

Характерна зміна зносостійкості ПЕВЩ з добавками карбідів різної природи в залежності від їх концентрації. На рис. 3а показаний фіксований масовий знос зразків ПЕВЩ після 6 км шляху тертя по сталевому диску.

Присутність в поліетилені високої щільності карбідів супроводжується при стиранні по сталевому диску зниженням зносу матеріалів при вмісті в них зазначених добавок всього 0,2-1,0 об. %, більш значуще для SiC. Більш високі концентрації в полімері вже в меншій мірі впливають на знос композиційних термопластичних матеріалів. Коефіцієнт тертя цих матеріалів має таку ж залежність від вмісту високодисперсних добавок карбідів. Для перетворення вихідного ПЕВЩ в антифрикційні матеріали (коефіцієнт тертя по сталі повинен бути менше 0,3) достатньо присутності в полімері до 1,0 об. % карбідів (рис. 3б). Видно також, що зносостійкість композиційних матеріалів підвищується, а коефіцієнт тертя знижується в ряду добавок: МоС-д < TiC-д < SiC-д < SiC-н. При 6 км шляху тертя зазначені параметри змінюються, відповідно, в 3-7 і 2-5 разів.

Відомо [13, 14], що в залежності від складу композиційних полімерних матеріалів змінюється характер зносу цих матеріалів, який в свою чергу залежить від співвідношення таких більш простих фізико-механічних характеристик, як коефіцієнт тертя і твердість. Раніше було показано [14], що є два основних види зносу полімерних матеріалів: абразивний і втомний. Абразивний знос

здійснюється в результаті мікрорізання поверхні матеріалу. При цьому відділення частинок полімерного матеріалу відбувається за один або кілька актів деформування поверхні. Втомний знос відбувається за рахунок багаторазового деформування поверхні матеріалу виступами контртіла.

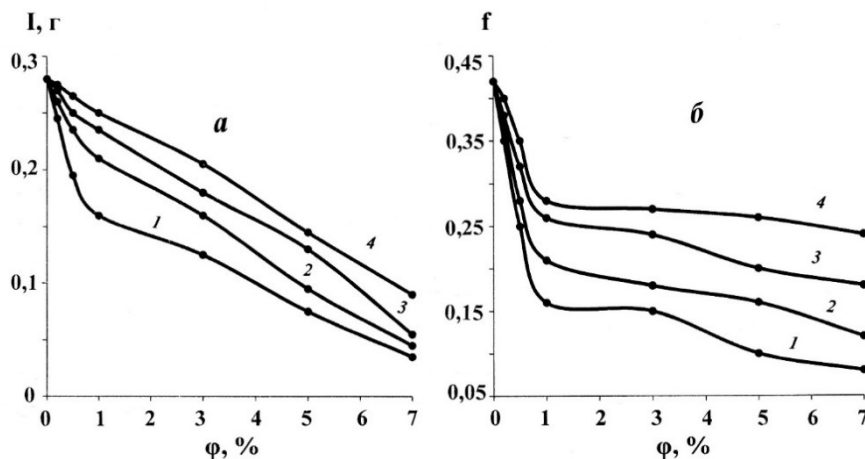


Рисунок 3 - Залежність зносу (I) (а) і коефіцієнту тертя ковзання (f) (б) ПЕВЩ від вмісту (ϕ) добавок: SiC-н (1), SiC-д (2), TiC-д (3), MoC-д (4)

При оцінці характеру зносу по виду поверхні полімерного матеріалу після стирання абразивний знос проявляється у вигляді смуг, паралельних напрямку ковзання. Втомний знос дає картини еластичних зламів і смуг, перпендикулярних напрямку руху. В даному випадку для всіх зразків поліетилену, що містять карбіди характер зносу був абразивний.

Як приклад на рис. 4 показані оптико - мікроскопічні фотографії поверхні зразків вихідного ПЕВЩ і ПЕВЩ, що містить 3 об. % SiC-д після 6 км шляху тертя по сталевому диску.

Для всіх досліджених зразків ПЕВЩ, що містять карбіди, характер зносу був аналогічний. Мабуть, такий характер зносу термопластичних нанокомпозитів обумовлений різким підвищенням твердості матеріалів при вмісті в ПЕВЩ до 1 об. % добавок карбідів і збереженням цієї характеристики з деяким збільшенням в діапазоні концентрацій 1-7 об. % (рис. 1).

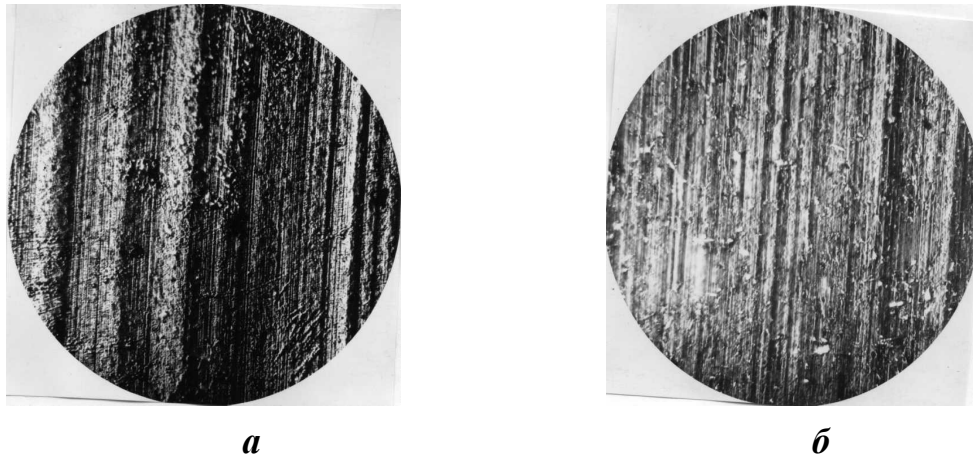


Рисунок 4 - Оптико-мікроскопічні фотографії поверхні зразків вихідного ПЕВЩ (а) і, ПЕВЩ, що вміщує 3 об. % SiC-д (б) після стирання по сталі (х 200, рух по вертикалі)

Висновки. Вплив добавок карбідів на знос ПЕВЩ добре узгоджується зі змінами в структурі полімеру, твердістю і коефіцієнтом тертя матеріалів. Високодисперсні частки карбідів роблять помітний вплив на зміну молекулярної і надмолекулярної структури лінійного ПЕВЩ. Особливо слід відзначити можливість хімічної взаємодії на границі розділу ПЕВЩ-карбіди при введенні добавок в полімер внаслідок механохімічних процесів [1]. Таку взаємодію було помічено раніше [6, 7, 9-11] для лінійного ПЕВЩ, що містить дисперсні домішки сажі, діоксиду титану, силіцію, дисульфиду молібдену. Механізм впливу хімічної взаємодії ПЕВЩ з карбідами на фрикційні властивості композиційних матеріалів пояснюється наступним чином. Щеплення макромолекул з твердою поверхнею карбідів супроводжується сприятливими умовами кристалізації ПЕВЩ, що призводить до підвищення твердості термопластичних матеріалів і в результаті до позитивної зміни його зносостійкості і коефіцієнту тертя. Практично мінімальний знос і коефіцієнт тертя полімерних матеріалів відповідають максимальному підвищенню їх твердості.

З огляду на важливість міцної зв'язку на кордоні розділу полімер - неорганічна добавка при створенні полімерних композиційних матеріалів, результати даної роботи слід використовувати при розробці антифрикційних матеріалів на основі термопластів, що кристалізуються. Найбільш ефективною зміною структури термопластичних матеріалів при спільному диспергуванні компонентів є утворення «монолітних композитів», які базуються на утворенні

своєрідних «мінерально-органічних кополімерів» [1]. Такі гібридні нанокompозити мають унікальні властивості.

Перелік полсилян

1. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений / Н.К. Барамбойм. - М.: Химия, -1978. 384 с.
2. Платэ Н.А. Полимеризация некоторых мономеров при диспергировании неорганических веществ / Н.А. Платэ, В.В. Прокопенко, В.А. Каргин // Высокомолекулярные соединения. - 1959. - № 11. - С. 1713-1720.
3. Каргин В.А. О химической прививке на кристаллических поверхностях / В.А. Каргин, Н.А. Платэ // Высокомолекулярные соединения. - 1959. № 2. - С. 330-331.
4. Бутягин П.Ю. Об образовании макрорадикалов при механической деструкции застеклованных полимеров / П.Ю. Бутягин, А.А. Берлин, А.Э. Калмансон, Л.А. Блюменфельд // Высокомолекулярные соединения. - 1959. - № 6. - С. 865-868.
5. Милинчук В.К. Макрорадикалы / В.К. Милинчук, Э.Р. Клишпонт, С.Я. Пшежецкий. - М.: Химия, - 1980. - 264 с.
6. Каргин В.А. О структуре и свойствах продукта совместного диспергирования полиэтилена и сажи / В.А. Каргин, Н.А. Платэ, В.Г. Журавлева, В.П. Шibaев // Высокомолекулярные соединения. - 1961. - № 4. - С. 650-654.
7. Гордиенко В.П. Механохимическое модифицирование структуры и физико-механических свойств полиэтилена, содержащего карбиды Si, Ti и Mo / В.П. Гордиенко, О.Н. Мустьяца, Г.Н. Ковалёва // Украинский химический журнал. - 2016. Т. 82, № 2. - С. 124-128.
8. Аронов М.Н. Лабораторная эксцентриковая вибротельница / М.Н. Аронов // Приборы и техника эксперимента. - 1959. № 1. - С. 153-154.
9. Акутин М.С. О механизме взаимодействия структурообразователей с кристаллическими полимерами / М.С. Акутин, Г.М. Озеров, В.А. Каргин // Пластические массы. - 1966. - № 12. - С. 32-33.
10. Гордиенко В.П., Мустьяца О.Н., Сальников В.Г. Влияние дисперсности частиц неорганической добавки на структуру и свойства линейного полиэтилена / В.П. Гордиенко, О.Н. Мустьяца, В.Г. Сальников // Пластические массы. - 2007. - № 12. - С. 11-13.

11. Гордиенко В.П. Позитивное модифицирование композиционных термопластичных материалов под воздействием агрессивных факторов – новое научное направление в полимерном материаловедении / В.П. Гордиенко // Энциклопедия инженера-химика. - 2010. - № 11. - С. 6-12; - № 12. - С. 2-6.

12. Соломко В.П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры / В.П. Соломко. - Киев: Наукова думка, - 1980. - 264 с.

13. Ратнер С.Б. Связь износа с другими механическими свойствами пластмасс / С.Б. Ратнер, И.И. Фарберова, О.В. Радюкевич, Е.Г. Лурье // Пластические массы. - 1963. № 7. - С. 38-42.

14. Фарберова И.И. Влияние наполнения и пластификации на износостойкость пластмасс / И.И. Фарберова, С.Б. Ратнер // Пластические массы. - 1967. № 4. - С. 68-71.

УДК 504.05/.06

**Старостенко О.М., канд. хім. наук, Григор'єва О.П., канд. хім. наук,
Баран С.А.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РІЗНИХ ПОЛІМЕРНИХ МОДИФІКАТОРІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ

Одним з ефективних способів підвищення експлуатаційних показників дорожнього покриття є направлене покращення властивостей асфальтобетону і бітумного в'язучого.

Для поліпшення якості асфальтобетонних сумішей використовують бітуми, модифіковані полімерами, тобто бітумні в'язучі, властивості яких змінені шляхом використання хімічних реагентів.

Сучасна світова практика свідчить про тенденцію стрімкого підвищення попиту на модифікатори для бітуму і асфальтобетону. Однак в Україні здебільшого застосовують дорогі імпорتنі модифікатори, що суттєво збільшує вартість асфальтобетонних сумішей (на 40 – 70 %).

Найбільш популярними модифікаторами є термоеластоласти типу СБС: Kraton D (компанії Kraton Polymers), Calprene (Компанії Dynasol) та інші. В Україні поряд з ними широке застосування знайшли синтетичні латекси серії Butonal NS (компанії BASF) і терполімери серії Elvaloy (компанії DuPont). Перераховані полімери знижують чутливість бітумів до зміни температури, підвищують когезійну міцність і теплостійкість в'язучих, надають їм еластичність, а також покращують поведінку при низьких температурах. Це у свою чергу сприяє підвищенню міцності, зсувостійкості і тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів. Головною причиною, яка стримує нарощування обсягів використання модифікованих бітумів, є висока вартість полімерів. Введення в бітум 2,5-3,5% термоеластоластів або 1-1,5% терполімерів підвищує вартість в'язучого у 1,5-2,5 рази.

Науковцями Державного дорожнього науково-дослідного інституту ім. М.П. Шульгіна створено полімерний модифікатор Полідом [1]-[2], вартість якого у 1,5-2 рази нижче вартості імпортних полімерних добавок. Основою даного модифікатора є вторинний поліетилен високого тиску (ПЕВТ). ПЕВТ підвищує

когезійну міцність і теплостійкість бітумів, проте робить систему бітум-полімер досить жорсткою, про що свідчить різке збільшення в'язкості модифікованого бітуму. Для надання бітуму еластичності і поліпшення його низькотемпературних характеристик ПЕВТ поєднували з мінімально можливою кількістю синтетичного латексу Butonal NS 104. Для кращої сумісності вихідних компонентів і отриманого модифікатора з бітумом, а також зниження жорсткості бітумополімерної системи використовували пластифікатори: нафтові екстракти, масла та інші нафтопродукти. Полімерасфальтобетон, що містить Полідом, має більш високі показники міцності, водо- і теплостійкості у порівнянні зі звичайним асфальтобетоном. Він також характеризується значно меншою температурною чутливістю і зниженим темпом теплового старіння. Доведено можливість спрощеної технології приготування полімерасфальтобетонів шляхом безпосереднього введення Полідома у змішувач з подальшим перемішуванням суміші при температурі 170 °С протягом 15-20 с.

Недоліком цих робіт є використання дорогих імпортованих компонентів у модифікаторах бітумів та асфальтобетонів.

Вітчизняні дослідження свідчать, що важливим питанням застосування полімерних модифікаторів є ефективність їх впливу на покращення властивостей бітумних в'язучих та асфальтобетонів. Саме цим питанням присвячені дослідження наукової школи професора В.О. Золотарьова (Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ХНАДУ). Ці дослідження виконуються протягом останніх десятиліть і широко висвітлені у вітчизняних та міжнародних публікаціях [3]-[9]. Вони дозволили встановити закономірності впливу фізико-хімічних та фізико-механічних процесів взаємодії полімерних модифікаторів з бітумом, як окремо, так і спільно з іншими видами модифікаторів на поліпшення характеристик бітумів та асфальтобетону.

Метою даної роботи було дослідження впливу різних модифікаторів на властивості бітумного в'язучого.

Як вихідний бітум використовували бітум Мозирського нафтопереробного заводу.

Для дослідження впливу високих температур на старіння бітуму (зміну властивостей) пробу вихідного бітуму витримували при робочій температурі модифікації такий же період часу, що і час модифікації, після чого проводили випробування. Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати випробувань вихідного бітуму та бітуму після 10 годин термостатування

Тривалість термостатування, год	Температура розм'якшення,	Дуктильність, см	Пенетрація при 25 °С
0 (вихідний бітум)	48,5	61	75
10	48	-	75
Вимоги ДСТУ 4044	47 - 53	не менше 55	від 61 до 90

Результати випробувань показують що витримування бітуму протягом 10 годин при температурі приготування полімербітумного в'язучого (190-195 °С) не впливає на зміну основних його властивостей.

Для досліджень готували полімербітумне в'язуче (ПБВ) з чотирма різними модифікаторами, наданими Інститутом хімії високомолекулярних сполук (ІХВС) НАН України. Як модифікатори використовували наступні термопластичні динамічні вулканізати (ТДВ) на основі: вторинного поліетилену низького тиску (ПЕНТ), кополімеру етилен-пропілен-дієновий мономер (ЕПДМ) та частково девулканізованої крихти подрібненої шинної гуми (ПШГ) складу ПЕНТ:ЕПДМ:ПШГ=40:35:25 (мас.%); вторинного удароміцного полістиролу (УМПС), кополімеру етилену з вінілацетатом (ЕВА), блок-кополімеру стиролу з бутадієном (СБС) та ПШГ складу ПС:ЕВА:СБС:ПШГ=25:5:12:70 (мас.%); а також індивідуальні вторинні термопласти, такі як УМПС і кополімер акрилонітрилу з бутадієном і стиролом (АБС). Основні фізико-механічні властивості використаних модифікаторів наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості модифікаторів бітуму.

Склад модифікатору, мас.%	Міцність при розриві, МПа	Відносне подовження при розриві, %
ПЕНТ : ЕПДМ : ПШГ 40 : 35 : 25	13,3	625
ПС : ЕВА : СБС : ПШГ 25 : 5 : 12 : 70	2,8	121
ПС 100	21,0	24
АБС 100	25,5	46

У роботі використовували методику приготування бітуму, модифікованого полімерами, за допомогою лабораторної лопатевої мішалки [10]-[11].

Визначення фізико-механічних характеристик бітумних в'язучих виконували згідно чинних нормативних документів [12]-[14].

Модифікатори вводили в кількості 3 % і 1,5 %.

На першому етапі випробувань здійснювали модифікацію бітумного в'язучого 3% модифікатора ТДВ на основі ПЕНТ:ЕПДМ:ПШГ складу 40:35:25 (мас.%).

Добавку вводили в попередньо розігрітий до температурі 190-195 °С бітум. Час приготування полімербітумного в'язучого склав 11 годин. Результати випробувань полімербітумного в'язучого, модифікованого 3% ТДВ на основі ПЕНТ:ЕПДМ:ПШГ наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Результати випробувань концентрованого полімербітумного в'язучого з модифікатором ТДВ (3%) на основі ПЕНТ:ЕПДМ:ПШГ складу 40:35:25 (мас.%).

Тривалість модифікації, год	Температура розм'якшення, °С	Дуктильність, см	Пенетрація при 25 °С	Еластичність, %
0 (вихідний бітум)	48,5	61	75	0
Вимоги ДСТУ 4044	47 - 53	не менше 55	від 61 до 90	-
11	59,2	6,87	38	22,46
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135:2014	не менше 57	не менше 12	40-60	не менше 55

Аналіз результатів випробувань показав, що отримане полімербітумне в'язуче задовольняє вимогам ДСТУ лише по показнику «температура розм'якшення». Тому було прийнято рішення зменшити концентрацію добавки ТДВ на основі ПЕНТ:ЕПДМ:ПШГ до 1,5%, а також, зважаючи на тривалий час розчинення добавки, прийнято рішення спочатку вводити модифікатор в невелику кількість бітуму при робочій температурі та механічно його розтирати і потім концентрований розчин вводити в основну кількість бітуму та далі виконувати модифікацію в лабораторній мішалці.

Варто зазначити, що після попереднього механічного розтирання та модифікації протягом 6 годин полімербітумне в'язуче проціджували через сито № 0,07 та виявили нерозчинені частки. А це свідчить про наявність у складі даної

добавки тугоплавкого або малорозчинного при температурі приготування полімербітумного в'язучого компонента.

Результати випробувань отриманого ПБВ наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 - Результати повторних випробувань концентрованого полімербітумного в'язучого з модифікатором ТДВ (1,5%) на основі ПЕНТ:ЕПДМ:ПШГ складу 40:35:25 (мас.%).

Час модифікації, год	Температура розм'якшення, °C	Дуктильність, см	Пенетрація при 25 °C	Еластичність, %
0 (вихідний бітум)	48,5	61	75	0
Вимоги ДСТУ 4044	47 - 53	не менше 55	від 61 до 90	-
Концентрований розчин	54,8	12	44	24,5
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135:2014	не менше 57	не менше 12	40-60	не менше 55

Результати випробувань показали, що отримане ПБВ задовольняє вимогам ДСТУ за показниками «дуктильність» і «пенетрація», а за показником «температура розм'якшення» - не задовольняє.

Приготування ПБВ з 1,5 % модифікатора ТДВ на основі УМПС:ЕВА:СБС:ПШГ виконували за аналогічною схемою (як і з модифікатором ТДВ на основі ПЕНТ:ЕПДМ:ПШГ – 1,5 %). Час модифікації склав 10 годин.

Результати випробувань отриманого ПБВ наведені в таблиці 5.

Таблиця 5 - Результати випробувань концентрованого полімербітумного в'язучого з модифікатором ТДВ (1,5%) на основі УМПС:ЕВА:СБС:ПШГ=25:5:12:70 (мас.%)

Тривалість модифікації, год	Температура розм'якшення, °C	Дуктильність, см	Пенетрація при 25 °C	Еластичність, %
0 (вихідний бітум)	49,5	61,7	79	0
10	54,5	8,8	45	28,12
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135:2014	не менше 57	не менше 12	40-60	не менше 55

Як і в попередніх випадках при проціджуванні через сито № 0,07 полімербітумного в'язучого, модифікованого 1,5% ТДВ на основі УМПС:ЕВА:СБС:ППГ було виявлено нерозчинний залишок.

Приготування ПБВ з 3 % модифікаторів УМПС і АБС і (окремо з кожним) здійснювали таким чином. Спочатку вводили модифікатор в невелику кількість бітуму при робочій температурі та механічно його розтирали. Спроба механічного розтирання показала, що добавки ПС і АБС майже не піддаються розтиранню, випадають в осад та мають високу температуру плавлення. У результаті було прийнято рішення випробовувати концентрований розчин, в якому розтирали добавку, попередньо процідивши через сито № 0,07.

Результати випробувань концентрованого розчину полімербітумного в'язучого з модифікаторами УМПС і АБС наведені в таблиці 6.

Таблиця 6 - Результати випробувань концентрованого полімербітумного в'язучого з модифікаторами УМПС і АБС

Тривалість модифікації, год	Температура розмякшення, °С	Дуктильність, см	Пенетрація при 25 °С
0 (вихідний бітум)	48,5	61	75
Вимоги ДСТУ 4044	47 - 53	не менше 55	від 61 до 90
Концентрований розчин з ПС	54,8	—	52
Концентрований розчин з АБС	51	—	52
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135:2014	не менше 57	не менше 12	40-60

Аналіз результатів випробувань концентрованих розчинів полімербітумного в'язучого, з добавками УМПС і АБС (окремо) показав тенденцію впливу проведених заходів на зміну «температури розм'якшення» (зростання) та на зміну «пенетрації» (зменшення).

Як загальний висновок проведених досліджень можна відмітити, що надані добавки впливають на показники властивостей бітуму і потребують подальшого дослідження після коригування їх складу з метою зменшення компонентів, що мають зависоку температуру плавлення та не повністю розчиняються.

УДК 539.3

Шевчук Л.В., канд. техн. наук, **Ващіліна О.В.**, канд. фіз.-мат. наук,
Баран С.А.

ВПЛИВ РОЗШАРУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДОРОЖНОГО ПОКРИТТЯ НА ЙОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН

Анотація. Поставлена задача про визначення впливу розшарування конструкції неоднорідного дорожнього покриття на розподіл в ньому полів напружень і деформацій під дією транспортних навантажень. Побудована скінченно-елементна модель пружної деформації масиву, виконаний комп'ютерний аналіз системи. Показано, що в конструкції без розшарування найнебезпечніші для покриття напруження розтягу локалізуються у нижніх зонах другого шару, в той час як максимальні значення напружень зсуву мають місце в першому шарі в околі прикладання вертикальних сил. При розшаруванні конструкції напруження розтягу зміщуються до нижніх волокон першого шару і набувають великих значень.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетонне покриття, розшарування, пляма навантаження, поле напружень.

Аннотация. Поставлена задача об определении влияния расслоения конструкции неоднородного дорожного покрытия на распределение в нем полей напряжений и деформаций под действием транспортных нагрузок. Построена конечно-элементная модель упругого равновесия массива, выполнен компьютерный анализ системы. Показано, что в конструкции без расслоения наиболее опасные для покрытия напряжения растяжения локализуются в нижних зонах второго слоя, в то время как максимальные значения напряжений сдвига имеют место в первом слое в окрестности приложения вертикальных сил. При расслоении конструкции напряжения растяжения смещаются к нижним волокнам первого слоя и приобретают большие значения.

Ключевые слова: автомобильная дорога, асфальтобетонное покрытие, расслоение, пятно нагрузки, поле напряжений.

Abstract. The problem on analysis of stress-strain states of a layered road massif with delaminated zones under action of transport loads is formulated. The finite element

model of the elastic massif equilibrium is constructed, the computer analysis of the system is performed. It is demonstrated that in the initial structure the most dangerous tensile stresses are localized in the lower zones of the second layer, while the maximal values of the shear stresses take place in the first layer in the vicinity of the external load application. The structure delamination leads to enlargement of tensile stresses which are the most dangerous for the asphalt material.

Keywords: automobile road, asphalt-concrete coating, delamination, transport loads.

Вступ

Розшарування асфальтобетонного покриття автомобільних доріг, викликане низькими температурами і дією транспортних навантажень, є однією з основних причин їх передчасного руйнування. У процесі експлуатації дороги наявність розшарування призводить до несної здатності монолітних шарів, а також і до проникнення через неї вологи в конструкцію дорожнього одягу і ґрунтове полотно. Моделювання напружено-деформованого стану дозволить оцінити вірогідність утворення розшарування, сприяти їх прогнозуванню та зниженню рівня негативного впливу на міцність і довговічність системи.

Зазначені ефекти давно привертали увагу вчених і фахівців-дорожників, тому явище утворення тріщин стало предметом їхніх багаторічних досліджень. Так, починаючи ще з 50-60-х років минулого століття, тривають як теоретичні, так і експериментальні роботи, спрямовані на вивчення проблем розшарування асфальтобетонного покриття автомобільних доріг. Тим не менш, саме фізичне явище, при виникненні якого має місце розшарування дорожнього асфальтобетонного покриття, до сих пір не вивчено повністю. Як зазначено в роботі [1], основними причинами, що викликають утворення тріщин, є низькотемпературний вплив і деформаційні ефекти, спричинені дією статичних і динамічних транспортних навантажень. Чисто механічні погляди на процес виникнення тріщин не дали переконливого пояснення багатьом практично важливим особливостям поведінки конструкції дорожнього одягу під час експлуатації.

Відповіді на деякі з цих питань подані в роботах [1, 2].

Суттєво складним є також питання аналізу утворення розшарування на асфальтобетонному покритті під дією транспортних навантажень. Ця складність зумовлена тим, що асфальтобетони проявляють властивості в'язкопружних

матеріалів, тому аналіз їх деформування повинен здійснюватися з урахуванням досить складних реологічних процесів релаксації та повзучості, а навантаження від транспортних засобів викликають в багат шаровому масиві конструкції дороги тривимірний напружено-деформований стан з суттєвими градієнтами стискаючих, розтягуючих та зсувних напружень. Необхідно також врахувати, що асфальтобетон по-різному чинить опір цим видам напружень і особливо їх комбінації. Так, якщо його міцність при стисненні порівняно велика, то при розтягуванні та зсуві вона є значно меншою і до того ж суттєво залежить від температури.

Не менш актуальним є вивчення питання міцності асфальтобетонних шарів під дією дотичних напружень, оскільки в реальних умовах вони досить слабо чинять опір зсуву. Причому здатності чинити опір цим діям сприяють додаткові об'ємні стискаючі напруження в розглянутій зоні і зменшують напруження розтягу.

З огляду на ці обставини, можна спробувати встановити деякі найбільш загальні особливості і тенденції настання граничних напружено-деформованих станів конструкцій дорожнього одягу, як шаруватих масивів дороги, методами тривимірної теорії пружності, визначаючи зони з найбільшими розтягуючими та зсувними напруженнями і аналізуючи умови, при яких мають місце їхні найбільш несприятливі комбінації.

Постановка задачі

Проаналізуємо вплив розшарування конструкції одягу на характер перерозподілу в ній полів напружень. Дослідимо характер розподілу зон розтягуючих і зсувних напружень під колесами великовантажного автомобіля (рис.1) з метою аналізу впливу накладення полів напружень в залежності від міжосьових відстаней « a » і « b » і відстаней між колесами « c » і « d ». Будемо вважати, що відповідно до загальноприйнятої методики [1] і результатів натурних спостережень пляма від контакту колеса з поверхнею дорожнього покриття (рис.2) являє собою прямокутник, ширина « e » якого визначається конструкцією колеса і не змінюється зі зміною навантаження на колесо, а висота « f » залежить від цього навантаження.

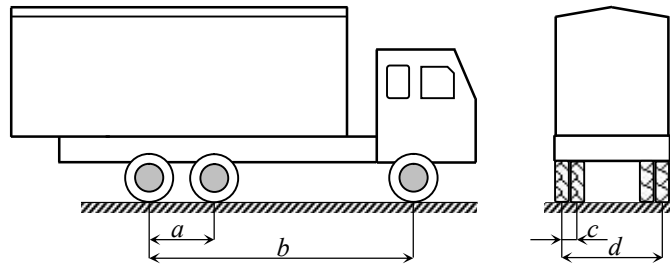


Рисунок 1 – Геометрична схема розташування коліс трьохвісного автомобіля

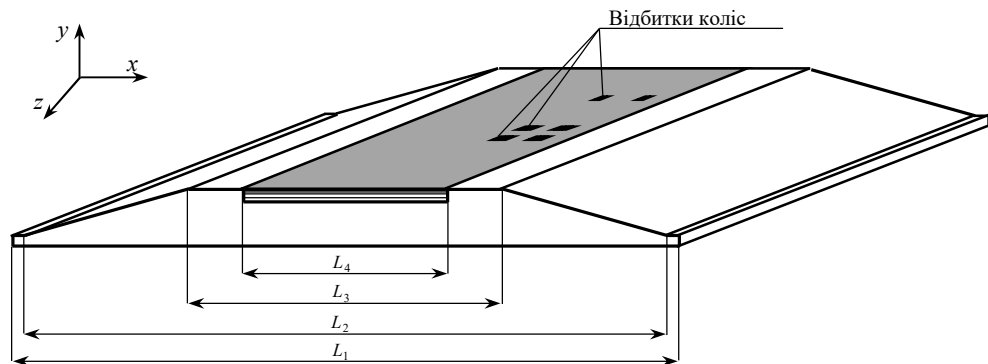


Рисунок 2 – Конструктивна схема дорожнього масиву

Дослідження напружено-деформованого стану системи проводиться на основі рівнянь теорії пружності методом скінченних елементів. Об'ємними силами будемо нехтувати. В цьому випадку рівняння рівноваги елемента описується рівняннями [3-6]

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Тут σ_x , σ_y , σ_z – відповідні нормальні напруження, τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx} – дотичні напруження.

Вони обчислюються за допомогою рівностей

$$\begin{aligned}\sigma_i &= \lambda \Delta + 2G \varepsilon_i, \\ \tau_{ij} &= \tau_{ji} = G \gamma_{ij} = G \gamma_{ji},\end{aligned}\tag{2}$$

де λ і G – сталі Ламе, які виражаються через модуль пружності E і коефіцієнт Пуассона ν формулами

$$\lambda = \frac{\mu E}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)},$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$
(3)

Використовувані в рівностях (2) символи

$$\Delta = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z},$$

$$\gamma_{ij} = \frac{\partial u_j}{\partial i} + \frac{\partial u_i}{\partial j},$$

$$\varepsilon_i = \frac{\partial u_j}{\partial i}.$$
(4)

де $i, j = x, y, z$.

Після скінченно-елементної дискретизації система (1) – (4) зводиться до скінченно-елементної системи лінійних алгебраїчних рівнянь [3, 4]

$$[K_u]\{u\} = \{q\}.$$
(5)

Тут $[K_u]$ – матриця жорсткості для скінченно-елементної моделі (рис.3) всього пружного масиву, $\{u\}$ – вектор вузлових переміщень, $\{q\}$ – вектор навантаження.

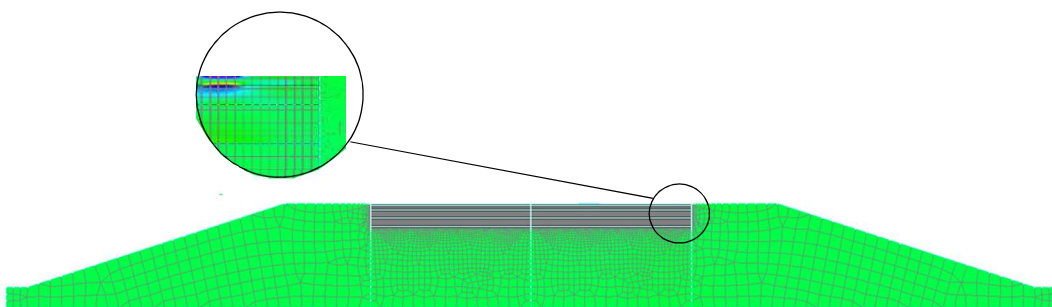


Рисунок 3 – Скінченно-елементна модель перерізу дорожнього масиву

В результаті її розв’язання підраховуються значення переміщень, деформацій і напружень у відповідних вузлах і елементах скінченно-елементної решітки.

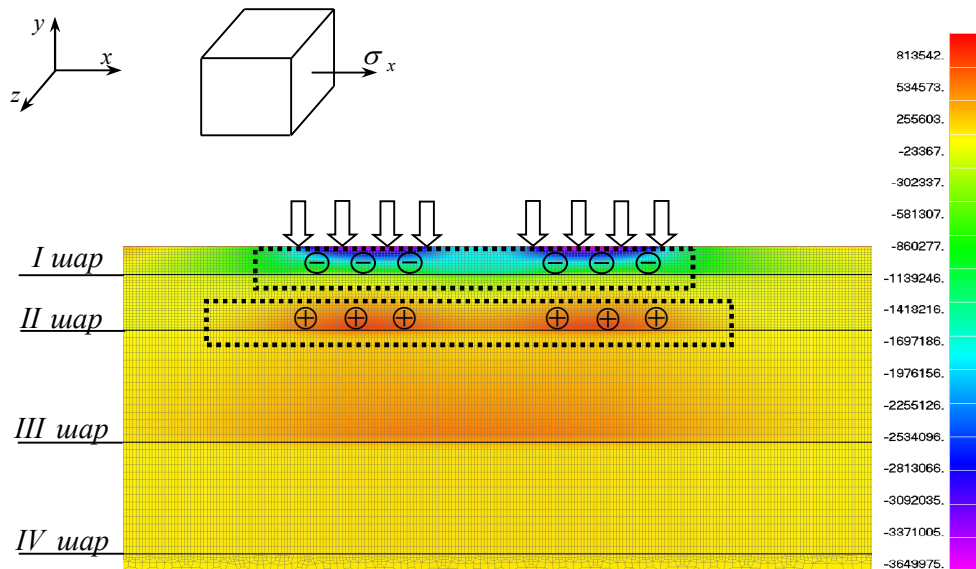


Рисунок 4 – Поле напружень σ_x у перерізі дорожнього покриття

На початку розглядається випадок коли між першим і другим шаром має місце повне зчеплення на всій площині їх контакту. На рис.4 представлено поле напружень σ_x , орієнтація яких показана на кубіку в лівому верхньому куті. Обчислення свідчать, що найбільші напруження σ_x мають місце в верхніх волокнах першого шару і вони являються стискаючими (від'ємними). Зони цих напружень виділені прямокутним контуром. В ньому $\sigma_{x, \max} = -3649$ кПа. При цьому в нижніх волокнах другого шару досягаються максимальні розтягуючі напруження, які однак, по модулю суттєво менші за стискаючі і дорівнюють $\sigma_{x, \max} = 813$ кПа.

Розшарування конструкції між першим і другим шарами приводить до суттєвої перебудови полів напружень σ_x . Було прийнято, що ширина зони розшарування складає 2,9 м і знаходиться під плямами контакту коліс з дорогою. На рис.5 ширина ділянки розшарування відповідає ширині представленого фрагменту. В цьому випадку напруження стиску в верхніх волокнах першого шару дещо зменшилися і дорівнюють $\sigma_{x, \max} = -238$ кПа. Однак при цьому суттєво зросли напруження розтягу, які перемістилися від нижніх волокон другого шару до нижніх волокон першого шару і стали рівними $\sigma_{x, \max} = 2125$ кПа. На рис. 5 ці зони виділені відповідними прямокутниками. Відзначимо, що другий випадок є більш небезпечним, оскільки тут зросли напруження розтягу, які пов'язані з меншою міцністю асфальтобетону.

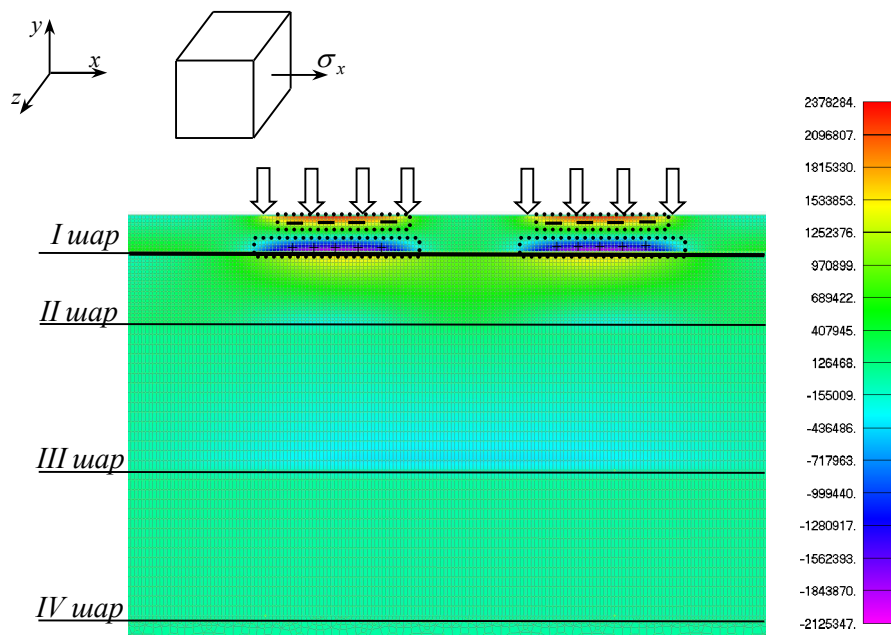


Рисунок 5 – Поле напружень σ_x у перерізі дорожнього покриття з розшаруванням

На рис.6 і 7 показані поля дотичних напружень τ_{xy} , які відповідають відповідним випадкам. Можна бачити, що в площині контакту першого і другого шарів конструкції з розшаруванням ці напруження рівні нулю. Проте в інших зонах ці напруження зросли. Наприклад в першому випадку (рис.6) $\tau_{xy, \max} = 511$ кПа, в другому (рис.7) $\tau_{xy, \max} = 625$ кПа.

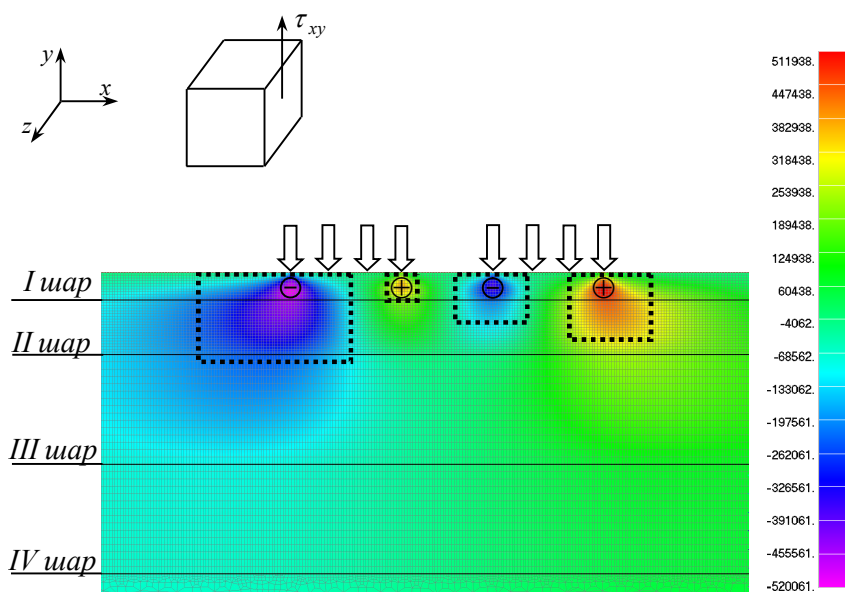


Рисунок 6 – Поле розподілу дотичних напружень τ_{xy}

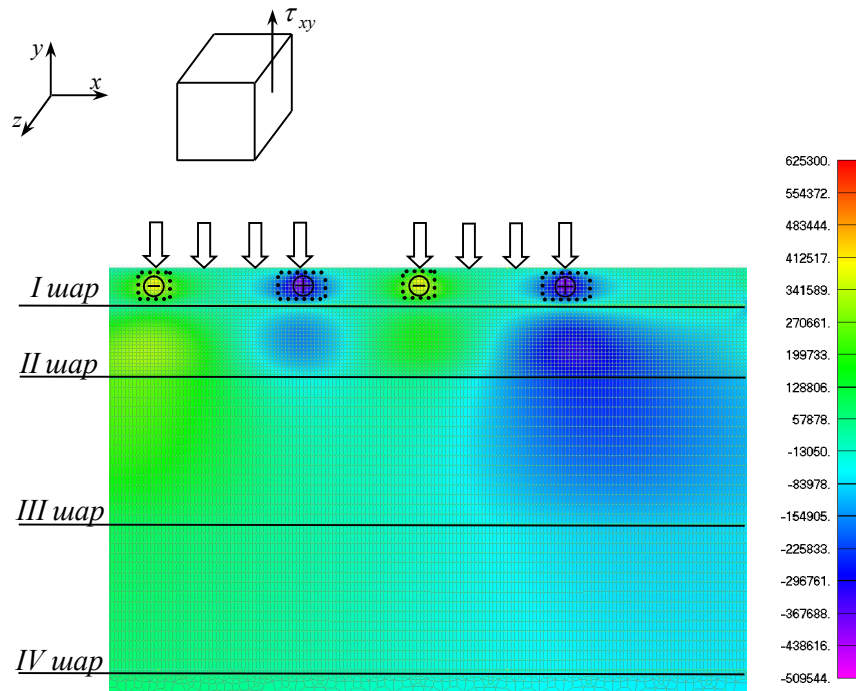


Рисунок 7 – Поле розподілу дотичних напружень τ_{xy} в покритті з розшаруванням

Наприкінці зазначимо, що як впливає з результатів розрахунку розшарування дорожнього покриття між першим і другим шаром приводить до помітного збільшення як дотичних, так і нормальних розтягуючих напружень, що є найбільш небезпечним для асфальтобетонних матеріалів.

Перелік посилань

1. Radovsky B. Ways to reduce low-temperature cracking of asphalt pavements / B. Radovsky, V. Mozgovoj // 4-th Eurobitum Symposium. Summaries and papers. Madrid, 4-9 Oct. 1989. Vol. 1. – P. 571-575.
2. Мозговой В.В. Повышение гидроизоляционной способности асфальтобетонного покрытия / В.В. Мозговой // Проблемы механики и строительства транспортных сооружений: Труды II Международной научно-практической конференции. - Алматы. – 2015. – С. 54-60.
3. Гуляев В.І. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу / В.І. Гуляев, В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – №1. – С. 6-12.

4. Гайдайчук В.В. Чисельне моделювання термонапруженого стану шаруватого покриття автомобільної дороги / В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 98 – С. 56-71.

5. Гуляєв В.І. Деякі закономірності термопружного деформування асфальтобетонного покриття дороги/ В.І. Гуляєв, В.В. Мозговий, В.В. Гайдайчук, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук// Вісник НТУ. – 2017. Вип.37. С. 80-92.

6. Мозговий В.В. Аналіз термопружних процесів в асфальтобетонних шарах автомобільних доріг / В.В. Мозговий, В.В. Гайдайчук, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук, С.А. Баран, О.М. Куцман, В.М. Бондар // Вісник Одеської державної академії будівництва і архітектури. – 2017. – Вип. 67. – С. 96-103.

БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ І АЕРОДРОМІВ

УДК 625.7/.8

Бубела А.В., канд. техн. наук

ВПЛИВ ДОРОЖНІХ УМОВ НА ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ СТАН АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Анотація. Дорожні умови суттєво впливають на технічний стан, безпеку руху і, відповідно, на вартісну оцінку ділянки автомобільної дороги. Існуюча нормативна база з ремонтних робіт, будівництва та реконструкції, висуває підвищені вимоги щодо поліпшення транспортно-експлуатаційного стану і вимагає розробки окремих проектів, складання кошторисів на їх виконання.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортно-експлуатаційний стан, кошторис.

Abstract. Road conditions significantly affect the technical condition, traffic safety and, accordingly, the monetary value of the road section. The existing regulatory framework on repairs, construction and reconstruction, puts forward higher requirements for the improvement of transport and of the operational status and requires the development of individual projects, budgeting for their execution.

Key words: highway, transport and operational condition, estimate.

Збільшення кількісного складу автомобільного парку, зростання вантажопідйомності і швидкості руху автомобілів обумовлюють необхідність поліпшення дорожніх умов практично всієї мережі автомобільних доріг України. В даний час експлуатуються автомобільні дороги побудовані за старими нормативами, тому виникає гостра потреба в проведенні вартісної оцінки

автомобільної дороги з урахуванням їх експлуатаційного стану, а також у встановленні придатності тих чи інших окремих ділянок доріг для експлуатації з урахуванням безпечного руху.

Для оцінки якостей автомобільної дороги використовують групи перемінних за часом показників, що характеризують транспортну роботу дороги, техніко-експлуатаційні властивості дорожнього одягу і земляного полотна, загальний стан дороги і умови руху, ефективність роботи дороги.

Для оцінки транспортно-експлуатаційного стану доріг використовують комбіновані методи оцінки. Такі методи дозволяють оцінити дорогу і як інженерну, і як інженерно-транспортну споруду, що забезпечує зручний та безпечний рух транспортних засобів з високими швидкостями і дозволеними навантаженнями. Оцінку транспортно-експлуатаційних показників дороги виконують в осінньо-весняний період року з використанням двох критеріїв – показника якості і стану дороги та коефіцієнта забезпечення розрахункової швидкості руху. Для покращення транспортно-експлуатаційних якостей дороги треба систематично вивчати її стан, режими руху транспортних засобів, регулярно проводити паспортизацію та інвентаризацію доріг.

Відхилення розмірів геометричних елементів, які допущені при будівництві автомобільних доріг, істотно збільшуються в процесі їх експлуатації. Основним з таких елементів є ширина проїзної частини, узбіч, розподільчої смуги і т.і. Фактична ширина побудованих, і особливо, доріг, що експлуатуються, суттєво відрізняється від проектних розмірів, і ці відхилення, як правило, перевищують допустимі значення. Мають місце відхилення фактичних поперечних ухилів проїзної частини від проектних, а також несиметричні ухили. Зменшення ухилів або їх відсутність призводить до застою води біля дороги, що викликає руйнування земляного полотна і дорожнього покриття. Нерівності покриття в процесі експлуатації збільшуються як під впливом поштовхів коліс автомобілів, так і від нерівномірного зволоження земляного полотна та основи. Фактичний стан покриття, з точки зору забезпечення його рівності, у багатьох випадках є незадовільним, оскільки перевищує допустимі норми. Неприпустимим також є наявність на дорогах вибоїн і інших деформацій, руйнувань. Як відомо, від ширини проїзної частини, її рівності, поздовжніх і поперечних ухилів залежить швидкість руху, а отже, пропускна здатність автомобільних доріг. У разі

руйнування кромки проїзної частини зменшується її ефективна ширина, що також є причиною зменшення швидкості руху транспортних засобів.

Дуже складним є рух автомобіля на кривих ділянках дороги. На таких ділянках виникають бокові сили, що діють на верхній шар дорожнього покриття та впливають на стійкість автомобіля. Таким чином, рух автомобіля супроводжується дією на покриття системи сил, різних за напрямом і величиною. Велике значення має рівність дорожнього покриття, вона дозволяє знизити негативну дію автомобіля на дорогу. Наявність нерівностей на дорозі викликає ударну дію шини колеса на покриття, що негативно впливає на дорогу, автомобіль, водія та транспортну роботу загалом.

Об'єктивне оцінювання реальних дорожніх умов забезпечує ефективні проектні рішення щодо реконструкції доріг, та планових поточних заходів щодо їх ремонту і підвищення безпеки руху. Такі оцінювання ґрунтуються на аналізі закономірностей руху одиночних автомобілів, транспортних потоків, пропускної здатності дороги, на результатах дослідження причин аварійності і погіршення умов праці водіїв. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг визначаються швидкістю і собівартістю перевезень, безпекою і зручністю проїзду дорогою, її пропускною здатністю. Перелічені якості неможливо виразити одним узагальненим показником. Тому під час оцінювання якості дороги або її окремих ділянок потрібно користуватися методами, які визначають вказані властивості. Ці самі показники слід використовувати під час оцінювання варіантних рішень і розробки заходів, спрямованих на підвищення транспортно-експлуатаційних якостей дороги. Досить надійно оцінюють стан дороги за допомогою таких показників, як швидкість руху, пропускна здатність, безпека руху, рівність і слизькість дорожнього покриття. На основі цих показників будують графіки пропускної здатності дороги, коефіцієнтів аварійності, коефіцієнтів безпеки, коефіцієнтів рівності і коефіцієнтів зчеплення коліс автомобіля з покриттям. За графіками виявляють ділянки можливих заторів і місць ДТП, оцінюють економічність і зручність руху, визначають заходи щодо поліпшення умов руху транспортних засобів на автомобільній дорозі або на окремих найбільш небезпечних її ділянках.

Стан покриття, а також геометричні елементи істотно впливають на безпеку руху і зміну дорожніх умов, що відповідно обумовлює зміну вартості ділянок автомобільних доріг. Наявність нерівностей, і пов'язане з ними зниження

швидкості, збільшують витрату палива на перевезення вантажів і пасажирів на 30 – 35% [1, 2]. Натурні дослідження свідчать про те, що часто фактична вісь дороги на кривих не збігається з проектною. Замість кругових і перехідних кривих мають місце ламані лінії. Порушення в дотриманні проектних розмірів автомобільної дороги погіршують її архітектурно-ландшафтну привабливість. Таким чином, транспортно-експлуатаційний стан дороги є визначальним фактором ефективної роботи як автомобільної дороги, так і транспортних засобів. Крім транспортно-експлуатаційних показників на вартість дороги впливають і організаційні заходи щодо удосконалення умов дорожнього руху. Всі види організаційних робіт і технічних заходів спрямовані на поліпшення транспортно-експлуатаційного стану і умов дорожнього руху, що потребує розробки окремих проектів і складання кошторисів на їх виконання. Для прискореної оцінки змісту доріг можна використовувати кваліметричну модель, за якою оцінюються стан ділянки дороги і споруд на ній.[3]

Капітальний ремонт – одна з форм поліпшення стану об'єкта в процесі його експлуатації. Слід зазначити, що таку форму вдосконалення об'єктів в дорожньому будівництві використовують досить рідко, в зв'язку з відсутністю належного фінансування в Україні, але це не означає, що вона відсутня. Проект реконструкції магістральних автомобільних доріг передбачає зміни технічних параметрів об'єктів в майбутньому. Перш за все для цих об'єктів потрібно забезпечити відведення землі, що враховується на стадії розробки проекту відповідно до перспектив розвитку транспортних споруд. У дорожньому будівництві при реконструкції того чи іншого об'єкта передбачається збільшення кількості смуг руху автомобільної дороги, зменшення поздовжніх ухилів, будівництво дорожніх розв'язок в різних рівнях, будівництво споруд дорожньої і автотранспортної служб і т.д.

Технічне переоснащення, ремонтні роботи та реконструкція передбачають вдосконалення технічних параметрів на основі використання нових науково-технічних розробок, винаходів і раціоналізаторських пропозицій для окремих споруд, окремих елементів дороги або її ділянок. Це можуть бути влаштування додаткових смуг проїзної частини на підйомах доріг, освітлення і телефонізація уздовж доріг, пристрої для управління дорожнім рухом, шумозахисні споруди і т.д.

З метою розвитку мережі автомобільних доріг України можуть виконуватися роботи з будівництва нових доріг, як за рахунок коштів державного бюджету, так і концесійного будівництва. При залученні коштів концесіонерів виникає необхідність будівництва обхідних ділянок автомобільних доріг, а також доріг-дублерів з розширенням сервісних служб.

Висновок. Сучасний стан мережі автомобільних доріг України та дорожніх умов для забезпечення ефективної роботи автомобільної дороги і транспортних засобів вимагають істотного поліпшення транспортно-експлуатаційних показників, умов безпечності руху і будуть суттєво впливати на проведення вартісної оцінки об'єктів транспортного будівництва.

Перелік посилань

1. Сильянова В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. В. Сильянова, Э. Р. Домке. - 3-е изд., стер. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 352 с.
2. Савенко В.Я. Транспортно-експлуатаційні властивості автомобільних доріг: навчальний посібник / В.Я. Савенко, В.В. Губа. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 229 с.
3. Сиденко В.М. Управление качеством в дорожном строительстве./ Сиденко В.М., Рокас С.Ю. – М.:Транспорт. 1981. – 252 с.

УДК 625.7/.8

Гайдайчук В.В., д. техн. наук, **Заєць Ю.О.**, канд. техн. наук

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ НА ЙОГО НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПІД ДІЄЮ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Анотація. Досліджується ефект перебудови полів напружень в несучих шарах дорожнього покриття під дією транспортних навантажень. Розглянуто випадок варіації параметрів пружності різних фрагментів шаруватої структури. Побудована скінчено-елементна модель пружної рівноваги масиву, виконаний комп'ютерний аналіз системи. Показано, що найбільш небезпечні для покриття напруження розтягу локалізуються в нижніх зонах другого шару, водночас як максимальні значення напружень зсуву мають місце в першому шарі в околі прикладання вертикальних сил. Обговорюються питання міцності системи.

Ключові слова: шаруватий дорожній одяг, параметри пружності, транспортні навантаження, напружено-деформований стан.

Abstract. The effect of the stress fields redistribution in the carrying layers of the road coating under action of transport loads is investigated. The case of elasticity parameters varying in different fragments of the layer structure is considered. The finite element model of the elastic massif equilibrium is constructed, the computer analysis of the system is performed. It is demonstrated that the most dangerous tensile stresses are localized in the lower zones of the second layer, while the maximal values of the shear stresses take place in the first layer in the vicinity of the external load application. The question of the strength of the system are discussed.

Keywords: layered road wear parameters of elasticity, transport loads, stress-strain state.

Сучасна тенденція збільшення інтенсивності руху транспортних засобів, зростання кількості великовантажних автомобілів із збільшеною кількістю осей, загальною вантажопідйомністю, підвищеним тиском у пневматиках та

невідповідність існуючої мережі автомобільних доріг України таким навантаженням, призвело до розтріскування асфальтобетонного покриття та його передчасного руйнування. У процесі подальшої експлуатації дороги наявність тріщини призводить до несної здатності монолітних шарів, а також і до проникнення через неї вологи в конструкцію дорожнього одягу і ґрунтове полотно. Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу дозволить оцінити вірогідність утворення тріщин, сприяти їх прогнозуванню та зниженню рівня негативного впливу на міцність і довговічність системи.

Зазначені ефекти давно привертали увагу вчених і фахівців-дорожників, тому явище утворення тріщин стало предметом їхніх багаторічних досліджень. Так, починаючи ще з 50-60-х років минулого століття, тривають як теоретичні, так і експериментальні роботи, спрямовані на вивчення проблем розтріскування асфальтобетонного покриття автомобільних доріг. Тим не менш, саме фізичне явище, при виникненні якого має місце розтріскування дорожнього асфальтобетонного покриття, до сих пір не вивчено повністю. Як зазначено в роботі [5], основними причинами, що викликають утворення тріщин, є низькотемпературний вплив і деформаційні ефекти, спричинені дією статичних і динамічних транспортних навантажень. Чисто механічні погляди на процес виникнення тріщин не дали переконливого пояснення багатьом практично важливим особливостям поведінки конструкції дорожнього одягу під час експлуатації.

Одним із основних питань у проблемі руйнування дорожнього покриття є питання аналізу утворення тріщин на асфальтобетонному покритті під дією транспортних навантажень [1, 2]. Складність цього питання зумовлена тим, що асфальтобетони проявляють властивості в'язкопружних матеріалів, тому аналіз їх деформування повинен здійснюватися з урахуванням досить складних реологічних процесів релаксації та повзучості, а навантаження від транспортних засобів викликають в багатошаровому масиві конструкції дороги тривимірний напружено-деформований стан з суттєвими градієнтами стискаючих, розтягуючих та зсувних напружень. Необхідно також врахувати, що асфальтобетон по-різному чинить опір цим видам напружень і особливо їх комбінації. Так, якщо його міцність при стисненні порівняно велика, то при розтягуванні та зсуві вона є значно меншою і до того ж суттєво залежить від

температури. На рис.1 представлені, отримані експериментально [4], графіки нормальних напружень розриву $\sigma_{міц}$ та зсувних напружень $\tau_{міц}$ асфальтобетону в залежності від температури.

Не менш актуальним є вивчення питання міцності асфальтобетонних шарів під дією дотичних напружень, оскільки в реальних умовах вони досить слабо чинять опір зсуву. Причому здатності чинити опір цим діям сприяють додаткові об'ємні стискаючі напруження в розглянутій зоні і зменшують напруження розтягу.

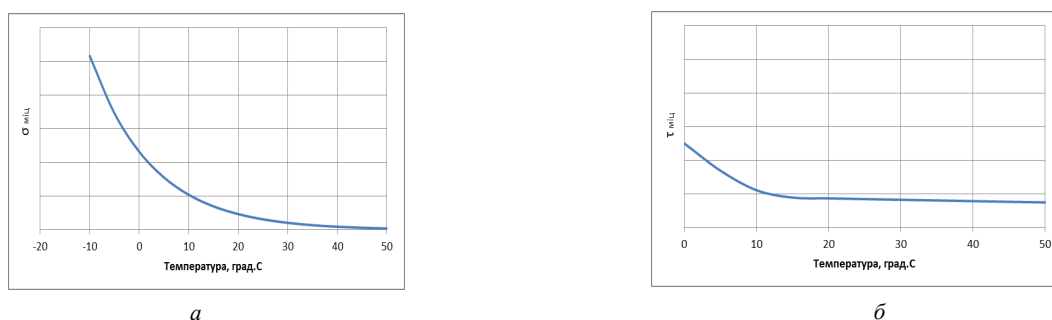


Рисунок 1 – Значення граничних напружень розтягу $\sigma_{міц}$ (а) і зсувних напружень $\tau_{міц}$ (б) для асфальтобетонних матеріалів

З огляду на ці обставини, можна спробувати встановити деякі найбільш загальні особливості і тенденції настання граничних напружено-деформованих станів конструкцій дорожнього одягу, як шаруватих масивів дороги, методами тривимірної теорії пружності, визначаючи зони з найбільшими розтягуючими та зсувними напруженнями і аналізуючи умови, при яких мають місце їхні найбільш несприятливі комбінації.

Сформулюємо задачу про визначення напружено-деформованого стану конструкції дороги під дією транспортних навантажень. Будемо вважати, що відповідно до загальноприйнятої методики [5] і результатів натурних спостережень пляма від контакту колеса з поверхнею дорожнього покриття являє собою прямокутник (рис.2), ширина « e » якого визначається конструкцією колеса і не змінюється зі зміною навантаження на колесо, а висота « f » залежить від цього навантаження так, що рівнодіюча P контактного тиску « p » дорівнює силі, що діє на колесо, тобто

$$P = p \cdot e \cdot f \quad (1)$$

Тут p – тиск в пневматиці.

Приймемо, що P і p відомі, тоді висота « f » плями визначається рівністю

$$f = P / (p \cdot e). \quad (2)$$

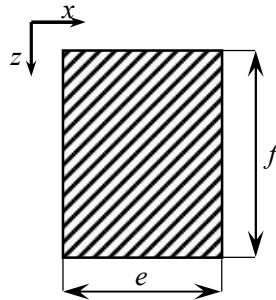


Рисунок 2 – Схема плями контакту між колісним пневматиком і поверхнею покриття

Представлена задача є тривимірною. Для її розв’язання необхідно площинами $x = const$, $y = const$, $z = const$ виділити із загального неоднорідного шаруватого масиву прямокутний паралелепіпед і, задавши відповідні граничні умови на відповідних граничних площинах, розв’язати відповідні рівняння теорії пружності чисельним методом.

При побудові цих рівнянь врахуємо, що швидкості поширення хвиль пружних деформацій в масиві, що розглядається, (складові сотні метрів в секунду) набагато перевищують швидкості руху автомобілів. Тому навантаження від сил тяжіння рухомого транспортного засобу можна вважати квазістатичним і задачу формулювати в статичній постановці.

Вважаємо, що конструкція дороги складається з чотирьох шарів, що лежать на ґрунтовій основі. Надамо їм номери 1-4 в порядку слідування зверху вниз, номер 5 присвоїмо ґрунтовій основі.

Тоді в межах кожного фрагменту 1-5 дороги задовольняються рівняння пружної рівноваги [4]

$$\mu \nabla^2 \vec{u} + (\lambda + \mu) \text{grad} \text{ div } \vec{u} = 0. \quad (3)$$

Тут λ і μ – параметри Ляме. Вони виражаються через модуль пружності E і коефіцієнт Пуассона за допомогою співвідношень

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}.$$

На вільних площинах шару 1 і ґрунтовому масиві задані умови рівності нулю нормальних і дотичних напружень

$$\sigma_y = 0, \quad \tau_{yx} = \tau_{yz} = 0. \quad (4)$$

У межах плями контактної взаємодії напруження σ_y дорівнює тиску p в пневматиці, тому

$$\sigma_y = -p. \quad (5)$$

На площинах зчленування суміжних шарів, а також четвертого шару з ґрунтовою основою задавалися умови неперервності переміщень

$$u_{i-1} = u_i, \quad v_{i-1} = v_i, \quad w_{i-1} = w_i \quad (i=2,3,4,5). \quad (6)$$



Рисунок 3 – Схема поперечного перерізу конструкції дорожнього покриття

Для розв'язання задачі був використаний метод скінченних елементів. При цьому виділений для розрахунків шаруватий масив розбивався на тривимірні

скінченні елементи (рис.4) і система диференціальних рівнянь замінювалася системою алгебраїчних скінченно-елементних рівнянь

$$[K_u]\{u\} = \{q\}, \quad (7)$$

сформованих з урахуванням граничних рівнянь (4) – (6).

Тут $[K_u]$ – матриця жорсткості для скінченно-елементної моделі всього пружного масиву,

$\{u\}$ – вектор вузлових переміщень,

$\{q\}$ – вектор навантаження.

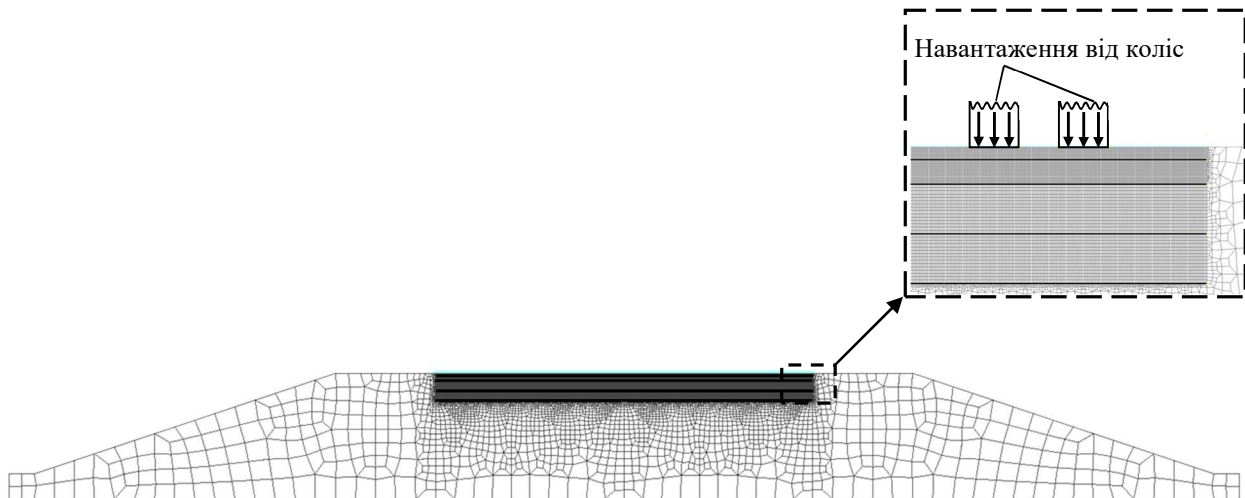


Рисунок 4 – Скінченно-елементна модель перерізу дорожнього масиву з навантаженням

В результаті розв'язання цієї системи обчислювалися деформації у всіх вузлах скінченно-елементної моделі і будувалися поля напружень.

Для порівняльного аналізу обрано дві чотиришарові конструкції дорожнього покриття з габаритними розмірами $L_1=245$ м, $L_2=23,5$ м, $L_3=11,5$ м, $L_4=7,5$ м. Матеріали шарів, їх товщини і механічні властивості обрані наступними: для першої моделі шар 1 – асфальтобетон дрібнозернистий, $h=0,05$ м, $E=5 \cdot 10^9$ Па, $\nu=0,2$; шар 2 – асфальтобетон пористий крупнозернистий, $h=0,1$ м, $E=1,4 \cdot 10^9$ Па, $\nu=0,25$; шар 3 – щебінь, $h=0,2$ м, $E=0,4 \cdot 10^9$ Па, $\nu=0,3$; шар 4 – пісок, $h=0,2$ м, $E=0,1 \cdot 10^9$ Па, $\nu=0,3$; ґрунт – $h=2,5$ м, $E=0,1 \cdot 10^9$ Па, $\nu=0,35$; для другої моделі шар 1 – асфальтобетон

дрібнозернистий, $h=0,05$ м, $E=2410$ Па, $\nu=0,2$; шар 2 – асфальтобетон пористий крупнозернистий, $h=0,1$ м, $E=7 \cdot 10^9$ Па, $\nu=0,25$. Механічні властивості трьох останніх шарів другої моделі співпадають із заявленими характеристиками відповідних шарів першої моделі. Зазначені параметри для першої моделі відповідають температурі дорожнього покриття $T=20^\circ\text{C}$ в літній час, а другої моделі - $T=-20^\circ\text{C}$ взимку.

Під дією транспортного навантаження в дорожньому масиві сформувались поля напружень. Воно визначене методом скінченних елементів. Результати розрахунків показали, що під дією вибраного навантаження два верхніх асфальтобетонних шари працюють як згинна плита і у другому шарі сформувалась зона додатних напружень (напружень розтягу) σ_x з максимальним значенням $\sigma_x^{\max}=814\text{ кПа}$ (рис. 5а).

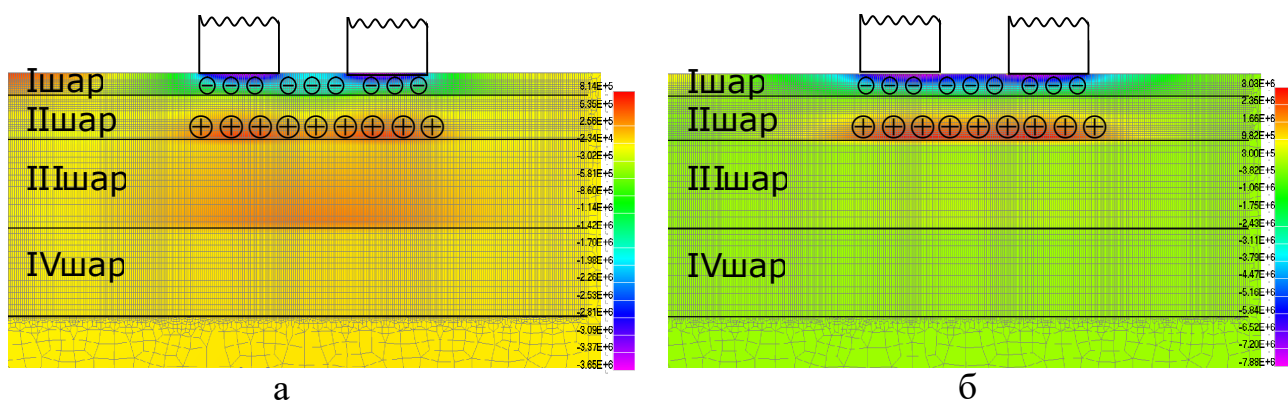


Рисунок 5 – Розподіл функцій напружень σ_x при $T=20^\circ\text{C}$ (а) та $T=-20^\circ\text{C}$ (б)

Потім було прийнято, що внаслідок сезонних змін температури T в зимовий час в двох верхніх шарах відбулися термо-реологічні зміни і їх модулі пружності досягли значень $E_1=24 \cdot 10^9$ Па і $E_2=7 \cdot 10^9$ Па при $T=-20^\circ\text{C}$, в той час як в щебеневому, піщаному і ґрунтовому фрагментах вони залишилися без зміни. Розрахунки, виконані зі збереженням вихідних умов для всіх інших параметрів моделі, показали, що при цьому напруження розтягу збереглися в тих же зонах, але досягли значень $\sigma_x^{\max}=3027\text{ кПа}$. Проведений аналіз дозволяє

обґрунтувати ще один парадоксальний механізм більш інтенсивного руйнування асфальтобетонних покриттів в зимовий час, при збільшенні модуля пружності матеріалів верхніх шарів.

Звернемося тепер до поля розподілу дотичних напружень τ_{xy} , що діють на площадках $x = \text{const}$ в напрямку осі Oy , (рис. 6). Зони їх максимальних величин виділені в прямокутники і їх числові значення подані праворуч на кольоровій шкалі. Кожен колірний відтінок цієї палітри відповідає певному значенню даної величині.

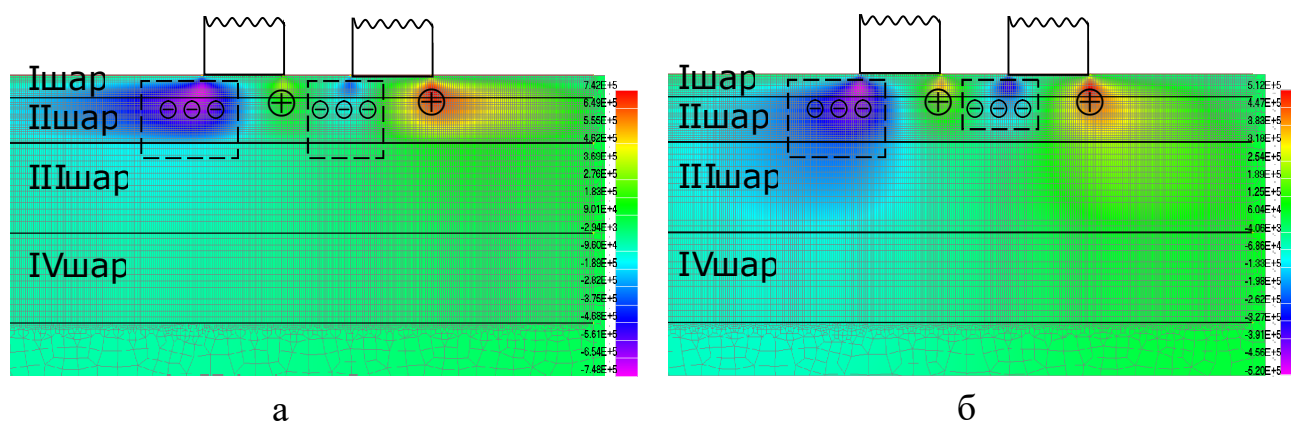


Рисунок 6 - Розподіл функцій напружень τ_{xy} при $T=20^{\circ}\text{C}$ (а) та $T=-20^{\circ}\text{C}$ (б)

Співставляючи результати обчислень на рис. 6а і рис. 6б, випишемо максимальні значення цих величин: $\tau_x^{\max} = 742 \text{ кПа}$ для першої моделі і, $\tau_x^{\max} = 512 \text{ кПа}$ - для другої. Необхідно підкреслити, що максимальні значення зсувних напружень $\tau_{xy}^{\max}$ реалізуються в зонах, де нормальні напруження σ_x , є стискаючими, тому в ній елементи покриття можуть чинити опір зсувним навантаженням.

Отримані числові результати, які свідчать про те, що зі збільшенням модуля пружності несущих шарів дорожнього покриття, що лежать на ґрунтовій основі, згинні нормальні напруження в них збільшуються, на перший погляд, здаються суперечливими. Однак цей ефект може бути обґрунтований з використанням аналітичного розв'язку задачі про напружено-деформований стан балки на пружній основі під дією поперечної зосередженої сили. Дійсно,

згідно з цим розв'язком, згинний момент цієї балки досягає максимального значення під цією силою і складає [3]

$$M = P \sqrt{4EI/k} / 4. \quad (8)$$

Тут M - згинний момент в балці; P - діюча зосереджена сила; E - модуль пружності балки; I - момент інерції перерізу балки; k - Коефіцієнт Пастеля.

З рівності (8) маємо, що зі збільшенням модуля пружності E момент M в балці (а разом з ним і згинні напруження) збільшується. Хоча при цьому, однак, на всіх інших ділянках балки відбувається перерозподіл значень моменту M і вони зменшуються. Оскільки в нашому випадку досліджувана конструкція дорожнього покриття на ґрунтовій основі, в конструктивному сенсі, аналогічна балці на пружній основі, то виявлений нами ефект збільшення згинних напружень у верхніх шарах покриття під дією локалізованого навантаження можна вважати обґрунтованим.

Перелік посилань

1. Гайдайчук В.В. Чисельне моделювання термонапруженого стану шаруватого покриття автомобільної дороги / В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 98 – С. 56-71.
2. Гуляєв В.І. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу / В.І. Гуляєв, В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – №1. – С. 6-12.
3. Писаренко Г.С. Сопротивление материалов. – К. Вища школа. Головное издательство. 1986. – 775 с.
4. Страгис В. И. Зависимость параметров сдвига асфальтобетона от температуры / В.И. Страгис, С.Ю. Рокас // Санитарная техника. Дороги. Гидротехническое строительство. Инженерная геодезия. Основания и фундаменты. Материалы Республиканской XIX научно-технической конференции. – Каунас. – 1969. – С. 51-54.
5. Litton R.L., Tsai F.L., Lee S.I., Luo R., Hu S., Zhou F. «Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays» Research Report 669, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2010. P.61.

УДК 625.7

Савенко В. Я., д-р техн. наук, Мудриченко А. Я.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ З ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛИХ СУМІШЕЙ

Анотація: В статті досліджують питання розширення будівельного сезону за рахунок використання теплих асфальтобетонів, які забезпечують достатнє ущільнення при низьких температурах і зменшують пошкодження структури завдяки меншим швидкостям охолодження.

Представлено аналіз впровадження бітуму, модифікованого добавками Sasobit, Evotherm та ін., розроблених для приготування теплих асфальтобетонних сумішей.

Ключові слова: бітум, добавки, Sasobit, Evotherm, теплі асфальтобетонні суміші, енергоефективність.

Abstract: The article is dedicated to study of the issue of extending of pavement season applying warm asphalt mixtures based on solid hydrocarbons that provide adequate compacting at low temperatures and reduce damage of the structure due to the lower cooling rate.

Presents the implementation of bitumen modified by Sasobit, Evotherm and etc., additives developed for warm asphalt mixes preparation.

Key words: bitumen, additives, Sasobit, Evotherm, warm asphalt mixes, energy efficiency.

Вступ

Існуючі тенденції в будівництві автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям свідчать про економічну доцільність розширення будівельного сезону, а також потребу у завершенні об'єктів будівництва до початку несприятливих погодно-кліматичних умов. У зв'язку з тим, що асфальтобетонне покриття влаштовується на завершальній стадії будівництва автомобільних

доріг, період часу їх влаштування в багатьох випадках припадає на холодніші періоди будівельного сезону. Зменшення впливу швидкого охолодження асфальтобетонної суміші при укладанні асфальтобетонного покриття в холодні періоди будівельного сезону багато дослідників пропонували компенсувати за рахунок влаштування асфальтобетонних шарів збільшеної товщини [1]. Крім того пропонувалися і інші заходи, такі наприклад, як: попереднє прогрівання основи перед укладанням асфальтобетонної суміші в холодний період, укривання поверхні брезентом та ін. Однак деякі з таких заходів є недостатньо технологічними, потребують значних витрат та не завжди дають позитивні результати на практиці.

Одним із способів вирішення питання виконання укладання асфальтобетонних сумішей в холодний період року за допомогою асфальтобетону на в'язких бітумах, а також на бітумах, модифікованих полімерами, які будуть забезпечувати необхідну деформативність при низьких температурах і стійкість утворення залишкових деформацій від дії важких транспортних засобів при високих літніх температурах є використання теплих асфальтобетонів, які забезпечують достатнє ущільнення при низьких температурах і зменшують пошкодження структури за рахунок менших швидкостей охолодження.[4,5]

Основна частина

1. Спінювання в'язкого холодною водою або парою

В основу усіх технологій даної підгрупи покладено процес спінювання шляхом введення холодної води або пари в гарячий в'язкий бітум. Існують декілька способів спінювання бітумів [7]:

- спінювання і розпилення бітуму гарячою водою або парою, отриманими в парогенераторах чи централізовано по системі теплопостачання (диспергаційний спосіб);

- спінювання і розпилення попередньо обводненого бітуму за рахунок збільшення тиску при його нагріванні до температури вище 100 °С в спеціальному герметичному підігрівачі перед подачею в мішалку; в цьому випадку можуть бути використані і необезводнені бітуми (конденсаційний спосіб);

- спінювання і розпилення бітуму гарячою водою і (або) паром, приготування яких здійснюється паралельно з нагріванням бітуму в бітумоплавильному агрегаті пропусканням води по трубчастому теплообміннику.

Для кожного із наведених способів використовується спеціальне обладнання. При реалізації кожного із способів утворюється велика кількість бітумної піни з відносно тривалим періодом розпаду, якого цілком достатньо, щоб забезпечити повне та рівномірне обволікання зерен мінеральних матеріалів тонкими бітумними плівками.

Double Barrel Green, Ultrafoam GX, Aquablack WMA, Warm Mix Asphalt System

У всіх цих технологіях використовуються форсунки певного типу для введення холодної води в бітум. Технологічне обладнання для кожної розроблено різними компаніями. Робота усіх форсунок контролюється комп'ютером для отримання потрібної кількості піни. Введена вода перетворюється на пар, частинки якого швидко проникають в бітум, що призводить до спінення та значного збільшення органічного в'язучого в об'ємі. В процесі цього суттєво знижується в'язкість бітуму, тому рівномірне обволікання частинок мінерального матеріалу може проводитись при нижчих температурах [8].

Low Energy Asphalt

Дана технологія передбачає використання вологого дрібного заповнювача. Економія енергоресурсів реалізується за рахунок того, що для перетворення води на пару необхідно в п'ять разів більше енергії ніж для нагріву мінерального матеріалу до температури 100 °C. Крупні мінеральні матеріали та частина дрібних нагріваються до температури приблизно 150 °C, як і при виготовленні гарячих асфальтобетонних сумішей, а потім перемішуються з органічним в'язучим, яке містить добавки, що покращують адгезію та якість обволікання. Після цього в отриману суміш вводиться холодний та вологий дрібний заповнювач, виконується змішування. Волога, що міститься в дрібних частинках мінерального матеріалу призводить до спінювання в'язучого. Утворена піна забезпечує якісне обволікання бітумом частинок дрібного заповнювачу [8]. Така технологія широко застосовується протягом останніх декількох років, але, не

зважаючи на досить гарні результати, все ж бракує даних по характеру поведінки таких покриттів в країнах з більш помірним кліматом.

Low Emission Asphalt

Дана технологія є подальшим розвитком технології Low Energy Asphalt. В ній застосовується поєднання процесів спінювання з використанням води та хімічних домішок. Технологічна схема процесу наступна: крупні мінеральні матеріали змішуються із органічним в'язучим, яке містить певні хімічні домішки, потім в суміш вводиться вологий пісок, що призводить до утворення піни [9].

WAM-Foam

Наступна технологія дещо відрізняється від інших. В ній реалізована система, що використовує бітуми двох різних марок. В процесі приготування почергово використовуються бітум невисокої в'язкості та спінений високов'язкий бітум. Мінеральні матеріали нагріваються до температури близько 130 °С, потім вводиться бітум невисокої в'язкості, частка якого від загальної кількості органічного в'язучого становить, як правило, 20-30%. Високов'язкий спінений бітум (спінення виконується водою в кількості 2-5% від маси в'язкого бітуму) вводиться в отриману суміш при температурі, що становить близько 180 °С. Обробка кам'яних матеріалів малов'язким бітумом сприяє якісному адсорбуванню в'язучого на поверхні мінеральних матеріалів, що є проблемним для в'язких бітумів при понижених температурах [10].

LT Asphalt

За даної технології процес спінення бітуму реалізується з використанням спеціальних форсунок безпосередньо перед введенням в'язучого в змішувальну установку, в якій знаходяться нагріті до температури 90 °С мінеральні матеріали. Для того, щоб контролювати процес перетворення зв'язаної вологи на піну, вводиться спеціальна гідрофільна добавка в кількості 0,5-1,0% [10].

2. Застосування органічних добавок

В цій групі технологій органічні добавки використовуються для зниження температурних режимів приготування та укладання асфальтобетонної суміші шляхом зниження в'язкості бітуму. В'язкість зменшується при нагріванні вище температури плавлення восків, які вводяться у якості добавки. Це робить можливим приготування сумішей за нижчих температур. При охолодженні і,

відповідно, кристалізації віск підвищує жорсткість бітуму, а отже і опір пластичним деформаціям асфальтобетону.

Дані технології дозволяють суттєво покращити якість отриманого асфальтобетону, тому що в загальному всі технології даної групи передбачають утворення в асфальтобетоні додаткової структурної решітки, яка покращує пружні властивості матеріалу. Крім того, завдяки зниженню температури приготування суміші знижується і рівень окислення в'язучого, що дозволяє підвищити термін служби асфальтобетонного покриття.

Слід серйозно підійти до питання вибору типу воску. Його температура плавлення повинна бути більшою ніж очікувана максимальна температура покриття при експлуатації, в той же час необхідно мінімізувати крихкість асфальтобетону при низьких температурах [10].

Sasobit

Sasobit виробництва компанії «SASOL WAX» являє собою аліфатичний вуглеводень, в якому довжина ланцюга молекул становить 40-115 атомів вуглецю. На відміну від Sasobit довжина молекулярних ланцюгів парафінів, що зазвичай присутні в бітумах, становить 22-45 атомів вуглецю. Цим пояснюється суттєва відмінність фізичних властивостей продукту Sasobit від парафінів, які присутні в бітумах. Температура плавлення становить 85-115 °С. Також для нього характерна висока в'язкість при низьких температурах та низька при високих. В процесі охолодження кристалізація воску починається при температурі 105 °С і закінчується при 65 °С [10].

Об'єднання органічного в'язучого із структуруючою добавкою Sasobit призводить до отримання нового в'язучого, для якого характерний новий комплекс властивостей, що відрізняють його від звичайного бітуму. Отриманий бітум характеризується наявністю в ньому просторової структурної решітки, що утворюється молекулами добавки. Наявність даної решітки обумовлює підвищену еластичність та міцність матеріалу в широкому діапазоні температур.

Добавка Sasobit введена в бітум в кількості 3% з масою бітуму знижує температуру його розм'якшення на 20-35 °С, а penetрація знижується на 15-25·1/10 мм.

Asphaltan A та Romonta N

Asphaltan A та Romonta N – це так звані воски Монтан з температурою твердіння 78 °С та 125 °С відповідно. Це важкі воски, які отримуються в

результаті розчинення певних видів кам'яного та бурого вугілля. Вони мають схожий з воском Фішера-Тропша вплив на асфальтобетонну суміш. Застосовувалися в Німеччині в якості добавки для масткового асфальтобетону, тому що можуть в значній мірі змінювати консистенцію бітуму та покращувати адгезію між органічним в'язучим та мінеральними матеріалами [11].

Asphaltan B

Це очищений віск Монтан, змішаний із амідами жирних кислот. Температура плавлення нижче 100°C [10]. Подібно до восків Фішера-Тропша ця добавка зменшує в'язкість бітуму при низьких температурах, хоча і в меншій мірі, ніж воски Фішера-Тропса. Згідно заявам виробника введення даної домішки дозволяє покращити зручність укладання суміші, покращити опір до коліс утворення та опір до негативного впливу вологи.

Licomont BS 100

Licomont BS 100 – це амід жирних кислот. Ця добавка виробляється штучно шляхом взаємодії амінів та жирних кислот. Температура плавлення як правило становить 140-145 °С, а температура затвердівання – 105-115 °С. Згідно [11] введення даної добавки в органічне в'язуче в кількості 3% підвищує його температуру розм'якшення на 40-45 °С. В процесі охолодження амід жирних кислот також утворюють кристали, які надають бітуму підвищеної жорсткості, а penetрація зменшується на 10-15·1/10 мм [10].

3. Використання спеціальних хімічних речовин

Evotherm ET

В технології Evotherm ET застосовується комплекс хімічних речовин, який складається із емульгаторів та спеціальних добавок, основна задача яких покращити якість обволіканні мінеральних матеріалів, зручноукладальність та ущільнювальність суміші. Добавка Evotherm складає до 30% від маси бітуму і сприяє зниженню його в'язкості при понижених температурах змішування, забезпечуючи повне обволікання мінеральних матеріалів. Ця технологія реалізується з використанням бітумної емульсії. Для мінеральних матеріалів різного походження виробляються різні за своїм складом комплекси хімічних речовин. Основна кількість води, яка наявна в емульсії випаровується в процесі змішування із мінеральними матеріалами. Ця технологія дозволяє зменшити температуру приготування суміші на 30% [10].

Evotherm DAT

За технології Evotherm DAT застосовується той же набір хімічних речовин, але розбавлений невеликою кількістю води, яка вводиться в органічне в'язуче перед змішувальною камерою. Ця технологія дозволяє знизити в'язкість бітуму при понижених температурах змішування, що дозволяє забезпечити повне та рівномірне обволікання мінеральних матеріалів в'язучим. Зниження температури може складати до 30% [10].

Evotherm 3G

Ця технологія є різновидом технології Evotherm, але в своєму складі зовсім не містить води. Добавка "Evotherm-3G" дозволяє випускати асфальтобетон McAsphalt-Evotherm за температури на 50° С нижчій, ніж при приготуванні гарячих асфальтобетонних сумішей, а також замінювати до 45 % мінеральної складової суміші старим подрібненим асфальтобетоном із зношених покриттів [12].

Рекомендовані виробником температури приготування McAsphalt-Evotherm складають 115 - 130 ° С, укладання – 110 - 125 ° С, ущільнення – 105 - 115 ° С. Допускається зниження вказаних температур відповідно до 98 ° С, 92 ° С та 90 ° С.

При використанні стандартного щебеню, піску та мінерального матеріалу вміст добавки "Evotherm-3G" складає 0,3 % від маси бітуму, при частковій заміні мінерального матеріалу старим асфальтобетоном – 0,5 % [12].

Добавка вводиться в бітум за температури 150-165 ° С та перемішується з ним протягом 30 хвилин [12].

Окрім знижених температур та додаткових операцій по додаванню добавки і подаванню подрібненого старого асфальтобетону технологія приготування Evotherm 3G аналогічна приготуванню гарячого асфальтобетону [12].

Rediset WMX

Rediset WMX - це модифікатор реологічних властивостей органічного в'язучого на основі катіонних поверхнево-активних речовин та органічних домішок. Використання цієї технології дозволяє покращити адгезію між в'язучим та мінеральним матеріалом. Інші компоненти даної домішки знижують в'язкість бітуму при нижчих температурах виготовлення суміші. Rediset WMX постачається у вигляді гранулята і не містить в своєму складі води. При введенні даної домішки в кількості 1,5-2% за масою бітуму досягається зниження

температури приготування суміші порівняно із гарячими асфальтобетонними сумішами на 15-30 °С без погіршення їх властивостей.

REVIX

REVIX – це хімічна добавка, яка для зниження температури приготування та ущільнення суміші не використовує спінення, або зниження в'язкості органічного в'язучого. Дана технологія заснована на використанні великої кількості поверхнево-активних речовин, восків, технологічних кислот, полімерів та інших речовин. Вона дає можливість досягти зниження температури в порівнянні із гарячими сумішами на 15-27 °С.

Висновки

Використання технологій теплих асфальтобетонів, що дозволяють знизити температуру приготування гарячих асфальтобетонних сумішей на 20-40°С без погіршення міцнісних характеристик покриття в порівнянні з традиційним гарячим асфальтобетоном, що приготовлений на тому ж бітумі. Це досягається за рахунок відносно нових фізико-хімічних ефектів, що приводять до зниження опору суміші зсуву під час її приготування та ущільнення.

Використання технологій теплих асфальтобетонів дає ряд переваг:

- екологічні аспекти та питання економії енергоресурсів, тобто зниження витрат енергії та зниження викидів CO₂;
- можливість укладати дорожнє покриття при нижчих температурах і при цьому забезпечувати необхідну щільність покриття;
- можливість транспортувати суміші на довші відстані і при цьому зберігати рухомість при укладанні та ущільненні;
- можливість ущільнювати суміш з меншим зусиллям (за типових умов, а не в холодну погоду або при тривалому транспортуванні);
- включати більшу кількість фрезерованого матеріалу в суміш;
- укладати товсті шари і забезпечувати відкриття дороги для транспорту в найкоротші терміни;
- покращені умови праці робітників, особливо працюючих з литим або мастиковим асфальтобетоном.

Перелік посилань

1. Губа В.В. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів дорожнього одягу за способом „термоса”//Дис. канд. техн. Наук. Київ, 2006, — 198с.
2. ГБН В.2.3-218-547:2010 «Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах» - К.:2010
3. СОУ 45.2-00018112-020:2007 «Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій » - К.:2007.
4. Радовский Б.С. Прогресс технологий производства теплого асфальтобетона в США// Автомоб. Дороги. – 2011. - №8. – С29-39.
5. Радовский Б.С. Технология теплого асфальтобетона в США// Дорожная техника 2008 с.24-28.
6. Радовский Б.С. Сегрегация асфальтобетонных смесей и методы борьбы с ней в США// Дорожная техника 2007 с.26-40.
7. С.Кіщинський, Л. Кириченко, Н.Бондар, Е.Гнатюк, Н.Любченко, Л.Гончар, В.Жданюк, М.Бевзюк Звіт про науково-дослідну роботу “Розробити технологію приготування полімерасфальтобетону з використанням спінених модифікованих бітумів”. Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна, Київ 2007.
8. Perkins, Steven. Synthesis of warm mix asphalt paving strategies for use in Montana highway construction. Montana : the state of Montana, department of transportation, November 2009. final report.
9. Low Emission Asphalt. product home page http://www.mcconnaughay.com/lowemissionasphalt_intro.php.
10. D'Angelo, John, et al. Warm-Mix Asphalt: European Practise. American Trade Initiatives. Washington, DC : U.S. Department of Transportation, February 2008.
11. Drüschner, Lotar. Experience with Warm Mix Asphalt in Germany. Sønderborg: NVF-rapporter, 2009. guest report in conference.
12. Кіщинський, Л. Кириченко, І.В. Волошина, Н.Любченко, Н.А. Бондар, Е.Гнатюк Висновок про властивості теплого асфальтобетону McAsphalt-Evotherm з добавкою ”Evotherm-3G”, Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна, Київ 2009.

УДК 625.7

Пальчик А.М., канд. техн. наук, Тимощук О.Ю.

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ДАНИХ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ПОТОЧНИЙ СТАН АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті запропоновано структурування даних, необхідних для прийняття рішень при управлінні мережею автомобільних доріг, на окремі рівні за якістю інформації. Для кількісної оцінки використання різних моделей структури даних про автомобільні дороги наведено кваліметричну модель оцінки якості.

Ключові слова: автомобільна дорога, кваліметрія, рівні якості, технічні показники.

Abstract. The article proposes structuring the data needed to make decisions when managing a highway network into separate levels of information quality. For the quantitative evaluation of the use of different models of the road data structure, a qualitative model of quality assessment is presented.

Keywords: road, qualimetry, quality levels, technical indicators.

Вступ

Існуюча структура даних, що характеризує стан автомобільних доріг, не враховує сучасних вимог до системи управління в дорожньому будівництві та має бути більш гнучкою для вирішення різнопланових завдань. На сьогодні відповідно до галузевих стандартів [1, 2] множина даних про стан об'єктів інфраструктури складається майже з 1,5 тис. технічних показників, що містять інформацію про 40 окремих елементах об'єктів. Аналіз рівня використання множини таких даних при прийнятті управлінських рішень в дорожній галузі не перевищує 20 % від їх загальної кількості.

Тобто структура та повнота даних про стан автомобільних доріг повина орієнтоватися на кінцевий результат – бути основою для ефективної системи управління дорожнім господарством, та потребує удосконалення.

Основна частина

1. Структура даних про поточний стан автомобільних доріг

Для управління дорожньою мережею збираються та використовуються різні типи даних. В залежності від того, про який елемент дорожньої інфраструктури збираються дані (лінійний або локальний об'єкт), мають змінюватися технології збору даних та структура самих даних. Якщо розглядати основні елементи автомобільної дороги (наприклад покриття, дорожнє облаштування, інтенсивність та склад руху тощо), то вони характеризуються двома типами даних [3]:

- які описують самі елементи (інвентаризація);
- які характеризують стан елементів.

Дані інвентаризації описують фізичні елементи дорожньої інфраструктури та не змінюються на протязі тривалого терміну. Дані, які характеризують стан елементів, змінюються протягом певного періоду.

Є широкий спектр технологій, що використовуються в дорожньому господарстві для збору даних про поточний стан мережі автомобільних доріг. Одним із основних питань, на яке необхідно дати відповідь при виборі технології збору даних є - які дані необхідно збирати з урахуванням місцевих умови та способів, у які потім ці дані будуть використанні?

Надмірна деталізація при зборі даних, є однією з п'яти перших умов, від якої відмовляються при розробленні сучасних систем управління дорожнім рухом (Road management system - RMS) [3]. При розробленні таких систем враховується інтенсивність отримання даних, вартість їх оновлення та підтримування в актуальному стані. Для цього завжди необхідно враховувати три керівні принципи:

- збирати лише потрібні дані;
- збирати дані на найнижчій достатній рівень деталізації, щоб прийняти відповідні рішення і,
- збирати дані лише тоді, коли вони потрібні.

У 1990 році іноземними вченими було запроваджено поняття рівнів якості інформації (Information Quality Levels - IQL) [3].

IQL допомагає структурувати інформацію, необхідної для управління автомобільними дорогами, на різні рівні, які співвідносяться зі ступенем складності, необхідної для прийняття рішень, методів збору та обробки даних. У

теорії IQL дуже деталізовані дані («дані низького рівня») можуть бути зведені або агреговані в прогресивно простіші форми («дані високого рівня»), як показано на рисунку 1.

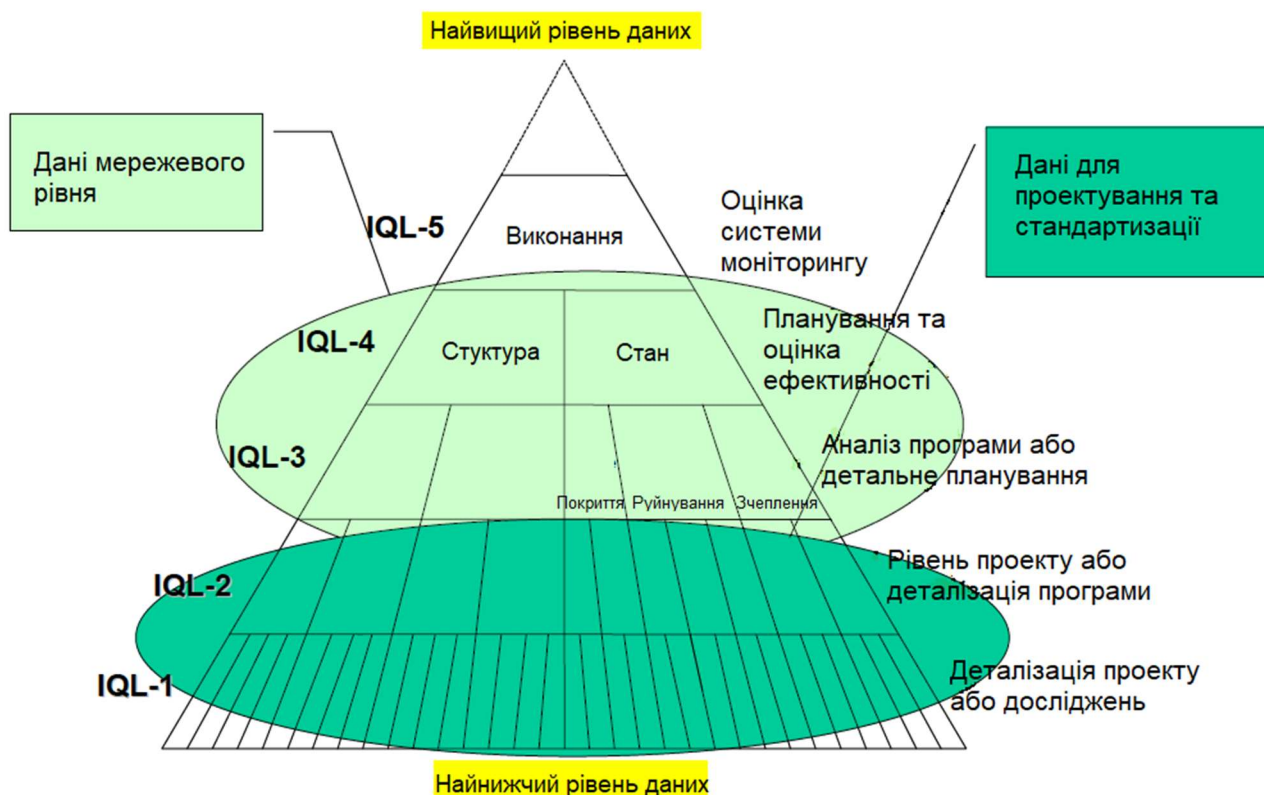


Рисунок 1 – Структура даних для управління автомобільними дорогами в залежності від рівнів якості інформації IQL

Загалом встановлено п'ять рівнів якості інформації (IQL):

- IQL-1 являє собою числові дані про фундаментальні, дослідницькі, лабораторні та теоретичні дослідження;
- IQL-2 являє собою типовий рівень деталізації технічних показників, необхідних для прийняття рішень на рівні окремих проектів;
- IQL-3 представляє, як правило, дані з двома або трьома атрибутами, які використовуються на рівні мережі автомобільних доріг;
- IQL-4 є ключовим атрибутом, який використовується при плануванні, або звітуванні про загальний стан мережі;
- IQL-5 представляє дані верхнього рівня, такі як ключові показники продуктивності та поєднують ключові показники з декількох відомостей даних.

Для використання подібної класифікації рівнів інформації необхідно кардинально змінити модель структури даних, які необхідно збирати в процесі експлуатації автомобільних доріг, використовуючи уже наведені керівні принципи: коли та які дані потрібно збирати і з яким рівнем деталізації.

2. Методи оцінки якості (повноти) даних про поточний стан автомобільних доріг

Для кількісної оцінки якості використання різних моделей структури даних про автомобільні дороги можливо використовувати підходи кваліметрії. Завдяки роботам Г.Г. Азгальдова, А.В. Галичева, Е.П. Рейхмана, В.М. Сіденка і інших дослідників в різних країнах створені теоретичні основи кваліметрії [4, 5].

Оцінку якості експлуатації автомобільної дороги можна одержати враховуючи показники якості. Для оцінки показників якості автомобільних доріг можуть бути використані такі методи: вимірювальний, органолептичний; експертний і розрахунковий [5].

При аналізі даних, що характеризують поточний стан автомобільних доріг, найбільш оптимальним, з точки зору особливостей інформації, є розрахунковий метод. Розрахунковий метод передбачає одержання інформації про якість з допомогою емпіричної залежності. Якість продукції (в нашому випадку структури даних про автомобільні дороги) характеризується сумою її показників. Одиничні показники якості не однакові за своїм значенням, тобто вони мають різну вагомість. Сума оцінок одиничних показників з урахуванням їх вагомості дає комплексний показник якості [5]:

$$P_k = P_1 \times k_1 + P_2 \times k_2 + \dots + P_n \times k_n = \sum_{i=1}^{i=k} P_i \times k_i$$

де P_k – комплексний показник якості продукції;

$P_1, P_n (P_i)$ – одиничні показники якості, що відносяться до однієї з характеристик (надійність, естетичність тощо) або до одного з елементів об'єкта (покриття, земляне полотно, облаштування тощо);

$k_1, k_n (k_i)$ – коефіцієнти вагомості одиничних показників.

Для більшої наочності врахування всіх одиничних показників при одержанні комплексного показника якості будуть кваліметричні моделі.

Комплексна оцінка якості автомобільних доріг на стадії експлуатації здійснюється з урахуванням таких груп показників: цільових, експлуатаційних, ергономічних, надійності, естетичних та безпеки руху. Кваліметричну модель для оцінки стану автомобільної дороги наведено на рисунку 2.

Показники		Тип покриття	
K_k	Цільові (призначення)	Ширина проїзної частини	P_1
		Кількість смуг руху	P_2
			P_3
	Експлуатаційні	Міцність дорожнього одягу	P_4
		Рівність покриття	P_5
		Коефіцієнт зчеплення	P_6
	Ергономічні	Психофізіологічний фон	P_7
		Шумність покриття	P_8
		Загазованість	P_9
	Естетичність дороги		P_{10}
	Надійність дороги		P_{11}
	Показник безпеки руху		P_{12}

Рисунок 2 – Кваліметрична модель оцінки якості доріг

Висновок

Оптимізація витрат на виконання робіт зі збору даних про стан об'єктів інфраструктури можливе через удосконалення структури даних та рівня деталізації таких даних. Запропоноване структурування даних з урахуванням рівнів якості інформації дасть змогу підвищити ефективність управління мережею автомобільних доріг за рахунок відсутності надлишкових даних.

Перелік посилань

1. СОУ 42.1-37641918-038:2016 Паспорт автомобільної дороги
2. СОУ 42.1-37641918-122:2014 Автомобільні дороги. Вимоги до комплексу робіт з інформаційного забезпечення
3. Data collection technologies for road management. Christopher R. Bennett, Hernán de Solminihas, Alondra Chamorro / The World Bank, Washington, DC. - Transport Note, No. 30 May 2006
4. В.М. Сіденко. Управління якістю в дорожньому будівництві. – М.: Транспорт, 1981. – 252 с., рис., табл. – (Надійність і якість) – Бібліографія. 137 найм.
5. Основы стандартизации и управления качеством продукции в дорожном строительстве: Учеб. пособие / Н.И. Заворицкий, М.Д. Аленич, А.Н. Фещенко. - К.: УИК ВО, 1991.

УДК 625.7

Стьожка В.В., канд. техн. наук, Борковський П.П.

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті розглянуто основні технологічні аспекти забезпечення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг.

Ключові слова: довговічність, покриття автомобільних доріг, дорожній цементобетон, цементобетонна суміш, технологічні заходи.

Abstract. The main technological aspects of durability of cement concrete pavement of highways are considered in the article.

Key words: durability, road pavement, road cement concrete, cement concrete mix, technological measures.

Підвищення ефективності капітальних вкладень в дорожнє будівництво пов'язане з довговічністю (строком служби) дорожніх покриттів, зниженням вартості їх будівництва, раціональним і економічним використанням основних привозних дорожньо-будівельних матеріалів (цементу і щебеню). Проблема довговічності цементобетонних покриттів носить комплексний характер, включає конструктивні, матеріалознавчі і технологічні фактори. Одержання довговічних цементобетонів із заданими властивостями і структурою залежить від якості вихідних матеріалів, складу цементобетону, технології виготовлення та догляду за твердінням.

Умови експлуатації цементобетону для покриття доріг істотно відрізняються від умов експлуатації цементобетонів будівельних конструкцій, які використовуються в промислово-цивільному будівництві. Ці відмінності полягають, у першу чергу, у значній відкритій поверхні дорожнього бетону. Технологія дорожнього будівництва й властивості дорожнього бетону, як показав досвід, мають свої особливості. Одержання дорожнього цементобетону

із заданими властивостями можливо лише шляхом керування його структурою й комплексом технологічних операцій виготовлення конструкцій [1].

Поділ цементобетонів транспортного призначення на монолітні та збірні передбачає різні умови їх твердіння, що визначаються специфічними впливами температури і вологості.

До негативних сторін прискорення твердіння цементобетону внаслідок температурного впливу відносяться: виникнення і накопичення внутрішніх напружень; поява мікротріщин, здатних рости і розвиватися в магістральні тріщини; поява шаруватості в масиві цементобетону; розпушення шарів; збільшення макропористості, в першу чергу - відкритою і т.п. ці та подібні явища призводять до зниження експлуатаційних характеристик цементобетону. Якщо для конструкційних цементобетонів у деяких умовах експлуатації може спостерігатися «заростання» вищеперелічених дефектів, то специфіка дорожніх бетонів у більшості випадків призводить до інтенсивного зміни структури в бік зниження її механічних показників, зниження їх терміну служби і швидкої руйнації.

У той же час, наслідки, які може викликати природне тверднення бетонів, досить різноманітні і в першу чергу визначаються зовнішніми умовами.

Можна вважати встановленим фактом, що тріщини на поверхності дорожнього цементобетону виникають з трьох основних причин:

- усадка цементобетону при твердінні;
- наявність градієнта температур між поверхнею і внутрішньою частиною цементобетону;
- циклічна дія механічних навантажень.

Процес приготування бетонної суміші є ключовим елементом будь-якого підприємства будівельної індустрії.

Процес виготовлення бетонної суміші складається з наступних операцій:

- подачі матеріалів до дозуючих пристроїв;
- дозування всіх складових суміші;
- завантаження їх в змішувач;
- перемішування і вивантаження готової суміші [3].

Тривалість перемішування бетонної суміші залежить від об'єму змішувача, рухливості суміші і її об'ємної маси і зазвичай складає 1-3 хв.

Одним з основних критеріїв довговічності бетону конструкцій, який експлуатується в даних умовах, є його термоморозостійкість, тобто здатність бетону витримувати комплексну дію циклічного нагрівання і охолодження, заморожування і відтаювання.

В умовах температури $> + 25$ °С твердіння бетону може відбуватися інтенсивно в коротші терміни в порівнянні із звичайними умовами. Проте висока температура повітря, інтенсивна сонячна радіація в поєднанні із зниженою вологістю і великою швидкістю вітру несприятливо впливають на його фізико-механічні властивості. Інтенсивне обезводнення бетону із-за випаровування води різко уповільнює процес гідратації цементу, знижує його міцнісні характеристики і водонепроникність.

В даних умовах із-за швидкої втрати бетонною сумішшю рухливості утруднені її укладання і ущільнення, а також обробка поверхонь конструкцій. Тому при виконанні бетонних робіт основна увага приділяється на застосування таких методів як: приготування, транспортування і витримки бетону, які зводять до мінімуму його обезводнення. Вживаються спеціальні заходи, направлені на пониження температури компонентів бетонної суміші при її приготуванні (в умовах жаркої погоди температура бетонної суміші для різного часу дня змінюється), забезпечення необхідної рухливості при її приготуванні і транспортуванні, скорочення строків укладання суміші і захист її від сонячних променів.

Температура бетонної суміші у момент її виходу з бетонозмішувальної установки не повинна перевищувати $+ 20$ °С. Очікувану температуру готової бетонної суміші T_c , °С, визначають за формулою:

$$T_c = \frac{Ц \cdot T_u + П \cdot T_n + 3 \cdot T_z + 5 \cdot (B_n \cdot T_n + B_z \cdot T_z + B \cdot T_v)}{Ц + П + 3 + 5 \cdot (B_n + B_z + B)}, \quad (1)$$

де: T_u , T_n , T_z , T_v – температура відповідно цементу, піску, крупного заповнювача і води, які використовуються для приготування бетонної суміші, °С;

$Ц$, $П$, $З$, $В$ – витрата (маса) відповідно цементу, піску, крупного заповнювача і води, кг на 1 м^3 бетонної суміші;

B_n , B_z – вміст вологи в піску і крупному заповнювачі, кг.

Якщо врахувати масу компонентів бетонної суміші, а також те, що питома теплоємність води майже в 5 разів більше питомої теплоємності інших компонентів, то з наведеної формули видно, що найбільший ефект пониження температури бетонної суміші досягається в першу чергу при зменшенні температури води і заповнювачів. Іноді в практиці будівництва з цією метою до 50% води затворення замінюють льодом.

При підвищенні температури навколишнього середовища вище 20 °C не рекомендується застосовувати цемент першої групи ефективності. Щоб уникнути погіршення технологічних і фізико-механічних властивостей бетону і бетонної суміші (тріщини усадки, температурні тріщини; зменшення міцності із-за надмірного розігріву бетону) наполегливо рекомендуємо використовувати цемент другої групи ефективності.

Температурний режим в процесі влаштування конструкції суттєво впливає на технологічні властивості бетонної суміші та на довговічність цементобетону.

При підвищенні температури стрімко зменшується осідання конусу з часом. Це призводить до погіршення легкоукладальності суміші, зменшення продуктивності укладальника, а іноді взагалі до відбракування суміші. Щоб уникнути цих випадків потрібно корегувати кількість пластифікуючої та повітревтягуючої добавки. Рухомість бетонної суміші визначати на заводі та на місці укладання бетонної суміші.

Визначення кількості залученого повітря вимірювати безпосередньо перед укладанням, відбір зразків проводиться на місці укладання бетонної суміші.

Разом із ростом температури твердіння цементного тіста збільшується відношення кількості кристалічних фаз продуктів гідратації до гелеподібних продуктів. Гіпс у цементі, що твердіє, не тільки реагує з трьохкальцієвим алюмінатом, але також бере участь у процесах гідратації трьохкальцієвого силікату.

Цілком очевидно, що в міру підвищення температури суміші скорочуються строки її тужавлення і знижується зручноукладальність бетонної суміші. Погіршення зручноукладальності бетонної суміші призводить до росту її водопотреби. Ріст водопотреби неоднаковий у різних температурних інтервалах і значною мірою залежить від багатьох технологічних факторів: виду цементу, В/Ц та консистенції бетонної суміші.

В умовах жаркого клімату обезводнення бетону може бути зведено до мінімуму скороченням тривалості його витримки в результаті застосування прискорених методів твердіння бетону.

Використання таких методів може мати місце для досягнення проектної міцності бетоної конструкції або критичної міцності відносно втрат вологи, після досягнення якої кліматичні умови вже не роблять значного впливу на зростання міцності бетону. Значення критичної міцності залежить від цілого ряду чинників: складу і класу бетону, виду і активності цементу, виду добавок, що вводяться, режиму витримки і т. д. Проте при всіх випадках вона не повинна бути нижче 50% проектної.

Технологічними прийомами, що інтенсифікують твердіння бетону, є: застосування прискорювачів твердіння в композиціях з пластифікуючими або пластифікуючи-повітровтягуючими добавками, методи теплової обробки.

Метод теплової обробки може виявитися найбільш ефективним, оскільки дозволяє не тільки зменшити небезпеку обезводнення, але і одержати необхідний клас бетону в короткі строк. При цьому потрібно мати на увазі, що після набуття бетоном 70-80% проектної міцності він не потребує в умовах сухого жаркого клімату спеціального догляду.

Однією з реальних можливостей є використання такого джерела енергії, як сонячна радіація. Для цього свіжевкладений бетон покривають світлонепроникною поліетиленовою плівкою, яка пропускає промеву енергію і разом з тим запобігає втратам вологи.

Одним з найбільш доступних рішень у використанні сонячної енергії для інтенсифікації витримки бетону в монолітних конструкціях є прогрівання бетону в результаті витримки в «парниковому режимі» під плівковими покриттями. Цей простий і дешевий метод прогрівання бетону може бути застосований для конструкцій будь-якої конфігурації.

Випаровування вологи з поверхні бетону відбувається навіть за дуже сприятливих температурно-вологісних умов. Вважають, що при швидкості випаровування більше як $0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$, утворення поверхневих тріщин від пластичної усадки є неминучим.

Основні методи догляду можна розділити на такі, що передбачають зволоження бетону і на такі, що запобігають випаровуванню води з його

поверхні. До найбільш поширених методів зволоження відносяться полив, покриття водонасиченими вологоємними матеріалами.

Для поливу твердіючого цементобетону зручно застосовувати різні насадки. Недоліками цього способу є підвищена витрата води і необхідність постійного спостереження за тим, щоб поверхні бетону не залишалися сухими. Інакше, при періодичному висиханні і зволоженні, якість бетону погіршується.

При покритті бетону вологоємними матеріалами їх періодично необхідно зволожувати. Цей спосіб підходить не тільки для горизонтальних, але і похилих поверхонь.

Друга група способів підходу, заснована на запобіганні випаровуванню вологи з бетону без зволоження, передбачає укриття поверхні водо- і паронепроникними матеріалами. До них відносяться бітумізовані сорти паперу (звичайно найбільш дешеві, наприклад, пергамін), плівки з полімерних матеріалів, а також різного роду рідкі плівкоутворюючі матеріали.

У сонячну погоду при температурі повітря вище за $+25^{\circ}\text{C}$ недостатньо запобігти випаровуванню вологи з поверхні укладеного бетону. Закриття поверхні полімерними плівками не виключає виникнення високих температурних градієнтів, що призводять до неоднорідного температурного поля в забетонованих конструкціях. Зниження температурних градієнтів може бути досягнуте застосуванням металізованих плівок з високою відбиваючою здатністю. Ще ефективніше закривати бетон комбінованим покриттям, де плівка прошита в пакет з шаром мішковини.

Плівкоутворюючі матеріали найбільш технологічні в порівнянні з іншими видами покриттів, особливо при великих поверхнях бетону, що укладається. У той же час покриття плівкоутворюючими матеріалами і покриття поліетиленовою плівкою недостатньо захищають бетон від температурних дій, що дуже суттєво в умовах сухого і жаркого клімату. Є плівкоутворюючі сполуки з білим пігментом і алюмінієвою пудрою.

Найважливішим в технології догляду за бетоном є правильне призначення строків початку догляду за бетоном і його тривалості. Особливі вимоги до режимів догляду за бетоном пред'являються в умовах сухого і жаркого клімату при одночасній дії температур більш $+25^{\circ}\text{C}$ і вологості менше 50%.

Укриття папером або плівкою, так само як і розстеляння брезенту, повинне проводитися після набору бетоном мінімальної міцності, що забезпечує збереження його поверхні.

У всіх випадках вологий догляд за бетоном повинен починатися після протікання початкової фази гідратації, що запобігає поглинанню свіжовкладеним бетоном надмірної вологи. Цей початковий період відповідає орієнтовно досягненню бетоном міцності 0,3-0,5 МПа; тривалість його залежить від типу цементу який використовується, складу бетону (в основному від В/Ц) і температури твердіння. Залежно від перерахованих умов час досягнення такого стану коливається від 2 до 12 год. і визначається будівельною лабораторією в залежності від температури твердіння бетону. У цей період за звичайних умов (при вологості більше 50 % і відсутності сильного вітру) допускається не вживати ніяких заходів по догляду за бетоном. Бажано, проте, по можливості запобігати прямому попаданню на нього сонячних променів.

У сухий і жаркий період, а також в вітряну погоду при інтенсивності випаровування більше $0,5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{год}$ поверхню бетону слід вкривати відразу після його укладання. Коли хочуть вберегти поверхню від контакту з покриттям, влаштовують легкі тенти [4].

Тривалість догляду за цементобетоном визначається часом досягнення ним міцності 50-70% проектної.

В умовах сухого жаркого клімату після закінчення періоду вологого догляду вживають спеціальні заходи для запобігання мікротріщинам, які утворюються із-за інтенсивного випаровування вологи, особливо з поверхневої зони. З цією метою після припинення поливу, матеріал, що покриває бетон з поверхні не видаляють ще 2-4 доби.

Для запобігання появи тріщин усадки та температурних тріщин необхідно нарізати деформаційні шви згідно із [5].

Нарізання деформаційних швів виконувати через 3 м при температурі цементобетону вище $+ 50^\circ \text{C}$. Якщо відстань між швами буде більшою будуть виникати мікротріщини, які в свою чергу впливають на довговічність виробу. В цьому випадку довговічність може зменшитись в 2 – 3 рази тобто строк служби замість 20 років буде 3 – 5 років.

Отже, підвищення довговічності сучасних цементобетонів для покриття автомобільних доріг передбачає вирішення комплексу взаємопов'язаних

технологічних проблем шляхом: розробки технологічних основ, що дозволять управляти довговічністю цементобетонів на стадії проектування (при виборі цементу, добавок, заповнювачів та складу цементобетону); комплексної оцінки шляхом імітаційного моделювання довговічності цементобетонів за показниками, що визначають довговічність конкретного складу цементобетону за певних кліматичних умов і зовнішніх впливів.

Перелік посилань

1. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожніх і аеродромних покриттів. - М .: Транспорт, 1991. С. - 151.
2. Дефекты бетонных конструкций / Г. Руфферт ; Перевод с немецкого И. Г. Зеленцова; Под редакцией канд. техн. наук В. Б. Семенова. — Москва : Стройиздат, 1987. — 111 с., ил.
3. ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І.
4. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Дмитриченко А.М., Чиженко Н.П. Удосконалення технології влаштування монолітного парапетного огороження типу “Нью-Джерсі”// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип.1 (34). – С.78 – 88.
5. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування.

УДК 625. 7/8

**Шиндор М.В., Кіпніс Д. В., Ваїл М.Ш., Дорошенко В.М.,
Даценко В.М. канд. техн. наук, Чечуга О.С. канд. техн. наук**

**ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ У ДОРОЖНЬОМУ ГОСПОДАРСТВІ
УКРАЇНИ ПРИЛАДІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, РОЗРОБЛЕНИХ ДП
«ДОРОЖНІЙ КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ»**

Анотація. Надано опис приладів і обладнання, що розроблені та виготовлені у ДП «Дорожній контроль якості» та пройшли дослідну експлуатацію і використовуються в випробувальних лабораторіях підприємств і організацій дорожньої галузі для наукових досліджень та випробувань, а також приведені їх основні технічні характеристики та представлений загальний вигляд цих виробів.

Ключові слова: обладнання, прилад, випробування, технічні характеристики, дослідне впровадження.

Abstract. The description of devices and the equipment which are disassembled and made in SE "Road quality control" and passed experimental operation and used in testing laboratories of the enterprises and the organizations of road branch for scientific researches and tests, and also their basic technical characteristics and the general look of these products is resulted.

Key words: equipment, device, tests, technical characteristics, experimental implementation.

Вступ. Кінцевим продуктом дорожнього будівництва є автомобільна дорога, конструкція дорожнього одягу якої повинна забезпечити безпечність і комфортність транспортних послуг, наданих користувачеві, впродовж запроектованого строку її експлуатації.

Технологічний процес створення автомобільної дороги складається з таких основних етапів: науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, проектні роботи, роботи по виготовленню дорожньо-будівельних матеріалів (далі – ДБМ)

і конструктивних елементів дорожнього одягу, будівництво автомобільної дороги, її експлуатація і утримання, виконання яких на рівні європейських стандартів потребує укомплектування випробувальних лабораторій і контролюючих підрозділів підприємств і організацій дорожньої галузі відповідними приладами і обладнанням.

З метою суттєвого зменшення впливу дефіциту необхідних приладів і обладнання на якість виконання кожного етапу процесу будівництва автомобільної дороги, Державне підприємство «Науково-технічний центр «Дорожній контроль якості» за сприяння Державного агентства автомобільних доріг України та за заявками підприємств і організацій дорожньої галузі створює такі вироби, що не поступаються імпортованим зразкам за технічними характеристиками, але суттєво виграють за вартістю, впроваджує їх у виробництво і здійснює науково-технічний супровід.

Основна частина. Для здійснення контролю якості ДБМ і завершених конструктивних елементів дорожнього одягу автомобільної дороги підприємство розробило та виготовляє відповідні прилади та обладнання для випробувальних лабораторій.

Обладнання для виготовлення зразків асфальтобетонної суміші

Для випробування асфальтобетонної суміші на колієутворення було створене обладнання для виготовлення зразків асфальтобетонної суміші стандартної форми і розмірів, з різними температурами суміші та середовища, у якому проходить процес виготовлення зразка та при навантаженнях, які створює укочувальне обладнання в умовах влаштування шару асфальтобетону. Метод ущільнення зразка суміші на обладнанні значною мірою моделює ущільнення суміші у виробничих умовах і забезпечує можливість отримання визначеного ступеня щільності без подрібнення щебеню, що входить до складу суміші. Таке обладнання експлуатується у випробувальних лабораторіях кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії НТУ, кафедри технології, дорожньо-будівельних матеріалів ХНАДУ, ДП «Дорожній контроль якості». Загальний вигляд і технічні характеристики обладнання показані на рис.1.

Обладнання для виготовлення зразків армованого асфальтобетону та прилад для визначення його розрахункових характеристик

На автомобільних дорогах України, як і в цілому світі, переважають нежорсткі дорожні одяги з асфальтобетонними шарами.



Технічні характеристики:

Розміри зразків асфальтобетону, мм	
– довжина	230
– ширина	160
– висота	до 70
Навантаження на зразок, кг	від 50 до 350
Довжина шляху переміщення візка, мм	230±5
Потужність електродвигуна, кВт	0,37
Маса приладу, кг	750

Рисунок 1 – Обладнання для виготовлення зразків асфальтобетону з пристосуванням для випробування зразків на колієутворення

Такі дорожні одяги нерідко під дією транспортного навантаження досить швидко руйнуються та вимагають передчасних ремонтів. Руйнування проявляються різною мірою в залежності від режиму та характеру навантаження. Досить поширеними руйнуваннями асфальтобетонних шарів є тріщини. Тому, в останні роки для підвищення довговічності таких шарів, на практиці досить широко застосовують армуючі прошарки у вигляді синтетичних матеріалів, але їх застосування не підкріплене достатньою теоретичною базою, яка б дозволяла розраховувати асфальтобетонні шари дорожнього одягу з урахуванням особливостей роботи армуючих синтетичних прошарків. Визначення розрахункових характеристик армованого асфальтобетону потребує створення нового спеціального обладнання для виготовлення у стандартних формах зразків армованого синтетичними прошарками асфальтобетону з метою проведення наступних їх випробувань на міцність шарів на розтяг, на визначення модулю пружності та на показник втоми за розробленою методикою. З метою надання можливості здійснення теоретичних розробок, що дозволили б розробити єдину методику розрахунку асфальтобетонних шарів армованих синтетичними матеріалами, створено обладнання для виготовлення зразків армованого асфальтобетону та прилад для визначення його розрахункових характеристик. Обладнання та прилад експлуатуються у випробувальній лабораторії ДП «Держдор НДІ». Загальний вигляд і технічні характеристики обладнання для

виготовлення зразків армованого асфальтобетону показані на рис. 2. Загальний вигляд і технічні характеристики приладу для визначення розрахункових характеристик армованого асфальтобетону показані на рис. 3.



Технічні характеристики:

Зусилля прикочування, максимальне, Н	до 10 000
Діаметр котка, мм	220
Розміри зразка асфальтобетону, мм	
– довжина	600
– ширина	320
– висота	100
Температура в термошафі, ° С	до 60

Рисунок 2 – Обладнання для виготовлення зразків з армованого асфальтобетону



Технічні характеристики:

Швидкість переміщення каретки, мм/хв	265
Величина навантаження, Н	від 0 до 50 000
Тип механізму переміщення каретки	Електро - механічний

Рисунок 3 – Прилад для визначення розрахункових характеристик армованого асфальтобетону

Когезіометр моделі 0906-2(КХД-3)

Визначення показників когезійної міцності бітумних в'язучих дозволяє об'єктивно оцінювати ефективність різних прийомів регулювання їх властивостей та дає можливість прогнозування зсувостійкості та колієстійкості

асфальтобетонних покриттів автомобільної дороги та зсувостійкості бетонів на їх основі. Оцінка властивостей бітумного в'язучого, модифікованого полімером, повинна виконуватись з урахуванням його внутрішньої міцності, яка характеризується показником когезії матеріалу. Фізичним поняттям когезії є ступінь внутрішньої взаємодії молекул матеріалу між собою. Існують різні критерії для оцінювання впливу явища когезії на міцність асфальтобетону, що свідчить про важливість цієї властивості бітумів, з одного боку, та про невизначеність критеріїв оцінювання показника когезії, що пропонують науковці США та країн ЕС, з другого боку. Ці критерії не являються безпосередніми для визначення когезійної міцності бітумного в'язучого, що перешкоджає їх використанню в якості критерію для прогнозування міцності кінцевого продукту – асфальтобетону. З метою отримання можливості визначення когезійної міцності бітумних в'язучих матеріалів на підприємстві створено відповідний прилад — когезіометр моделі 0906-2(КХД-3) з пристроєм для керування робочим процесом, зчитування інформації про результати випробувань, відображення та реєстрацію значення когезійної міцності в обраному інтервалі часу. Прилади експлуатуються у випробувальних лабораторіях ДП «Держдор НДІ» та Відокремленого відділу ДП «Дорожній контроль якості» - «Східне представництво» (у співробітництві з кафедрою технології дорожньо-будівельних матеріалів ХНАДУ). Загальний вигляд і технічні характеристики когезіометру показані на рис. 4.

Обладнання для приготування модифікованого бітуму

Існуючий термін служби асфальтобетонного покриття не задовольняє вимоги сучасного транспортного руху. Це, в основному, пов'язано зі збільшенням транспортних навантажень за рахунок підвищення інтенсивності руху на дорогах і зростання частки автомобілів з підвищеним навантаженням на вісі. Крім того, на довговічність асфальтобетонного покриття негативно впливає зміна клімату, що сприяє аномально високому нагріванню покриття в літній період і різкому охолодженню в зимовий. Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття поширилась тенденція поліпшення фізико-механічних характеристик традиційних дорожніх бітумів і асфальтобетонних сумішей за рахунок застосування різних добавок. Низька довговічність дорожніх покриттів пов'язана з низькими показниками фізико-механічних властивостей як бітуму, так і асфальтобетону.



Технічні характеристики:

Швидкість переміщення стрічки мм/хв	від 4 до 8
Межі вимірювання зусилля, Н	від 0 до 200
Точність вимірювання зусилля, Н	$\pm 0,03$
Площа зразка бітуму на стрічці, мм	250
Маса приладу, кг	85

Рисунок 4 – Прилад для визначення когезійної міцності бітумних в'язучих матеріалів (когезіометр)

Практика останніх років показала, що багато властивостей можуть бути покращені, а недоліки дорожнього бітуму і асфальтобетону усунені частково або повністю за рахунок введення в бітум спеціальних матеріалів – модифікаторів. На даний час існує значна різноманітність модифікаторів, що направлено регулюють технологічні властивості бітумного в'язучого та асфальтобетонних сумішей. З їх допомогою регулюють адгезійні і когезійні властивості в'язучих матеріалів, а також фізико-хімічні та фізико-механічні властивості бітумів і асфальтобетону. Для отримання модифікованого бітуму необхідно забезпечити інтенсивне перемішування його складових, визначених розрахунками. На підприємстві створено обладнання для приготування бітуму, модифікованого полімерами і адгезійними добавками у двох варіантах: з посудиною для бітумного в'язучого ємністю 2 дм³ і 7 дм³. Обладнання експлуатуються у випробувальних лабораторіях ДП «Держдор НДІ» та ДП «Дорожній контроль якості». Загальний вигляд і технічні характеристики обладнання показані на рис.5.

Прилад для визначення легкоукладальності асфальтобетонної суміші

Під час укладання кожного шару асфальтобетонного покриття автомобільної дороги в ньому можуть виникати різні дефекти, що обумовлені властивістю асфальтобетонної суміші та технічним станом обладнання, застосованого при виконанні цієї операції. Для мінімізації отримання дефектів при виконанні укладання асфальтобетонної суміші (далі – суміш) необхідно

забезпечити якість шару, що укладається, низкою технологічних властивостей, серед яких одним з важливіших є легкоукладальність суміші.



Технічні характеристики:

Привід робочого механізму	електромеханічний
Електродвигун:	
– тип	трифазний
– робоча напруга, В	220
– кількість обертів за хвилину	1500
– потужність, кВт	0,25
Механічна передача:	
– тип	клинопасова
– передаточне число	1,0
– кількість обертів змішувача за хвилину	від 100 до 1500
Розігрів матеріалу нагрівачем:	
– тип	теплоелектричний
– кількість нагрівачів, шт	2
– потужність нагрівача, кВт	1,0
– теплоносії	масло МС-20
– кількість теплоносія, л	5,5
Посудина для бітуму:	
– кількість, шт	2
– місткість, дм ³	2,0
Маса обладнання, кг	40

Рисунок 5 – Прилад для визначення когезійної міцності бітумних в'язучих матеріалів (когезіометр)

Фізико-механічні характеристики сумішей на основі органічних в'язучих та методи їх визначення регламентуються національними стандартами України. Але показник легкоукладальності стандартами України не регламентується та методів визначення цього показника не існує, хоча легкоукладальність обумовлює якість всіх видів сумішей та асфальтобетонів. При роботі з сумішами легкоукладальність проявляється на стадіях завантаження у транспортні засоби або у бункери – накопичувачі, завантаження в приймальний бункер асфальтоукладача та укладання суміші в конструктивний шар покриття. Легкоукладальність може слугувати важливим засобом визначення ефективності різноманітних добавок для приготування сумішей. Визначення легкоукладальності сумішей дає можливість визначення найбільш сприятливих температур їх приготування та укладання. Зниження температури виробництва

та укладання сумішей дає відчутну економію енергії та знижує об'єм шкідливих викидів в атмосферу. На підприємстві створено прилад для визначення легкоукладальності суміші з пристроєм для керування робочим процесом, зчитування інформації про результати випробувань, її відображення та реєстрація, розроблена методика визначення легкоукладальності асфальтобетонної суміші приладом. Прилад передано для проведення дослідної експлуатації у випробувальній лабораторії ДП «ДерждорНДІ». Загальний вигляд і технічні характеристики приладу показані на рис. 6.



Технічні характеристики:

Кількість форм, шт	2
Маса суміші у формі, кг :	
великий	12
малій	6
Швидкість переміщення штовхача, см/с	від 0,04 до 4
Зусилля, що прикладене до штовхача, Н	до 250

Рисунок 6 – Прилад для визначення легкоукладальності асфальтобетонної суміші

Вібростенд для визначення динамічних модулів пружності асфальтобетону.

Однією з найважливіших характеристик асфальтобетону, що використовується при виборі конструкції дорожнього одягу та при оцінці експлуатаційної надійності, є динамічний модуль пружності. Значення динамічних модулів пружності, що визначаються на діючому в країні обладнанні, можна вважати такими, що відповідають лінійній області деформування асфальтобетону. У даний час дорожні одяги в частині теорії розрахунків перестали бути якимись «особливими інженерними конструкціями», застосування до яких методів теорії пружності не є коректним. Доведена та перемогла точка зору, що критерії міцності та методи розрахунку нежорсткого дорожнього одягу цілком обґрунтовано можуть базуватися на фундаментальних законах теорії пружності. В країнах Європейської співдружності діє стандарт, за яким динамічні модулі пружності визначають за

допомогою вібраційного стенду, що забезпечує виконання зазначених вище умов. На підприємстві виготовлено експериментальний зразок приладу для визначення динамічних модулів пружності зразків з асфальтобетонних матеріалів – вібростенд, проведено його дослідну експлуатацію. Вібростенд уможливорює визначення динамічних модулів пружності зразків з асфальтобетонних матеріалів за різними частотами та температурами при виборі складу суміші та проведенні розрахунків товщини шарів дорожнього одягу, які забезпечать необхідну міцність та довговічність автомобільної дороги, в умовах випробувальної лабораторії наукової установи або підприємства дорожньої галузі. Створений вібростенд дозволяє визначати критерії міцності та методи розрахунку нежорсткого дорожнього одягу, зважаючи на фундаментальні закони теорії пружності. Вібростенд укомплектовано пристроєм управління та зчитування інформації про результати випробувань і призначений для забезпечення керування виконавчими механізмами та відображення та реєстрації результатів випробувань в автоматичному режимі. Прилад передано для експлуатації у випробувальній лабораторії ДП «ДерждорНДІ». Загальний вигляд і технічні характеристики приладу показані на рис. 7.



Технічні характеристики:

Зусилля робоче, Н	100
Діапазон амплітуди коливань зразка матеріалу, мм	від 0 до 5
Діапазон частоти коливань, Гц	від 0,02 до 33
Діапазон температур у робочій камері, °С	від мінус 24 до 50

Рисунок 7 – Прилад для визначення динамічних модулів пружності зразків з асфальтобетонних матеріалів (вібростенд)

Прилад для визначення зчеплення між асфальтобетонними шарами.

Під час моніторингу якості виконаних робіт з улаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу залишається проблемним питання

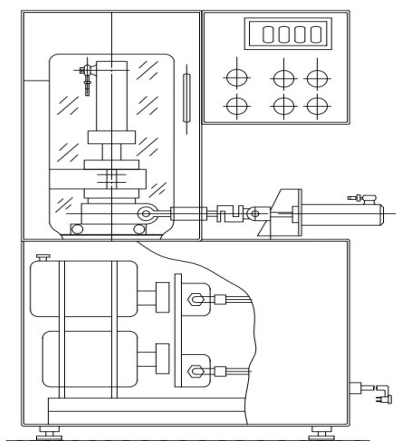
оцінки зчеплення між шарами та стійкості при зсуві під впливом зміни зовнішніх умов (температура, активне навантаження та частота його прикладання). Відсутність дієвих методів та відповідного сучасного обладнання або приладів не дозволяє вирішити ці питання, що, в свою чергу, не дає можливості повноцінно контролювати якість асфальтобетонної конструкції дорожнього одягу, впливати на склад суміші при проектуванні дорожнього одягу з метою поліпшення її технічних характеристик, зокрема колієстійкості та зсувостійкості. Підприємство приступило до створення приладу для визначення зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу та врахування граничного стану при зсуві за різними кліматичними умовами та параметрами навантаження від сучасних транспортних засобів при проектуванні дорожнього одягу (далі – прилад). Проведення наукових досліджень з використанням приладу дозволить розробити методику визначення міцності зчеплення та стійкості при зсуві між конструктивними шарами асфальтобетонного покриття при проектуванні дорожнього одягу різних типів на дорогах загального користування та контролюванні якості дорожнього покриття, та дозволять підвищити колієстійкість і зсувостійкість в асфальтобетонних шарах покриття автомобільної дороги. Врахування результатів досліджень при проектуванні дорожнього одягу дозволить підвищити колієстійкість і зсувостійкість дорожнього покриття.

Креслення загального вигляду приладу і основні технічні характеристики приведені на рис. 8.

Причіпний дорожньо-вимірювальний комплекс ПДВК – ДЯ

Оцінка і діагностування стану автомобільних доріг є основою системи управління станом автомобільних доріг, у тому числі планування, розподілювання та використання коштів, що направляються на утримання, ремонт і реконструкцію доріг, оптимізацію програм дорожніх робіт.

Ефективність вимірювання основних транспортно-експлуатаційних характеристик автомобільної дороги та продуктивність діагностичних робіт підвищуються за умов можливості одночасного вимірювання декількох параметрів та підвищення швидкості процесу вимірювання.



Технічні характеристики:

Зусилля зрізування, кгс	до 2500
Тиск у гідросистемі, МПа	до 10
Температура у термошафі, С	до 50
Маса приладу, кг	не більше 250

Рисунок 8 – Прилад для визначення зчеплення між шарами асфальтобетонного покриття

З метою вирішення цієї задачі фахівці підприємства створили причіпний дорожньо-вимірювальний комплекс з системою автоматичного управління робочими процесами – ПДВК – ДЯ (далі – комплекс) за допомогою якого здійснюється інспекційний контроль якості дорожньо-будівельних робіт та моніторинг поточного стану покриття автомобільної дороги, що включає визначення його основних експлуатаційних показників: міцність дорожнього покриття, що в більшості випадків достатньо повно може бути охарактеризована величиною його пружного прогину під навантаженням; повздовжня рівність покриття автомобільної дороги, що вимірюється в автоматичному режимі поштовхоміром моделі 0905 – приладом, створеним на підприємстві; зчіпні характеристики поверхні покриття проїзної частини автомобільної дороги, що визначаються приладом, змонтованим на шасі комплексу, який складено з таких основних частин: вимірювального колеса, гальмівного циліндру і клапану зливу води.

Фіксування координат початкової точки проведення контролю рівності і зчіпних характеристик поверхні покриття автомобільної дороги, а також протяжності процесу вимірювання цих показників, здійснюється змонтованим на шасі комплексу приладом, що показує відстань і швидкість руху пересувної лабораторії з причіпним комплексом. Показання приладу відображаються на дисплеї бортового комп'ютера одночасно з показниками визначення рівності і зчіпних характеристик.

Загальний вигляд і технічні характеристики комплексу показані на рис. 9. Загальний вигляд і технічні характеристики поштовхоміра показані на рис. 10.



Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання модуля пружності дорожнього одягу, МПа	від 100 до 400
Діапазон вимірювання рівності покриття автомобільної дороги, см/км	від 0 до 50
Діапазон вимірювання показника зчіпних якостей покриття автомобільної дороги	від 0,1 до 0,9
Маса ударника, кг	110
Висота падіння ударника, мм	740
Напруга живлення гідроелектроприводу, В	12
Маса комплексу, кг	420

Рисунок 9 – Причіпний дорожньо-вимірювальний комплекс



Технічні характеристики:

Тип	оптико-електричний
Живлення	від бортової системи автомобіля
Напруга, В	12
Інформаційне табло для зняття визначених показників	ЖКІ

Рисунок 10 – Прилад для визначення рівності покриття автомобільної дороги

Щільномір моделі 0503

Земляне полотно для автомобільної дороги являється фундаментом для наступних шарів дорожнього одягу. Допущені похибки у процесі вироблення земляних робіт щодо улаштування земляного полотна важко виправити після улаштування дорожнього одягу, тому контроль якості улаштування земляного полотна є важливою ланкою у процесі. Зокрема, для контролю щільності ґрунтів у польових умовах пропонується щільномір моделі 0503, що імітує роботу стандартного лабораторного приладу СоюздорНДІ. Прилад визначає ущільнення піщаних, супіщаних та суглинистих ґрунтів, що містять не більше ніж 25% твердих часток завбільшки понад 2 мм. Для здійснення контролю ступені ущільнення ґрунтів і «свіжого» асфальтобетону покриття автомобільної дороги

пропонується щільномір моделі 0502. Загальний вигляд і технічні характеристики щільноміру динамічного моделі 0503 показані на рис. 11.



Технічні характеристики:

Висота падіння гирі, мм	300
Маса гирі, кг	2,5
Довжина штанги для гирі, мм	560
Довжина штанги для наконечника конусного, мм	294
Висота кільця ріжучого, мм	50
Внутрішній діаметр кільця ріжучого, мм	50,5
Кут конусу, градус	60
Маса приладу, кг	6,2

Рисунок 11 – Щільномір динамічний для визначення ступеню ущільнення ґрунтів експрес-методом

Підприємство виготовляє низку стандартних виробів, що мають попит у підприємств і організацій дорожньої галузі: прилад для визначення злежуваності холодного асфальтобетону та форми циліндричні для приготування зразків асфальтобетону, кільця ріжучі для відбору проб ґрунту та ін.

Висновки. Дієвий контроль якості ДБМ і закінчених конструктивних елементів дорожнього одягу та контроль якості виконання робіт з будівництва, ремонту та утриманню автомобільних доріг загального призначення в великій мірі залежить від наявності в підприємствах, організаціях і наукових установах дорожньої галузі сучасного випробувального і контрольного обладнання і приладів.

Обладнання і прилади, що їх виготовляє ДП «Дорожній контроль якості», отримали позитивну оцінку фахівців дорожньої галузі.

Зважаючи на існування в складі Укравтодору Державного підприємства «Науково-технічний центр «Дорожній контроль якості», фахівців, які мають багаторічний досвід розроблення та виготовлення обладнання та приладів, для контролю якості дорожньо-будівельних матеріалів і дорожніх робіт на усіх етапах створення автомобільної дороги, та таких, що не поступаються за технічними показниками аналогічним імпортним виробам, але суттєво виграють за вартістю, та за сприяння створенню нового випробувального та контрольного обладнання та приладів Укравтодором, потрібна подальша підтримка розвитку вітчизняного приладобудування для потреб дорожньої галузі.

ЕКОНОМІКА ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА, ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА ТА ОЦІНКА МАЙНА

УДК 69.003

Бондаренко Є.В. докт. екон. наук., **Яценко Б.І.**, канд. екон. наук.,
Курська Т.М. канд. техн. наук.

БЮДЖЕТНИЙ КОНТРОЛЬ ЦИВІЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА

Анотація. Робота присвячена дослідженню теоретичних, методичних і практичних аспектів організації бюджетного контролю (БК) на підприємствах цивільного будівництва, що є учасниками інвестиційних проектів ДПП. БК розглядається як процес вироблення механізму управління партнерством, ресурсами і фінансами та модерації проекту державно-приватного партнерства. Для забезпечення управління взаємодією зацікавлених сторін, виконання зобов'язань інституційними інвесторами в проектах ДПП на основі забезпечення цільових орієнтирів бюджетного контролю створюється незалежне організаційно-економічне формування - **Управляюча Компанія**. Вона являє собою спеціальну структуру, що в межах процесних функцій застосовує аналітичний інструментарій (моделі) бюджетного контролю, адаптований до сучасної системи управління будівельними організаціями на всіх етапах життєвого циклу проекту ДПП (будівництво об'єкту).

Модель «**Модератор-процеси-результат**» надає комплексне рішення з повною інтеграцією всіх функцій планування, обліку, контролю в єдиному інформаційному просторі, і забезпечує будівельні компанії новими інструментами управління, що дозволяє оцінити будівельний проект ДПП на основі індикаторів обсягів робіт та їхньої вартості, надає можливості календарного планування, формування графіка потреби в ресурсах і коштах, і одночасно вирішує пропроектні облікові завдання управління грошовими потоками будівельного виробництва, надзвичайно актуальними в умовах кризи.

Ключові слова : будівельна організація ,бюджетний контроль ,державно-приватне партнерство , інституційні інвестори , управляюча компанія .

The abstract. The thesis is devoted to study of the theoretical, methodological and practical aspects of budgetary control (BC) in the construction of PPP projects, where BC is considered as a process to elaborate a mechanism of management of the partnership, resources and Finance and moderation of the project public-private partnership (PPP) using the methods and instruments of management systems to achieve the objectives of the project. To ensure that control the interaction of interested parties, the obligations of institutional investors in PPP projects on the basis of the targets of budgetary control is created independent of the organizational-economic formation - Management Company. It is a special structure, and process functions applies analytical tools (models) budgetary control, adapted to the modern project management system, the organization as a regulatory mechanism and basis for the implementation of the PPP project.

Model "Moderator-processes-results" provides a complete solution with full I integration of all functions of planning, accounting, control in a single information space, j and provides construction companies with new management tools that allows to evaluate I the construction of the PPP project from the point of view of the scope and their value, and provides scheduling , timing of resource needs and means, and simultaneously solvesproject accounting problems of cash flow management of building production, are i extremely relevant in the conditions of crisis.

Key words: construction organization, budgetary control, public-private partnership (PPP), institutional investors, Management Company.

Постанова проблеми. Протягом минулих років економічних перетворень в Україні мали місце серйозні вади в інвестиційних процесах , які у стратегічному контексті містять у собі суттєву загрозу суспільному відтворенню й економічній безпеці, в першу чергу, для підприємств будівельної галузі. Дефіцит інвестиційних ресурсів (особливо, значне падіння інвестицій за рахунок скорочення видатків бюджету на фінансування капітальних вкладень) для реалізації інвестиційно- будівельних завдань державних програм і масштабних будівельних проектів, свідчить про наявність серйозних проблем і викривлень в економічних відносинах.

Державно-приватне партнерство (ДПП) є засобом залучення коштів приватних інвесторів до проектів зі збереженням контролю над важливими ресурсами з боку державних та місцевих органів влади. Водночас державна підтримка дозволяє знизити ризики приватних інвестицій, підвищити надійність інвестиційних проектів для кредитних організацій. Бюджетний контроль (БК) в будівельних проектах ДПП передбачає чіткий розподіл ролі і функцій держави та приватних інвесторів, визначення особливостей і принципів взаємодії сторін, діагностики ефективності та цільового використання залучених коштів державного бюджету на засадах оцінки та конкурсного відбору інвестиційних проектів та суб'єктів ринку підрядного будівництва, інституційне регулювання процесів партнерства на всіх стадіях його практичного впровадження.

Аналіз останніх публікацій. Теоретико-методологічні основи становлення економічного змісту та природи

ДПП, аспекти його формування та організації в управлінні діяльністю підприємств знайшли певне висвітлення в працях вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема: економічні основи ДПП досліджували О.В. Ареф'єва, І.А. Брайловський, О.В. Дикий, Н.І. Дучинська, Ю.А. Іваннік, В.Г. Федоренко, проблеми правового регулювання : відносин ДПП - А.В. Баженов, А.В. Білицька, М.В. Вілісов, О.М. Вінник, М.А. Дерябіна; світовому досвіду використання ДПП в інфраструктурі, на залізницях"- та в автодорожньому господарстві, у сфері освіти та охорони здоров'я та ін. присвятили свої роботи Д. Делмон, В.Ф. Демішкан, І.В. Іголкін, А.В. Мостепанюк, Н.І. Чухрай; аналіз розвиненості ринку ДПП у європейських країнах провели В.Г. Варнавський, М. Лендшел, В.А. Кабашкін, В.Є. Сазонов, П. Сегварі; питання розвитку бюджетної підтримки ДПП в своїх роботах охопили Л.Л. Гриценко, І. В. Запатріна, М.О. Кизим, Ю.М. Манцевич, О.О. Солодовнік та ін.

Наукова полеміка, що триває у вітчизняній економічній науці щодо організації бюджетного контролю відображена у працях таких вчених, як І.О. Бланк, Т.А. Бутинець, О.П. Гетманець, Є.В. Калюга, О.П. Кириленко, А.І. Крисоватий, Н.М. Малюга, Н.І. Машина, Є.В. Мних, В.М. Федосов, В.Д. Чернадчук, Л.М. Чернелевський, С.М. Шкарлет та ін. Однак розгляд таких питань, як поєднання двох форм власності з метою фінансування певних соціально значущих проектів, відмінність інтересів в таких партнерствах, організація бюджетного контролю для досягнення цілей проекту ДПП

комплексно не вивчалися. Отже, потреба адаптації форм управління та організаційно-економічних процесів реалізації будівельних проектів на засадах ДПП, визначає актуальність роботи.

Викладення основного матеріалу

На базі конструктивного аналізу еволюції економічних концепцій, методологічних і науково-методичних положень теорій інвестування та державного регулювання економіки встановлено, що позиція різних авторів стосовно категоріальної сутності, структурно - елементного складу ДПП та специфіка його прояву через функціональні індикатори бюджетного контролю в істотній мірі залежить не тільки від наведених ними об'єктивних наукових аргументів, але і від їх ціннісно-ідеологічної позиції, сформованої під впливом економічно- адміністративної зрілості оточуючого середовища. Як показує зарубіжна практика, розвиток ринку проектів ДПП є чутливим механізмом, який формується на основі ефективної діяльності органів державного управління, зрілості нормативно-інституційного середовища та економічної готовності приватного бізнесу до участі в такій довгостроковій співпраці при реалізації соціально-необхідних проектів. За даними Світового банку щодо проектів ДПП в галузі інфраструктури в Україні протягом 1990-2016 років реалізовано 58 проектів , які інвестовано понад 14 млн. дол. США , з них близько 11,7 млн. дол. США – в галузі телекомунікацій . До складу проектів ДПП включено проекти , на основі договорів управління, оренди, концесії, приватизації активів. Такий підхід до розуміння ДПП не відповідає вимогам українського законодавства, згідно якого, об'єкти ДПП не можуть бути приватизовані протягом усього строку дії угоди. Підвищення життєздатності інвестиційно-будівельних проектів, в рамках багатоцільового та довгострокового характеру ДПП, можливе за умови дотримання партнерами основних принципів ДПП. Передбачається, що діяльність партнерів у рамках ДПП є взаємовигідною: для держави - вирішення складних проблем цивільного будівництва за рахунок отримання додаткових джерел фінансування в умовах бюджетної економії при збереженні *контрольних функцій* в соціально-значущих будівельних проектах; для бізнесу - збільшення вартості капіталу за рахунок зростання обсягів виробництва, розвитку нових ринків (ємних, стійких і передбачуваних), стабільне збільшення прибутку, полегшення виходу з кризового стану, активізація залучення інвестицій в реальний сектор економіки. Тому будівельним організаціям (**БО**), є вигідною

участь у проектах У ДПП з врахуванням таких чинників: приватний партнер отримує інвестиційний ресурс від державного партнера, забезпечуючи стабільне отримання прибутку в довгостроковій перспективі; БО, спираючись на ефективність та якість менеджменту, може гарантувати успіх і належну реалізацію проектів ДПП; БО, здійснюючи інвестиції, отримує гарантії їх повернення; володіючи господарською свободою, БО може за рахунок підвищення продуктивності праці, інновацій збільшувати загальну прибутковість бізнесу в період реалізації проекту ДПП.

Залишаються загальною вадою, як для проектів ДПП так і для організації будівництва в Україні, високі транзакційні витрати, пов'язані із громіздкою системою отримання дозволів і погоджень. Відповідно до умов сьогодення 'інвестиційний клімат в Україні є досить ризикованим: за даними Європейської Бізнес Асоціації інвестиційна привабливість України 2018 року залишилась низькою та знизилась у порівнянні з показниками 2016-2017 рр. 2014 - 2,65 балів з п'яти можливих. Тому, в даних умовах, не варто очікувати на іноземні інвестиції, а необхідно стимулювати вітчизняних інвесторів.

Організація бюджетного контролю, являє собою функцію управління взаємодією зацікавлених сторін в проектах ДПП, та є засобом, спрямованим на досягнення цілі інвестиційно-будівельного проекту в довгостроковій перспективі, та інструментом управління інвестиційним процесом в проектах ДПП. Тому БК це не лише контроль за цільовим використанням державних фінансів залучених до проекту ДПП, а контроль, який починається з стадії проектування, та триває на всьому періоді функціонування проекту.

Це дало змогу визначити перешкоди та ризики, що заважають створенню впливу на розвиток ДПП у векторі держава - будівельні підприємства надати пропозиції щодо внесення змін до законодавства про ДПП в Україні та сформулювати етапи та сектори бюджетного контролю за реалізацією будівельно-інвестиційних проектів на засадах ДПП. Враховуючи складність системи органів бюджетного контролю, встановлено, що органи, які беруть участь у розробці та реалізації проектів ДПП не відносяться до суб'єктів БК, та наділені лише повноваженнями щодо перевірки виконання договорів ДПП.

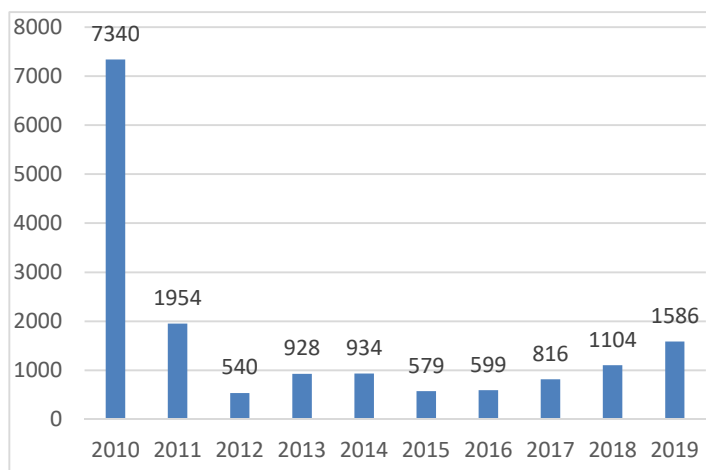


Рисунок 1 – Загальна кількість та сума інвестиції в проекти ДПП в Україні 2010-2019рр. за типами у відповідних галузях

Як свідчать статистичні дані станом на 01.01.2018 р. в Україні налічувалось 16,4 тис. об'єктів, що знаходились у стадії незавершеного будівництва (рис. 3). Із загальної кількості незавершених об'єктів 6,3 тис., або 38,5%, знаходились у стадії будівництва, а на 10,1 тис. (61,5%) будівництво тимчасово припинено або законсервовано.

Основною причиною припинення будівництва на протязі останніх років, як зазначають забудовники, є відсутність фінансування. Значна кількість об'єктів незавершеного будівництва є причиною неефективного управління та використання бюджетних коштів, зокрема, неефективне управління коштами через недоліки в бюджетному плануванні неефективне використання коштів через відсутність обґрунтованого прогнозування та планування, втрати бюджету внаслідок прийняття необґрунтованих їх управлінських рішень, неефективне використання коштів шляхом тривалого утримання без використання на реєстраційних рахунках розпорядників бюджетних коштів та на поточних рахунках підвідомчих організацій та порушення під час здійснення закупівель товарів, робіт і послуг за державні кошти. Тому, на думку автора, використання системи ДПП значною мірою є більш ефективною на відміну від реалізації будівельних проектів на засадах державних закупівель (ДЗ) (рис. 1).

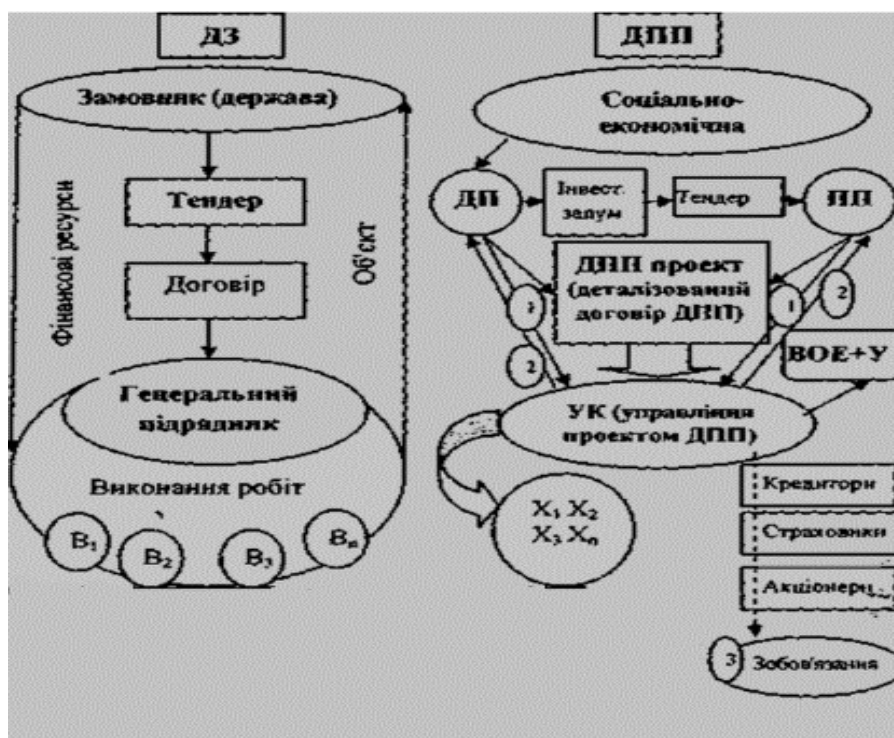


Рисунок 2 – Відмінність між алгоритмом ДЗ та ДПП в будівництві

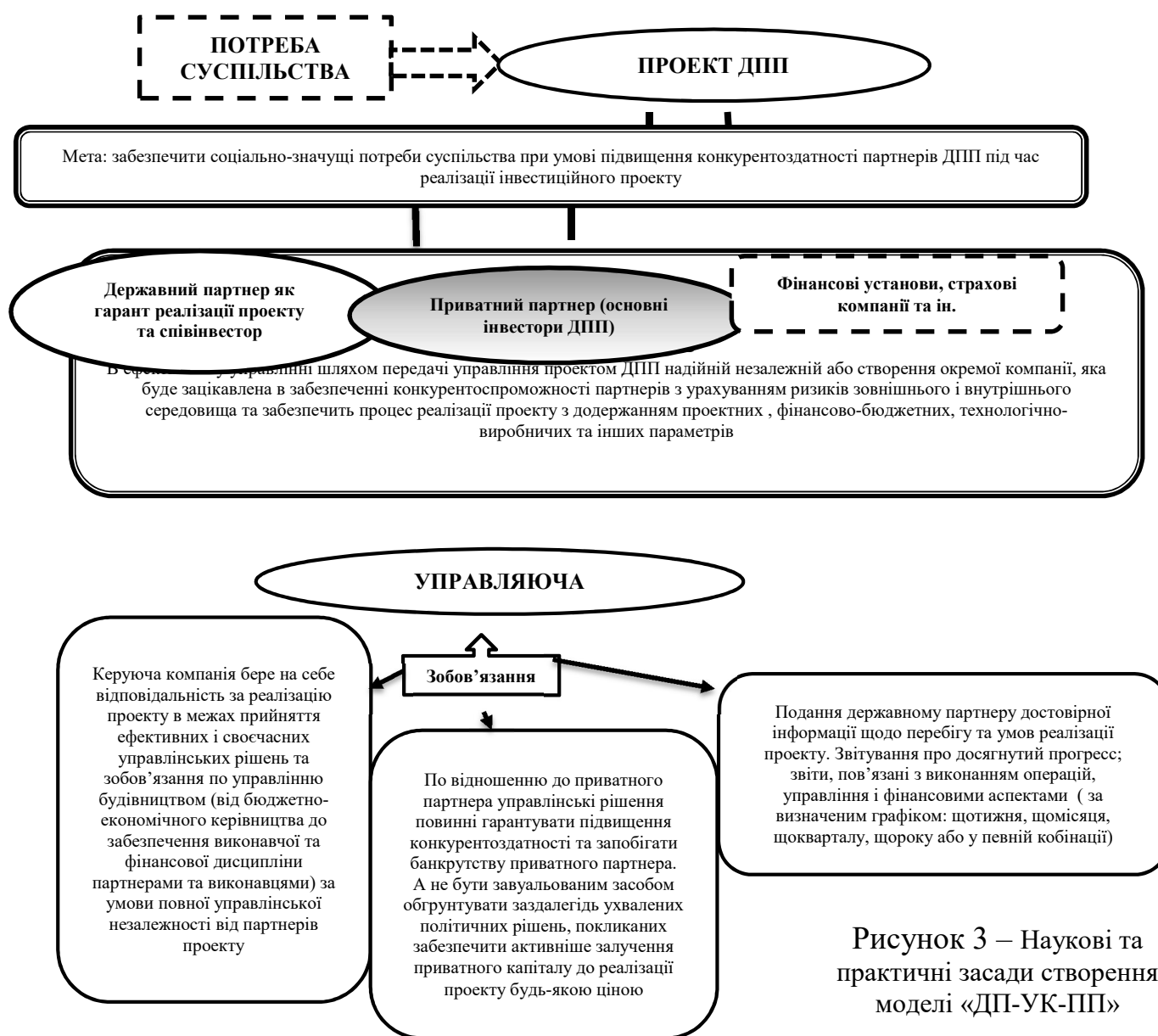
На основі аналізу доведено, що при визначенні цілей проекту ДПП необхідно керуватися кінцевим результатом, а не розміром чи максимізацією приватних інвестицій, що стало причиною розірвання багатьох контрактів ДПП в Україні. Доцільність створення інтегрованої моделі «Державний партнер - управляюча компанія - приватний партнер» обумовлена досягненням цілі проекту ДПП в довгостроковій перспективі (рис. 2), тобто управління на всіх етапах життєвого циклу проекту (ЖЦП).

Відповідно, методи бюджетного контролю в ДПП матимуть кілька векторів: контроль результатів та контроль стану процесів, які працюватимуть у взаємодії в межах інтегрованої моделі реалізації проекту ДПП

Відповідно, методи бюджетного контролю в ДПП матимуть кілька векторів: контроль результатів та контроль стану процесів, які працюватимуть у взаємодії в межах інтегрованої моделі реалізації проекту ДПП

В процесі дослідження доведено, що уникнути ризику неможливо, проте можливо та необхідно його вимірювати, особливо у вартісному значенні оскільки це впливає на LCC і КРП (календарно-ресурсний план). Кількісно та якісно оцінити можливі альтернативи при прийнятті управлінських рішення можливо за допомогою економіко-математичних методів і моделей, наведених в

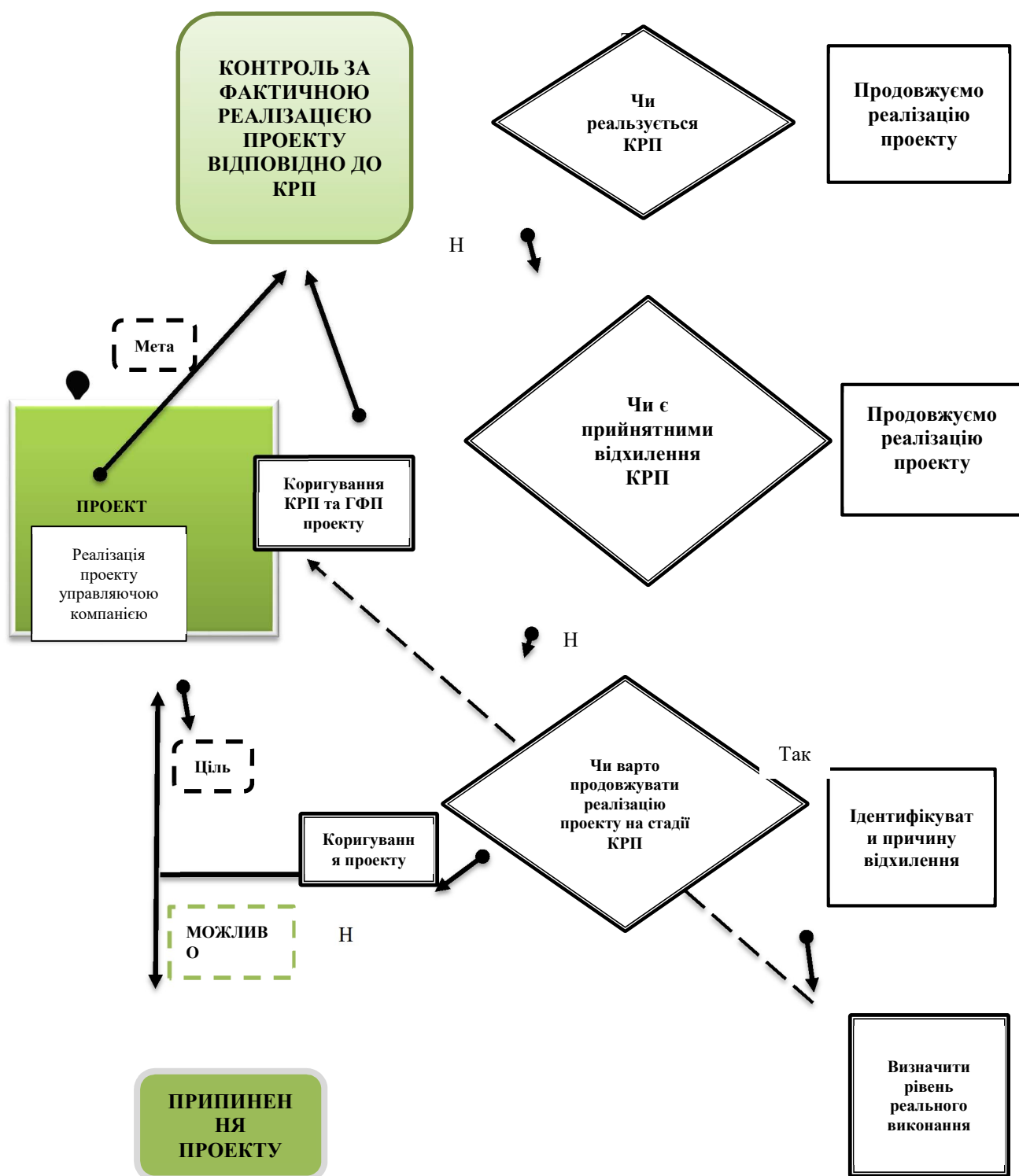
дисертаційній роботі. Відповідно, прийняття рішень в умовах впливу факторів ризику, ґрунтуються на використанні критерію очікуваного значення, у відповідності з яким альтернативні рішення порівнюються з точки зору максимізації очікуваного прибутку або мінімізації очікуваних витрат.



Висновки

Результатом роботи є, обґрунтування науково-прикладних задач, що полягають в розробці моделей та прикладного інструментарію, які в сукупності створюють апарат функціонування системи управління та бюджетного контролю за реалізацією проектів ДПП.

Значення для науки полягає у запропонованій організаційно-економічній моделі «Державний партнер - управляюча компанія - приватний, партнер», яка створює наукову основу для забезпечення професійного та незалежного управління інвестиційно-будівельним проектом ДПП на засадах бюджетного контролю, з метою стимулювання інвестиційної діяльності підприємств цивільного будівництва в рамках виконання проектів ДПП.



Значення для практики полягає в удосконаленні процесу бюджетного контролю, який спрямований на виконання зобов'язань інституційними інвесторами від початку реалізації до фактичної «ліквідації» проекту, що дозволяє підвищити і якість управління проектом ДПП в умовах невизначеності з метою досягнення цілі проекту та забезпечити гарантії захисту інвестицій партнерів.

Результати проведеного дослідження можна узагальнити в таких висновках теоретичного, методичного та науково-практичного характеру:

1) З'ясовано, що серед наукових поглядів щодо поняття «державно-приватне партнерство» немає єдності в трактуванні і змістовному наповненні цієї категорії стосовно категоріальної сутності ДПП, структурно - елементного складу та специфіки його прояву через функціональні індикатори бюджетного контролю. Провівши порівняльний аналіз існуючих визначень поняття «державно-приватне партнерство», вважаємо за необхідне запропонувати наступне авторське уточнення зазначеного поняття, сутність якого полягає в тому, що ДПП - це юридично закріплена форма взаємодії та рівноправної співпраці державного і приватного партнерів з метою реалізації спільних соціально-економічних інвестиційних проектів на основі хеджування ризиків та відповідальності за умови забезпечення конкурентоздатності обох партнерів відповідно до формування цільових орієнтирів бюджетного контролю виконання зобов'язань інституційними інвесторами.

2) Встановлено, що галузі, яким надає переваги кожна держава для реалізації інвестиційно-будівельних проектів в форматі ДПП залежить від соціального, економічного та інституційного розвитку країни, досконалості правового регулювання основних складових механізму ДПП та широти законодавчо закріплених можливостей його реалізації. У світовій практиці є позитивні приклади реалізованих проектів ДПП, що стосується України, то дана система відносин знаходиться на стадії зародження.

3) Виявлено, що інвестиції вітчизняних БП не мають надійного економічно- правового захисту. Законодавством не передбачено гарантій вітчизняним інвесторам (приватним учасникам ДПП) у разі припинення реалізації проекту ДПП не з вини приватного партнера (ПП), тобто відсутній механізм відшкодування збитків, включаючи упущену вигоду і моральну шкоду; та не передбачено компенсації інвестицій у грошовій чи товарній формі за

реальною ринковою вартістю на момент припинення ДПП. З огляду на те, що станом на 01.01.2014 р., значна кількість будівельно-інвестиційних проєктів, що реалізовувалися на засадах фінансово- економічної взаємодії держави та бізнесу (переважно на засадах державних закупівель) залишилися у стадії незавершеного будівництва (16,4 тис. об'єктів) з них на 10,1 тис. (61,5%) будівництво тимчасово припинено або законсервовано у зв'язку з дефіцитом інвестиційних ресурсів, то економічна і правова захищеність ПП та державного партнера (ДП) - це необхідні передумови розвитку ДПП.

4) З метою забезпечення стимулювання інвестиційної діяльності БП в форматі ДПП та розвитку регіонального та місцевого ДПП на законодавчому рівні необхідно усунути вимогу про те, що органи місцевого самоврядування повинні одержувати схвалення ДПП від органів державної влади, крім випадків, якщо за відповідним договором буде необхідна державна підтримка. Внести зміни до Бюджетного та Податкового кодексів України, що визначатимуть: можливість держави надавати пільги ПП; види підтримки проєктів ДПП, а також передбачити відповідні механізми здійснення такої підтримки, враховуючи те, що найбільш вигідними у проєктах будівництва є ті види підтримки, які забезпечують максимум фінансування на початковій стадії реалізації проєкту ДПП. Обґрунтовано методологічні засади організації бюджетного контролю інвестиційно-будівельних програм та проєктів ДПП через структурування суб'єктів та об'єктів контролю на основі інтеграції концепцій стратегічного динамічного управління та ситуаційного менеджменту. Об'єктом бюджетного контролю визначено процес, який передбачає узгодження цілей і параметрів взаємодії між контрактними зобов'язаннями та учасниками проєкту, розподіл ресурсів та вибір і прийняття організаційних, економічних, технологічних рішень для досягнення поставлених цілей проєкту. З точки зору бюджетного контролю, державні установи, які беруть участь у розробці та реалізації проєктів ДПП не відносяться до суб'єктів бюджетного контролю, оскільки наділені лише окремими повноваженнями щодо перевірки виконання договорів ДПП.

5. Для забезпечення реалізації проєктів ДПП, інноваційну організаційно-економічну структуру у вигляді моделі *«Державний партнер - управляюча компанія - приватний партнер»*, де основою моделі є три складові: ДП, як соціальний гарант реалізації проєкту, ПП, як ціннісно орієнтований інвестор та УК як інтегрована структура системи управління партнерством

(ІССУП). Дана модель запроваджує нові підходи до забезпечення реалізації проектів ДПП будівельними підприємствами та ефективного управління проектом як інтегрованою системою взаємодії учасників та ефективного використання ресурсів. Модель створює наукову основу для забезпечення професійного та незалежного управління проектом ДПП з метою захисту конкурентоздатності партнерів та може стати передумовою активізації інвестиційної діяльності підприємств цивільного будівництва в рамках виконання проектів ДПП.

Перелік посилань

1. Бондаренко Є.В. базові елементи концепції та моделі державного-приватного партнерства в реалізації інвестиційно-будівельних проектів :зміна парадигми управління та інноваційні рішення для бізнесу .Економічний вісник університету : зб. наук. пр. Переяслав – Хмельниць . держ. пет. ун-т ім. Г. Т. Сковороди. –Вип.1(23).-Переяслав-Хмельницький , 2018 .-С.57-63(збірник входить до науко-метричних баз :РИНЦ (Росія), Ulrich's Periodicals Directory (США)).
2. Яценко І.В. Методологічні основи та практика бюджетного контролю в стратегії управління будівельної організації .Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин : зб. наук праць. –Вип.26-К.:КНУБА,2018.-201-216.
3. Кіщенко Т.Є. Сучасна парадигма формування стратегії державно-приватного партнерства в форматі конструктивної взаємодії держави та будівельних організацій : механізм управління та діагностика. Формування ринкових відносин в Україні : зб. наук. праць.-№11 (150).-к.:НДЕІ,2017. – С. 102-108.
4. Кіщенко Т.М Методологія вартісно-орієнтованого управління будівельним підприємством на основі функціонального-організаційних інструментів бюджетного контролю. Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин :зб. наук. праць. –Вип.30. У 3ч. Ч. 2 – К.: КНУБА, 2018.-200. – С. 3-11.
5. Іщенко Т.М. Аналітичні інструменти та програмні продукти бюджетного контролю будівельних проектів у форматі дпп (державного приватного партнерства).Т .М. Іщенко. Програма 75-ї науково-практичної конференції (15-18 квітня 2016 року, м. Київ).- К.:КНУБА,2016. – С. 90.

УДК 339.03:658.5

Бондаренко Є.В. д-р екон. наук, **Яценко Б.І.**, канд. екон.наук, **Курська Т.М.**, канд.техн.наук, **Кушнірова О.М.**

МОДЕЛІ ПІДГОТОВКИ БУДІВНИЦТВА

Анотація. Робота присвячена проблемі оновлення організаційно-технологічних моделей підготовки будівництва та їх пристосування до зміни функцій провідного виконавця: від генпідрядника до девелопера. Модель „Підготовка-орг-стандарт” реалізує принципову інновацію в переліку, змісті та структуризації робіт підготовчого періоду, підпорядковуючи їх вимогам та стандартам замовника будівельного об’єкту на засадах девелопменту та інжинірингу. В якості аналітичного і практичного інструменту поліпшення достовірності відображення підготовки будівництва в календарних моделях розроблена імітаційна модель “Підготовка-стоп-ризик”. За допомогою сценарно-імітаційних методів вона визначає ймовірність та діапазон змін організаційно-технологічних параметрів сітьової моделі підготовки. Для врахування можливих форс-мажорних впливів з метою їх врахування в прийнятому варіанті підготовки будівництва розроблена модель „Стоп-форс- мажор”. Сумісне використання моделей дозволяє виявити найбільші для замовника проекту небезпеки підготовчої фази проекту, вчасно скоригувати її параметри та здійснити більш раціональний розподіл ресурсів замовника в остаточному варіанті підготовки будівництва.

Ключові слова: підготовка будівництва, девелопмент будівельного проекту, організаційно-технологічна модель, роботи-душ, імітація, сценарна матриця, форс-мажор, технограма.

Abstract. The manuscript is devoted to a problem of updating of organizational-ological models of preparation of construction and their adaptation to change of functions of the conducting executor: from the general contractor to the developer. The model "Preparation-org-standart" realizes basic innovation in the list, contents and structure of jobs of the preparatory period, subordinating their requirements and

standards of the customer to building object on the basis of building development and engineering. As the analytical and practical tool improvement of reliability of display of preparation of construction in calendar models the imitating model "Preparation-stop-risk" is developed. With the help of script-imitating methods she defines (determines) probability and range of changes of organizational technological parameters of network model of preparation. For the account possible (probable) force majeure circumstances with the purpose of their account in the accepted variant of preparation of construction the developed model "Stop-force majeure". The sharing of models allows to reveal greatest for the customer of the project of danger of a preparatory phase of the project, it is duly to correct its(her) parameters and to carry out more rational distribution of resources of the customer in final variant of preparation of construction.

Key words: preparation of construction, development of the building project, organizational-technological model, job-arch, imitation, script-matrix, force majeure circumstances, technogramm

Постановка проблеми

В умовах європрагнень Україні значнім гальмом роз витку будівельного ринку лишається застарілість механізмів організації підрядного будівництва. В той час, як підготовка більшості будівельних проектів в розвинутих країнах Європи, здійснюються не генпідрядниками в нашому, традиційному, розумінні, а спеціальними організаціями-девелоперами, які управляють ресурсами інвестора та приймають на себе відповідальність за додержання запланованих організаційно-технологічних, вартісних, часових параметрів будівельних проектів та якості виконання будівельно-монтажних робіт (БМР).

Важливою складовою організації підрядного будівництва на засадах девелопменту є зростання вимог до процедур розробки та вибору варіантів моделей організації будівництва задовго до складання проекту виконання робіт (ПВР). Запропновані в роботі моделі розроблено як реакція на зміну взаємин між генпідрядником (провідним виконавцем) та замовником будівельного проекту. Через зміну операційної діяльності та структури управління організації-провідного виконавця - від підрядних до інжинирингових механізмів управління ресурсами замовника в процесі підготовки та спорудження об'єктів. Такий перегляд має бути реалізований для оновлення уявлень про підготовку

будівництва та оновлення механізмів її водображення в організаційно-технологічних моделях інноваційного змісту.

Особливо ретельного розгляду потребує процес моделювання підготовчої фази будівельного проекту, характеристики проходження якої важко піддаються прогнозуванню. Основними передумовами дослідження є:

- 1) Потреба оновлення як форми, так і критеріїв моделювання підготовки будівництва;
- 2) Потреба адаптації моделювання підготовки будівництва до зміни функцій провідного виконавця: від генпідрядника до девелопера;
- 3) Трансформація бізнес-процесів управління підготовкою та спорудженням об'єктів будівництва, Розширення характеру взаємодії провідного виконавця будівельного проекту із замовником.

З врахуванням висловлених проблем, виникає потреба створення нового інструменту моделювання підготовки будівництва, який би визначав найбільш достовірно організаційно-технологічні та вартісні параметри окремих стадій підготовки будівництва разом з мірою ризику прийняття рішень для особи, яка приймає рішення (ОПР). Реалізація зазначених вимог підрядного будівництва, через створення моделей нового змісту щодо підготовки будівництва, визначає науково-практичну актуальність обраної теми дослідження.

Мета роботи полягає у розробці системи організаційно – технологічних моделей раціоналізації процесів підготовки будівництва . Ієрархія та зміст параметрів разом з алгоритмічною структурою цих моделей мають бути спрямовані на подолання переважної частки ризиків замовника на передінвестаційній фазі будівельного проекту.

Викладення основного матеріалу

Аналіз джерел літератури з галузі та предмету дослідження дав підстави визначити основні передумови проведення дослідження (рис.1), змісту підготовки будівництва та її відображення в ресурсно-календарних, організаційно-технологічних моделях.

Важливою методологічною основою дослідження стали теоретичні основи та прикладні інструменти інжинірингу, як універсальної сучасної методології і практики прийняття рішень в будівництві та інвестиційній сфері в цілому. Було доведено, що для якісного поліпшення процесів підготовки будівництва, ще на

етапі попереднього обґрунтування будівельних проектів, топологію та зміст параметрів сітьової моделі підготовки будівництва слід узгодити із стадіями взаємодії організації-девелопера та замовника і з характером відповідальності девелопера за хід підготовки та виконання будівельного проекту (рис.1). Сполучення імітаційних інструментів з перевагами ресурсно-календарних моделей типу „роботи-дуги” дозволяє достовірно подолати інформаційну

невизначеність в умовах кризи, виявити найбільші для замовника проекту небезпеки підготовчої фази проекту, вчасно скоригувати організаційно-технологічні параметри робіт підготовчої фази та здійснити більш раціональний розподіл ресурсів замовника в остаточному варіанті підготовки будівництва.

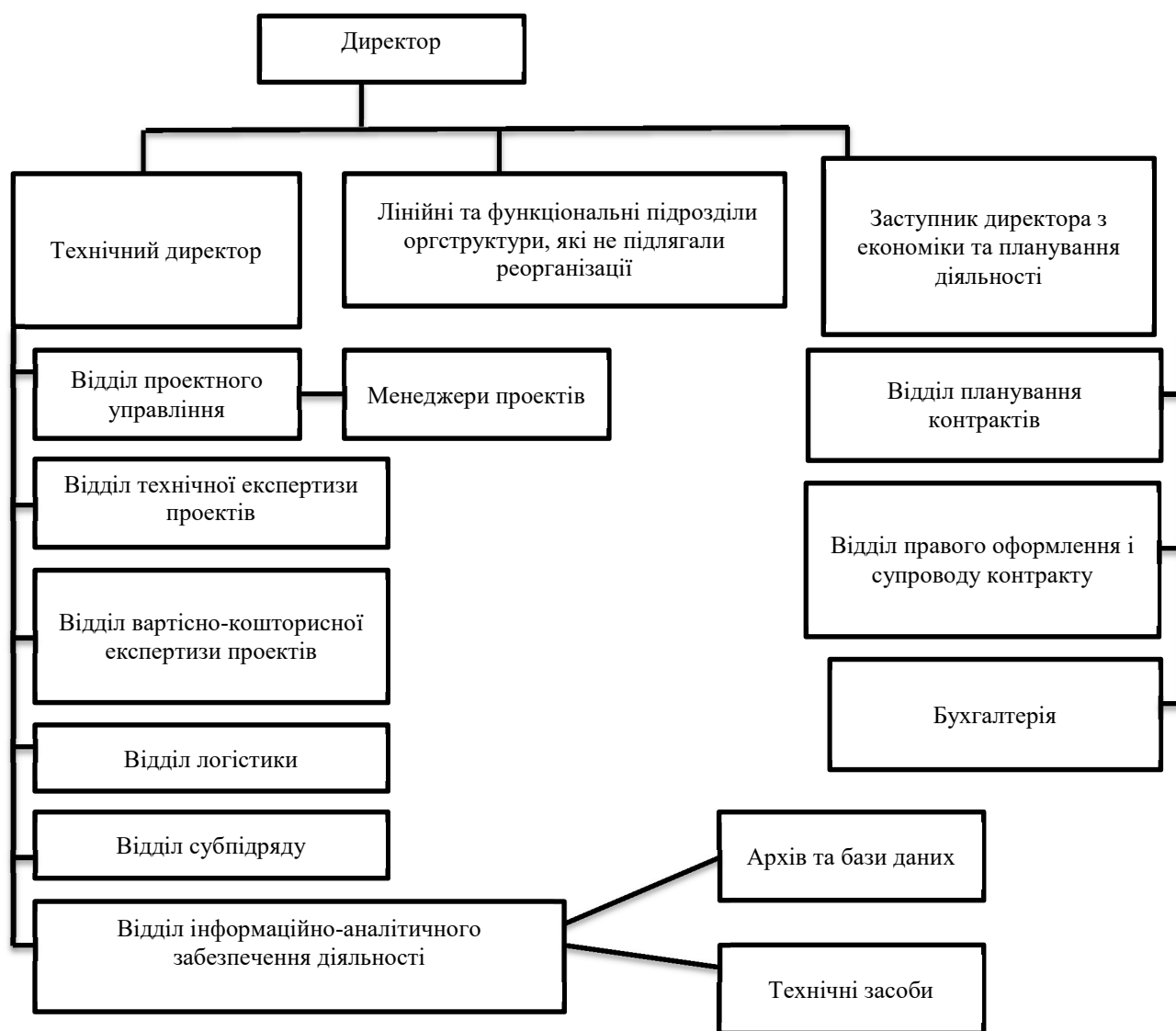


Рисунок 1

Новий перелік та зміст 28 параметрів стандартного елемента –дуги цієї сітьової моделі (див. рис.2) підпорядковує зміст робіт підготовчого періоду

вимогам замовника будівельного об'єкту на засадах девелопменту та інжинірингу. Тому до складу елементів –дуг включено не лише роботи з організаційно-технологічної та інженерної підготовки будівельного виробництва, але й розробка та узгодження проектно-кошторисної документації (ПКД), весь комплекс передінвестиційних досліджень та техніко- економічних обґрунтувань (ТЕО) будівельного проекту.

Стандартний елемент створеної сітьової моделі „Підготовка-орг-стандарт” являє собою матрицю виду (рис.2), яка упорядковує 28 параметрів:



Рисунок 2— Фрагмент програмного модуля, який формує стандартний елемент-роботу в моделі „Підготовка-орг-стандарт”, який включає 28 параметрів.

- 1) j -порядковий номер сітьового елемента-роботи;
- 2) i_{ogr}- порядковий індекс організації з переліку всіх організацій-учасників процесів підготовки будівництва та спорудження об'єкту;
- 3) Fr1, Fr2,...Fr5 - обрана генератором випадкових подій та прийнята за найбільшою частотою випадання одна із п'яти „штамп-форм” ритмічності освоєння коштів по даній роботі;

4) **Озп** - частка капіталовкладень по даній роботі, яка має бути здійснена з джерел замовника, частка одиниці;

5) **0ов**- частка капіталовкладень по даній роботі, яка має бути здійснена з джерел організації-виконавця, частка одиниці;

6) **0дп** - частка капіталовкладень по даній роботі, яка має бути здійснена з джерел девелопера проекту, частка одиниці;

7) **0іо** - частка капіталовкладень по даній роботі, яка має бути здійснена з джерел інших учасників будівельного проекту, частка одиниці;

8) **INV*j**- акумульований обсяг бюджету будівельного проекту, який має бути освоєний до початку даної роботи;

9) **ОАі** - оборотність оборотних активів виконавця даної роботи, обертів/рік;

10) **Тб** -початково очікувана, базова, доімітаційна (тобто попередня, одержана без втручання генератора випадкових подій) тривалість, робочі дні;

11) **Тім** - післяімітаційна тривалість, робочі дні;

12) **Zb**- початково очікувана, базова, доімітаційна, вартість роботи, тис.грн.;

13) **Zім** - післяімітаційна вартість роботи, тис.грн.;

14) **Фмв** - частка матеріальних витрат по роботі, частка одиниці;

15) **Фзп**- відносна зарплатоємність роботи, частка одиниці;

16) **Z*зп** - обсяг витрат на заробітну плату .тис.грн.;

17) **Фкп**- частка кошторисного прибутку у вартісному обсязі роботи, частка одиниці;

18) **Z*зп** - обсяг кошторисного прибутку поданій роботі, тис.грн.;

з 19-го по 23-й факторами $\mathbb{F}$ п'ять стовпців, які відображають характер організаційно-технологічної взаємодії даної роботи з вхідними щодо неї роботами:

19) **a(j)** - порядкові номери вхідних робіт щодо даної роботи;

20) **b(j)** - порядкові номери вихідних робіт щодо даної роботи;

21) **t(aj)** технологічний чи організаційний лаг випередження моменту завершення вхідної роботи щодо початку даної, робочі дні;

22) **Ф_{фп}(j)** - відсоткова частка фінансування вхідної роботи щодо моменту початку даної роботи, %;

23) $Z_{\text{фн}}(j)$ - обсяг фінансування вхідної роботи щодо моменту початку даної роботи, тис.грн.;

з 24-го по 28-ий фактори складають 5 стовпців, що за змістом аналогічні параметрам з 19 по 23, але щодо вихідних робіт.

Ця модель розроблена як новий, раціональний інструмент організаційно-технологічного моделювання та графо-аналітичного супровіду підготовки будівництва, що відповідає сучасним вимогам ринку та новітнім схемам організації будівництва на засадах девелопменту. Завдяки значно розширеній параметричній базі та успішній інтеграції з імітаційними блоками, ця модель спроможна протидіяти ризикам при виконанні аналітичних та підготовчих робіт та довести необхідність внесення коректив в хід їх виконання.

Завершальним результатом, є модель „Стоп-форс-мажор”. Ця модель призначена для врахування можливих форс-мажорних впливів в прийнятому варіанті підготовки будівництва. Результуючим показником цієї моделі є пороговий індекс форс- мажору $j_{\text{фм}}$, що вимірюється в частках одиниці. Форс-мажор розглядається як розрив елементу-роботи, порушення зв’язків роботи з капітальним бюджетом проекту, з ритмічністю та надійністю інвестування проекту. Якщо результуючий показник не перевищує величини 0,33, то це вважається порогом безпечності форс-мажорних збурень: один чи два елементи можуть підпадати під дію форс-мажорних обставин. Якщо ж кригеріальний показник досягає 0,7, то це вважається загрозливим порогом форс-мажорних збурень — кілька робіт- Дуг можуть підупадати під дію форс-мажорних обставин (елементам сітьової моделі). В якості прикладних інструментів цієї моделі розроблено дві технограми. Вони надають кількісні технологічну (технограма 1) та вартісну (технограма 2) оцінки форс- мажорному розриву (рис.3).

Важливою методологічною основою дослідження стали теоретичні основи та прикладні інструменти інжинірингу, як універсальної сучасної bhhj

Як бачимо на (рис.3), якщо значення цього показника досягає 0,7 (абсциса другої технограми), то індекс додаткових витрат (по відношенню до вартості цієї роботи в складі підготовки будівництва), що мають бути здійснені для нейтралізації дії форс-мажорних обставин і продовження робіт по будівельному проекту (об'єкту), складатиме 0,1384. Тобто приріст додаткових витрат

виконання даної роботи підготовчого періоду може становити до 13,8% кошторисної вартості виконання цієї роботи.



Рисунок 3

На базі описаних вище моделей розроблено методику організації підготовки будівництва під керівництвом фірм-девелоперів. Методика реалізована у вигляді комплексу прикладних програм «Забезпечення раціональних параметрів підготовки будівництва.

Висновки

1. В роботі доведена потреба зміни система уявлення про обсяг і структуру робіт з підготовки будівництва. Топологію та зміст параметрів ресурсно-календарної моделі підготовки будівництва слід узгодити із стадіями взаємодії замовника з девелопером, із змістом та характером відповідальності останнього за хід підготовки та виконання будівельного проекту.

2. Доведено раціональність залучення імітаційних моделей та їх прикладних інструментів для оновлення змісту ресурсно-календарних моделей підготовки будівництва. Зазначені імітаційні складові слід застосовувати спочатку для вияву змін провідних технологічних та вартісних параметрів по окремим роботам підготовки будівництва, а далі - для оцінки ймовірності настання форс-мажорних обставин при підготовці будівельного проекту та прогнозуванні рівня принципових загроз цих обставин на хід підготовки та спорудження об'єктів.

3. Сполучення імітаційних інструментів з перевагами ресурсно-календарних моделей типу „роботи-дуги” дозволяє достовірно подолати інформаційну невизначеність в умовах кризи, виявити найбільші небезпеки підготовки будівництва для замовника проекту, вчасно скоригувати її параметри та здійснити більш раціональний розподіл ресурсів замовника в остаточному варіанті проекту організації робіт.

4. У відповідності з прийнятою науковою гіпотезою, для потреб поліпшення якості організації підготовки будівництва розроблено три організаційно-технологічні моделі. Зазначені моделі розроблялись з метою забезпечення просування механізмів організації будівництва до передових, апробованих європрактикою засад девелопменту будівельних проектів.

5. Розширення переліку та змісту робіт підготовки будівництва до 11 стадій, а кількості параметрів елементу-роботи сітьової моделі „Підготовка- орг-стандарт” до 28, дозволяє замовнику та організації-девелоперу, як провідному виконавцеві, визначитись із відповідальністю щодо ризиків при виконанні БМР, підвищити ефективність виконання аналітичних робіт передінвестиційної фази, значно збільшити рівень достовірності у виборі варіантів підготовки будівництва. В такий спосіб підвищується рівень адаптації та гнучкості використання ресурсів замовника будівельних проектів.

8. Отже, зміст запропонованих в даній роботі наукових інновацій щодо підготовки будівництва, сумісне використання яких дозволяє за допомогою сценарно- стохастичних методів достовірно подолати інформаційну невизначеність щодо підготовки будівництва, в умовах кризи. Розроблений на базі моделей комплексу прикладних програм Забезпечення раціональних параметрів підготовки будівництва дозволяє виявити найбільші для замовника проекту небезпеки підготовчої фази проекту та завчасно запровадити необхідні організаційні заходи для їх подолання.

Перелік посилань

1. Бондаренко. В. Системно-управлінський інжиніринг як передумова формування раціональних моделей структур управління для будівельних компаній, що готові до оновлення ролі провідного виконавця в будівельно-інвестиційному процесі.//Збірник наукових праць „Шляхи підвищення

ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин”.-Вип. 18.- К.:КНУБА, 2015.-С.3-13.

2. Погорельцев В. М. Модель “Підготовка-орг-стандарт” – інноваційна методико-аналітична основа попередження ризиків підготовчої фази будівельних проектів.//Збірник наукових праць „Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин”.-Вип.20.- К.: КНУБА, 2016- С.3-13.

3. Скакун В.А. Трансформація змісту діяльності провідного виконавця будівельних проектів як передумова успішної адаптації будівництва до євроінтеграції. //Науково-технічний збірник “Містобудування і територіальне планування”,-ВИП.30.-К.: КНУБА,2016-С. 238-246.

4. Передумови запровадження передових організаційних технологій в організації будівництва на засадах інжинірингу. Г.В.Лагутін, В.О.Поколенко, ЛО.Борисова, Д.О. Приходько, Ю.А. Чуприна.// Наук.-техн. журнал “Котельні, котли, каміни, теплові насоси” - Вип. 2009 р. - (вкл. до переліку фахових видань постановою Президії ВАК України №1-05/4 від 9.04.2011р.).- С.48-52.

5. Теоретичні та методичні основи запровадження інноваційної графо-аналітичної моделі „Підготовка-стоп-ризик” як інструменту попередження ризиків підготовчої фази будівельного проекту .//Збірник ' наукових праць „Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин”.-Вип.21 .-К.: КНУБА, 2016- С.69-75.

УДК 625.7/8

Весіч І.В.

ІЛОН МАСК, ЯК ФАКТОР РОЗВИТКУ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ

Анотація. В статті розглядається питання впливу сучасних тенденцій світової економіки на розвиток дорожнього будівництва, на прикладі змін, завданих Ілоном Маском на автомобілебудівну галузь. Розглядається питання фінансування дорожніх фондів, прогнозується і пропонується майбутнє технологій та матеріалів для дорожнього будівництва під дією цих факторів, з метою попередження можливих ризиків в будівництві та фінансуванні автомобільних доріг і транспортних споруд.

Ключові слова: автомобільна дорога, транспортні споруди, водонепроникний асфальтобетон, дорожнє покриття, комплексні полімери, Ілон Маск, фінансування дорожніх фондів.

Abstract. Abstract. The article discusses the impact of current trends in the world economy on the development of road construction on the example of the changes made by Elon Musk on the automotive industry. The issue of financing of road funds is considered, and the future of technologies and materials for road construction under the influence of these factors is predicted and proposed in order to prevent possible risks in the construction and financing of highways and transport facilities.

Key words: highway, transport facilities, waterproof asphalt concrete, road pavement, complex polymers, Elon Musk, financing of road funds.

Вступ

У 2008 році, коли Ілон Маск випустив свій перший серійний електромобіль Tesla Roadster, весь світ ставився до цієї події як до чергової забавки багатіїв, деякі скептики взагалі посміхалися над чудернацькими заявами про майбутнє без двигунів внутрішнього згоряння (надалі ДВЗ), а вже через десять років найбільші виробники автомобілів замислюються, як залишитись на ринку і задовільнити

попит, щоб пак, за десять років ціна 1 кВт*г літієвої батареї впала більше ніж в 5 разів до майже 200 USD/ кВт*г,

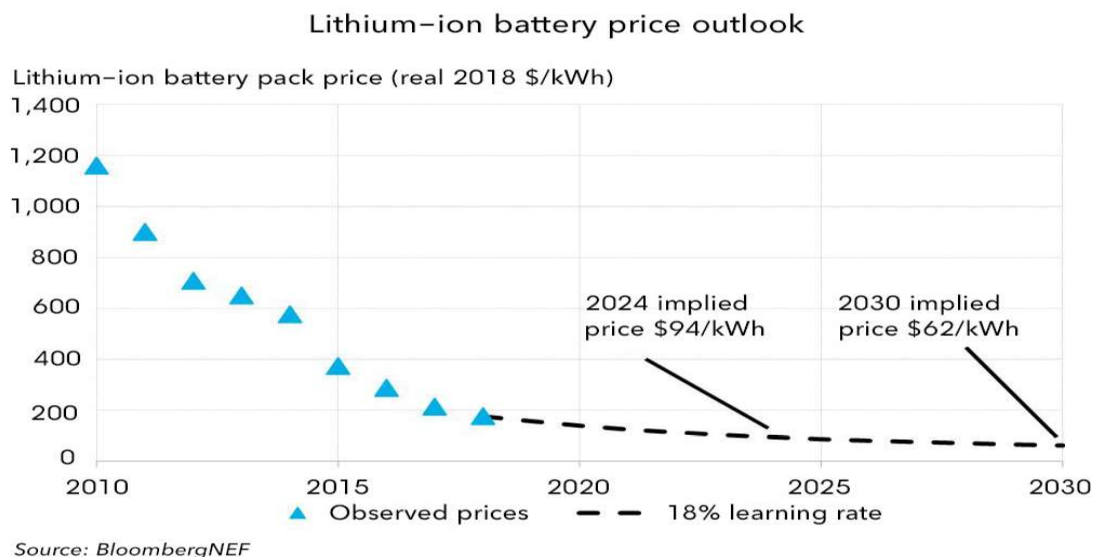


Рисунок 1 – Падіння ціни 1 кВт*г літієвої батареї за даними агентства Bloomberg¹ і попри значне зростання сировини, у найближчі роки планується падіння до критичної відмітки у 150 USD/ кВт*г, коли використання двигунів ДВЗ буде не рентабельним і ціла галузь машинобудування може зникнути. Хтось ще не вірить Ілону?

А тепер спробуємо спрогнозувати, що чекає споріднену галузь автодорожнього будівництва.

Перше, і те що вже постало великим питанням перед урядами багатьох країн завдяки використанню електромобільного транспорту, це проблема фінансування будівництва доріг. Головним чином система фінансування доріг побудована на використанні непрямих податків, що обраховуються від величини ДВЗ, та на використанні акцизних податків від продажу вуглеводного палива. В ст.3 Закону України "Про джерела фінансування дорожнього господарства України" прямо зазначено, що Дохідна частина цього фонду формується за рахунок: 1) акцизного податку з вироблених в Україні пального і транспортних засобів; 2) акцизного податку з ввезених на митну територію України пального і транспортних засобів.

І якщо тимчасово, в якості стимулу для переходу на користування екологічним транспортом, власники транспортних засобів на альтернативному паливі не приймають участь в розбудові та підтриманні транспортної

інфраструктури, то чим більше на дорозі з'являється таких засобів пересування, то більшим є сприйняття їх як повноцінних користувачів транспортної інфраструктури, та усвідомлення, що вони теж повинні її оплачувати пропорційно використанню.

Прогнозовані обсяги надходжень до державного дорожнього фонду на 2018 рік, млрд грн

Найменування	Обсяг джерела, млрд грн	Частка джерела, %
Акцизний податок з вироблених товарів (пальне і транспортні засоби)	5,7	14
Акцизний податок з ввезених товарів (пальне і транспортні засоби)	24	58
Мито на нафтопродукти, транспортні засоби та шини до них	3,3	8
Плата за проїзд автомобільними дорогами транспортних засобів та інших самохідних машин і механізмів, вагові або габаритні параметри яких перевищують нормативні	0,02	0,05
Кредити від банків, іноземних держав і міжнародних фінансових організацій на розвиток мережі та утримання автомобільних доріг загального користування	5,4	13
Конфісковані кошти та кошти, отримані від реалізації майна, конфіскованого за рішенням суду за вчинення корупційного та пов'язаного з корупцією правопорушення	2	5
Інші надходження	0,7	2
Усього надходжень	41	100

Рисунок – 2 Фінансування Державного дорожнього фонду у 2018р., за джерелами надходження. Інформація офісу з фінансового та економічного аналізу у Верховній Раді України www.feao.org.ua²

У нашій країні, де відповідальною структурою за стан доріг є Державне агентство автомобільних доріг України (надалі – Укравтодор), стає питання недофінансування будівництва та ремонту доріг, і фахівці Укравтодору та Державного дорожнього фонду за підтримки наукових установ транспортної галузі, вже повинні виступити с законодавчою ініціативою змін в частині фінансування, щоб не допустити моменту, коли джерела фінансування перестануть відповідати кількості користувачів.

З проблеми зменшення кількості користувачів вуглеводного палива, напряду впливає проблема зміни підходів до будівництва автодорожнього покриття, аж до повної зміни одного з основних видів сировини, і ось чому!

Основна частина

Найбільш розповсюдженими в'язучими для використання в будівництві дорожніх покриттів є дорожні бітуми, вони виробляються з нафти або з бітумінозних пісків тощо, і загалом це достатньо розповсюджені копалини. В

нашій країні та країнах-сусідах, дорожні бітуми отримуються внаслідок переробки нафти та є супутнім продуктом, їх ціна формується тільки за рахунок співвідношення попиту та пропозиції. В разі відсутності попиту, ціна може бути фактично знижена до мінімуму і чим більшим є споживання вуглеводнів в якості палива, тим більшим є пропозиція бітуму на ринку й менша ціна. Це надає бітумам суттєвих переваг у конкуренції, в порівнянні з іншими можливими в'язучими речовинами, або справедливим буде сказати надавало переваг, раніше...

Фактор появи Ілона Маска в автомобільній галузі та поступове витіснення ДВЗ, найближчі роки нівелює використання вуглеводнів в якості пального. В травні 2019 року, кількість електричних зарядних станцій в Великобританії вперше перевищила кількість традиційних заправних станцій³.



Рисунок – 3 Зарядні станції у Великобританії

Зменшення споживання вуглеводнів в якості пального, відчутне в усьому світі, доречним буде зазначити, що при повній відмові від використання людством палива для автотранспорту та переході на альтернативні види палива, обов'язково постане питання пошуку матеріалів для в'язучих дорожніх покриттів, тому, що виробництво бітуму знизиться, при цьому, кількість умовних споживачів – власників автотранспорту, залишиться незмінно зростаючим. Виробництво бітумів окремо не буде мати сенсу, його кількість буде залежати тільки від потреб хімічної галузі у вуглеводнях, і знов таки буде залишковим продуктом і не буде відповідати кількості сформованого попиту, а це в свою чергу підніме ціну. З іншого боку, в разі збільшення кількості інших хімічних в'язучих при будівництві доріг (які до речі теж в основному виробляються з вуглеводнів), відбудеться зменшення попиту на бітум. Звісно, до

повної втрати цінності бітумів у якості будівельного матеріалу не дійде, і система буде збалансована завдяки економічному чиннику, але поступово буде відбуватися зміна в сторону збільшення використання інших хімічних в'язучих, та буде збільшено кількість полімерів і хімічних модифікаторів для поліпшення властивостей бітумних в'язучих.

Як зазначено вище, в зв'язку з повсюдним використанням бітумів при дорожньому будівництві [4 - 6], окремих наукових вишукувань нових видів в'язучих для дорожньо-будівної галузі не проводилось, і використання синтетичних та штучних полімерних в'язучих дорожнього покриття головним чином базується на використанні полімерів в лакофарбовій галузі та при виробництві конструкційних композитних матеріалів, цим зумовлено використання акрилових, поліуретанових, епоксидних, каучукових полімерів та багатьох видів твердих термопластичних полімерів.

Дорожні покриття є частиною конструкції дорожнього одягу та безпосередньо отримує навантаження від дії транспортних засобів та кліматичних умов. Властивості полімерів, які мають обиратися при будівництві доріг в першу чергу залежать від основи дорожнього одягу на яку вони мають наноситись. В загальному випадку при будівництві дорожнього покриття вважається, що міцність дорожнього покриття напряму залежить від товщини шару покриття, це надає додаткової жорсткості дорожньому одягу в цілому та поліпшує здатність витримувати навантаження. Але в дорожньому будівництві існують випадки, коли постійні навантаження у вигляді додаткової маси дорожнього покриття обмежені здатністю конструкції витримувати такі навантаження або призводять до зниження класу будови до витримування тимчасових рухомих навантажень. Такими об'єктами зазвичай вважаються мостові металеві та залізобетонні споруди, багаторівневі паркінги, переїзди з обмеженням по висоті транспортних засобів, і саме завдяки таким винятковим об'єктам ми маємо досвід використання інших від бітумних полімерних в'язучих і в цьому випадку буде доречним досвід використання синтетичних та штучних полімерів, що вже успішно використовуються при будівництві тонкошарових дорожніх покриттів на мостових спорудах. В Україні Національний транспортний університет (НТУ) займає лідируючі позиції в дослідженні та розробленні рекомендацій виробникам дорожнього одягу для мостових споруд. Його фахівці на постійній основі консультують проєктантів та

підрядників мостобудівних організацій й враховуючи вищевикладене, доцільно використовувати ці розробки та методичні матеріали спеціалістами дорожньої галузі для загальних потреб.

Наукові співробітники НТУ, у співпраці з іншими державними установами нашої країни та світовими лідерами автодорожньої галузі безпосередньо займаються та проводять наукові дослідження тонкошарових покриттів на метил-метакрилатних в'язучих та бітумних в'язучих модифікованих сучасними полімерами, дані розробки на даний час є передовими у виробництві дорожнього одягу і стосуються головним чином мостових споруд [4 - 6].

За основу співпраці у використанні комплексних полімерних добавок взятий світовий досвід та японські технологічні термореактивні полімери, доречним буде зазначити, що за даними Всесвітнього економічного форуму (2017р.) якість доріг в Японії знаходиться на 5-му місці у світовому рейтингу, при цьому це єдиний регіон у рейтингу з надзвичайно важкими сейсмічними умовами та дуже диференційований за кліматичними станом. Спеціалісти НТУ, проводять дослідницьку діяльність за рекомендаціями виробника та власного досвіду і пропонують системні рішення з модифікації бітумів.



Рисунок – 4 Дороги в Японії.

Окремим питанням що пропонується у зв'язку з збільшенням наукової бази дослідів та ускладненням технології виробництва і використання таких полімерів і в'язучих, є організація незалежної лабораторії з найкращих фахівців галузі за методологією та принципом «supergrove», що розроблена на вимогу

уряду США та вже використовується в провідних країнах світу декілька десятиків років.

Висновки

Отже, у результаті аналізу існуючого стану дорожнього будівництва запропонована концепція розвитку створення сучасних матеріалів та технологій для дорожнього покриття автомобільних доріг та транспортних споруд з урахуванням майбутніх змін у сировинній сфері. Сформульовані основні напрямки по застосуванню синтетичних та штучних полімерів в якості в'язучого, а також модифікації бітумних в'язучих комплексними полімерами з метою отримання водонепроникних асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності, а саме:

- розробка методології фінансування Державного дорожнього фонду з урахуванням сучасних умов користування;
- проведення досліджень новітніх полімерів в якості в'язучих та для модифікації бітумних в'язучих;
- створення незалежної лабораторії, яка буде працювати за методологією «superpave».

Перелік посилань

1. <https://about.bnef.com/blog/behind-scenes-take-lithium-ion-battery-prices/>
2. <https://feao.org.ua/wp-content/uploads/2018/11/the-state-road-fund.pdf>
3. <https://www.thisismoney.co.uk/money/cars/article-7083501/There-public-charge-points-petrol-stations-UK.html>
4. Onischenko, A., Aksenov, S., Nevynhlovskyy, V. Numerical Simulation of Stress-Strain State of Asphalt Concrete Pavement on the Carriageway of the South Bridge in Kiev Procedia Engineering 134, 2016, с. 322-329.
5. Shabatura, O.V., Onyschenko, A.N. Impact on the selection of elements of the system geological sampling of local and regional background indicators. 17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects. – 2018.
6. Onyschenko, A.N., Stozhka, V.V., Leshchuk, O.M. Development of the general concept of information analysis system for recording of the proprietary rights to the land plots of the public road system in Ukraine 17th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects. 2018.

ТРАНСПОРТНІ СПОРУДИ

УДК 624.21

Шиндор М.В., Ткач О.М., Барабанова Т.Г., Петренко Л.М.,
Даценко В.М. канд. техн. наук, Чечуга О.С. канд. техн. наук

МОСТИ МАЛІ – ПРОБЛЕМИ ВЕЛИКІ

Анотація. Проведено аналіз технічного стану мостів в Україні та зокрема, увага акцентована на малих залізобетонних мостах. Встановлено основні причини виникнення дефектів та руйнувань мостових споруд. Наведено дані за результатами обстежень та паспортизації щодо експлуатаційних станів мостів. Приведено приклад технології та методу ремонту, що забезпечує економію фінансових та матеріальних ресурсів, запропонований ТОВ «ВП Мост-1», що надає значну перевагу капітального ремонту над новим будівництвом. Пропонується створити спеціальну державну програму, що забезпечить достатнє фінансування мостового господарства країни та посприяти підвищенню і зацікавленості студентів щодо отримання спеціальності інженера-мостовика.

Ключові слова: технічний стан, малі мости, обстеження, паспортизація, дефекти, технологія ремонту.

Abstract. Attention is drawn to the analysis of technical condition of bridges in Ukraine, in particular small ferro-concrete bridges. The main reasons for defect and damage of bridge frames were detected. All data were presented on the basis of examination and certification of exploitation condition of bridges. Proposed technology and method of repair enables to save financial and material resources. The example of technology and method of repair that provides economy of financial and material resources is offered. It's recommended to create a special state program, that will provide sufficient financing of bridge industry of Ukraine. Moreover the need to encourage students to obtain the specialization of bridge engineers is highly stressed.

Keywords: technical condition, small bridges, inspection, certification, defects, repair technology.

Вступ. Однією з найважливіших складових транспортної системи України є не тільки автомобільні дороги, а й штучні споруди на них (мостові переходи, шляхопроводи тощо). Мости - це складні транспортні споруди, будівництво яких тривале в часі і потребує значних фінансових ресурсів. Проте, слід відмітити, що експлуатація таких споруд значно затратніша, якщо порівняти з експлуатацією автомобільних доріг [6].

В умовах постійного недофінансування дорожньої галузі та відсутньої належної системи експлуатації автодорожні мости сьогодні є потенційним джерелом економічної і соціальної небезпеки, адже знаходяться в незадовільному технічному стані. Кількість мостів, які потребують негайного ремонту, збільшується великими та загрозливими темпами [3].

Згідно даних Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ) всього на дорогах загального користування обліковується 16 155 мостів (з них 15 392 – на підконтрольній території України) , з них на дорогах державного значення – 5 845 мостів (з них 5 458 – на підконтрольній території України), на дорогах місцевого значення – 10 310 (з них 9934 – на підконтрольній території України).

Кількість обстежених мостів на дорогах державного значення складає 4 089, це близько 70 %, кількість обстежених мостів на дорогах місцевого значення складає всього 1 538 мостів, це близько 15 %.

Більше 10 000 мостів на дорогах загального користування не відповідають сучасним нормам, з них 4 203 мости – на дорогах державного значення та 6 062 моста на дорогах місцевого значення.

Аналіз за експлуатаційним станом показує, що на дорогах державного значення у 5 непрацездатному стані перебуває – 119 мостів (3 %), у 4 обмежено працездатному – 1026 мостів (25 %), у 3 працездатному – 2383 (58 %), у 2 обмежено справному – 458 (11 %), у 1 справному стані – 103 споруди (3 %).

Спостерігається стрімке зростання мостів, які перебувають у 5 експлуатаційному стані. Так, станом на 01.01.2019 було зафіксовано 68 мостів на дорогах державного значення, які перебували у 5 непрацездатному стані, станом на 01.01.2020 року таких мостів вже 119. І це за умови, що протягом 2019 року було проведено близько 160 обстежень мостів на дорогах державного значення.

Основна частина аварійних мостів – це малі залізобетонні мости, побудовані в 50-60 рр. минулого століття. Проектний термін служби залізобетонних мостів в залежності від типу прогонової будови складає 70-100 років. На практиці, слід констатувати, що довговічність залізобетонних прогонових будов не більше 47-50 років. Як показує практичний досвід, більшість залізобетонних мостів вже після 10-15 років експлуатації потребують виконання ремонтних робіт [5]. Відповідно до міжремонтних термінів щорічно повинно перебудовуватись від 1 до 2% мостів, це біля 4-х км, а капітально ремонтуватись не менше 3 % мостових споруд, що приблизно становить 13 км. На виконання цих завдань необхідно біля 2 млрд. грн щорічно.

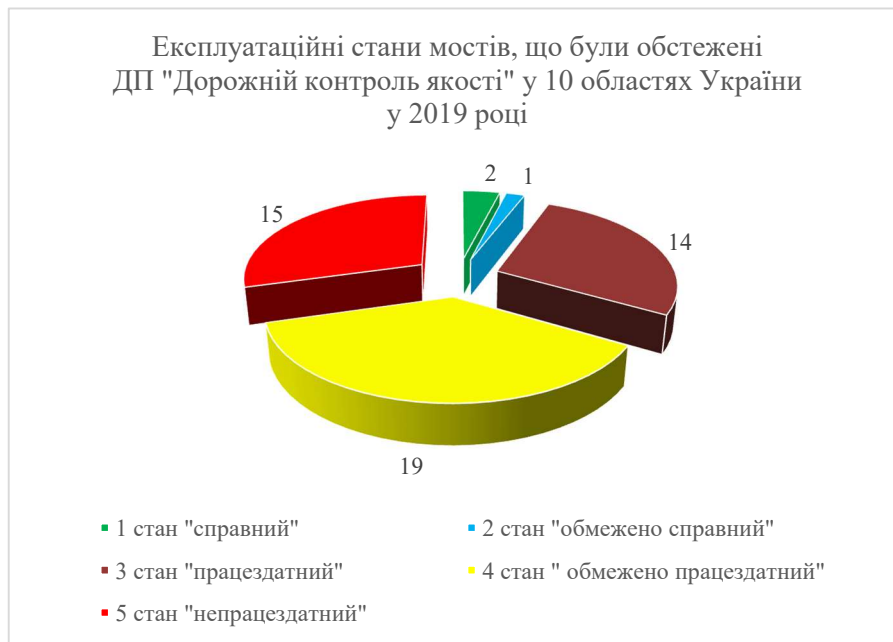
Тому всі проблеми з технічним станом малих залізобетонних мостів пов'язані не лише з закономірним процесом старіння елементів конструкцій і споруди в цілому, а й з відсутністю необхідних обсягів фінансування на дотримання міжремонтних термінів та належної експлуатації.

Основна частина. Для забезпечення надійної і безаварійної експлуатації мостів необхідне своєчасне проведення їх обстеження. Обстеження – це процес отримання якісних та кількісних показників експлуатаційних властивостей об'єкта з визначенням та оцінкою його технічного стану та надання рекомендацій щодо підтримання експлуатаційної придатності або припинення експлуатації [1]. Обстеження є важливим елементом експлуатації мостів, його результати дають можливість планувати ефективне використання коштів на утримання транспортних споруд і тому цьому виду робіт слід приділяти значну увагу [4].

Обстеження мостів проводяться згідно чинних нормативних вимог [1]. Використання результатів обстежень дає можливість виявити проблемні місця в системі мостових споруд та забезпечить можливість прийняти відповідні рішення. Системний підхід до використання результатів проведених обстежень автодорожніх мостів України забезпечує програмний комплекс Аналітична експертна система управління мостами АЕСУМ [7]. За даними натурних обстежень можна провести прогнозування технічного стану мостів та оцінити їх залишковий ресурс, відповідно зробити висновок про призначення ремонту чи реконструкції та обсяги ремонтних робіт [2].

За результатами проведених протягом 2019 року ДП «Дорожній контроль якості» обстежень 51 мосту у 10 областях України встановлено, що мостів

знаходиться у справному (першому) стані - 2; у обмежено справному (другому) - 1; у працездатному (третьому) - 14; у обмежено працездатному (четвертому) - 19; у непрацездатному (п'ятому) - 15. З цього робимо висновок, що більше 66 % від обстежених нами потребують термінового виконання ремонтних робіт, що викликає занепокоєння, адже це малий відсоток обстежень від загальної кількості мостів, що складає майже 6 тисяч.



Виходячи з досвіду попередніх років з паспортизації мостових споруд та обстежень, проведених минулого року, проведено аналіз технічного стану мостових споруд і що стосується результатів обстеження мостів, які знаходяться в 3, 4 чи 5 станах, то вони невтішні.

Найхарактернішими дефектами і причинами деградації конструкцій залізобетонних мостів, які призводять до незадовільного технічного стану, на наш погляд, є:

- на початковій стадії це неналежне виконання будівельних та потім ремонтних робіт в умовах обмеженого фінансування, невідповідність вимогам діючих нормативних документів;
- недостатній захисний шар бетону в конструкції в комплексі з дефектами гідроізоляції призводить до карбонізації бетону захисного шару, просочуванні хлоридів, які використовуються в зимовий період для боротьби зі слизькістю на дорогах, що в подальшому сприяє розвитку значної корозії арматури в елементах конструкції, яка суттєво впливає на втрату несної

здатності, стійкості, вантажопідйомності, а значить і довговічності споруди в цілому;

- руйнування та пошкодження гідроізоляції (внаслідок неналежної експлуатації, або неякісного її влаштування). Слід відмітити, що розрахунковий термін служби гідроізоляції повинен складати не менше 15 років, а на практиці це значно менше, що призводить до скорочення строку експлуатації споруди на 20-25 років;

- незабезпечення належного водовідводу на самій мостовій споруді та на підходах до неї призводить до руйнування насипу підходів, руйнування укріплення конусів, затікання води, замокання, утворення сталактитів, карбонізації бетону, руйнування захисного шару, корозії арматури;

- відсутність належної експлуатації споруд і відсутність сучасних спеціалізованих механізмів і пристроїв.

Незадовільний технічний стан залізобетонних мостів України та низька їх довговічність є наслідком, в першу чергу, майже повної відсутності експлуатації мостів, що і призвело до аварійності багатьох споруд.

Не може не тішити, звичайно, той факт, що останні роки зростає кількість об'єктів будівництва, капітального та поточного середнього ремонтів мостів, але ця цифра занадто мала у порівнянні з кількістю мостів, що потребують відновлення.

Згідно інформації АЕСУМ в 2019 році на автомобільних дорогах державного значення завершено будівництво та введено в експлуатацію 1 міст (повнецевий об'єкт), реконструкцію здійснено на 3-ох спорудах, капітальний ремонт проведений на 19 мостах, поточним середнім ремонтом відремонтовано 60 мостів з них 48 мостів у складі ділянок автомобільних доріг, поточний дрібний ремонт здійснювався на 22 спорудах. Обсяг виконаних робіт складає близько 1,4 млрд. грн.

В 2020 році згідно постанови Кабінету Міністрів України від 29.01.2020 № 36 «Деякі питання дорожнього господарства» затверджено перелік об'єктів будівництва, реконструкції, капітального та поточного середнього ремонту автомобільних доріг загального користування державного значення у 2020 році за бюджетною програмою 3111020 «Розвиток мережі та утримання автомобільних доріг загального користування державного значення», в якому передбачено виконання робіт на 36 штучних спорудах, протяжністю 3711 п.м.

З загального обсягу, передбаченого на відновлення автомобільних доріг державного значення у сумі – 31,5 млрд. грн., на мостові споруди спрямовано майже 3 млрд. грн., що становить біля 9%.

За результатами перевірок та обстежень об'єктів капітального та поточного середнього ремонту мостових переходів, які ДП «Дорожній контроль якості» здійснювали протягом 2019 року у Волинській, Харківській, Полтавській, Донецькій, Сумській, Одеській, Київській тощо, показали, що ремонтні роботи проведені із задовільною якістю без значних порушень технології та дотримання нормативних документів, з економією фінансових та інших ресурсів, вказуючи на те, що перевага капітального ремонту чи реконструкції малих мостів суттєва над новим будівництвом, враховуючи, звичайно, індивідуальний підхід до кожної мостової споруди та реалій теперішнього часу.

Кількість малих мостів складає 85% від загальної кількості залізобетонних мостів, тому їх технічний стан на сьогоднішній день набуває одного з найважливіших питань державного значення, оскільки потребує на капітальний ремонт або реконструкцію виділення значних ресурсів з бюджету, а враховуючи стан нашої економіки, кількість першочергових соціальних програм та всього іншого, в тому числі і те, що країна перебуває в стані війни та має окуповані території Донбасу, - проблема ремонту і відновлення мостів стає великою, оскільки закриття мосту чи термінового ремонту призводить до значних економічних і соціальних збитків.

В таких умовах великого значення набуває скорочення строків ремонту і економія як фінансових так і людських ресурсів, що виходить на перший план в застосуванні новітніх технологій в поєднанні з застосуванням сучасних ремонтно-будівельних матеріалів та обладнання, будівельних машин і механізмів.

На наш погляд, прикладом вдалого вирішення цієї проблеми може слугувати підхід ТОВ «ВП МОСТ-1», яке виконує повний спектр робіт, що пов'язані з будівництвом, реконструкцією і ремонтом мостових споруд починаючи з етапу проектування і закінчуючи проведенням будівельних робіт на об'єктах, а також проведенням обстежень та випробувань, впровадженням новітніх ремонтних конструкцій, що дуже актуально в наш складний час. За приблизними розрахунками втілення їх методу, технологій, напрацювань складає економію всіх ресурсів в рази. Побудувати новий міст, відремонтувати

або реконструювати в більшій мірі питання вже не стоїть, так як враховуючи ступінь економії, перевага віддається капітальному ремонту чи реконструкції звичайно з урахуванням проектних рішень.

Метод та технологія ремонту, запропонований ТОВ «ВП МОСТ-1», що уже успішно використовують і інші організації, включає виконання наступних робіт:

- будівельно-монтажні роботи з розширення та підсилення мостових прогонових будов, що втратили частково чи повністю несну здатність та вантажопідйомність, за допомогою монолітної залізобетонної плити шляхом з'єднання анкерами з існуючою;
- влаштування залізобетонної «сорочки» опор, які втратили несну здатність, стійкість, витривалість та вантажопідйомність;
- виготовлення та улаштування незйомної металевої опалубки консолі тротуарної плити;
- виготовлення та влаштування індивідуальних деформаційних швів;
- виготовлення та влаштування індивідуальних водовідвідних трубок;
- виготовлення та установлення в проектне положення сіток накладної плити та гнучких перехідних плит;
- виготовлення та установлення індивідуальних блоків підвищеної огорожі;
- бетонування монолітної накладної залізобетонної плити та гнучких перехідних плит;
- виготовлення та монтаж індивідуальних секцій перильної огорожі;
- влаштування гідроізоляції бутил-каучукової мастики шляхом напилювання;
- підсилення та відновлення оголеної та кородованої арматури шляхом наклеювання пластин (поліхлорвінілових);
- торкретування балок, плит прогонових будов та елементів опор.

Перевага цього методу полягає ще й в тому, що роботи виконуються без повного закриття руху, а лише правого чи лівого проїзду.

Це далеко не всі перелічені види робіт, що дають колосальну економію та вагому перевагу у виборі варіанту капітального ремонту чи реконструкції перед новим будівництвом малих залізобетонних мостів.

Висновок та рекомендації:

Враховуючи ситуацію, що склалася зі станом мостів в Україні, слід особливу увагу приділити відновленню їх нормального експлуатаційного стану, а для цього необхідно створити спеціальну державну програму, що забезпечить достатнє фінансування ремонтних робіт на транспортних спорудах.

Як не прикро це визнавати, але в більшості із служб автомобільних доріг в областях немає спеціалістів за фахом інженер-мостовик. Тому, щоб відновити та зберегти мостове господарство країни, державі необхідно звернути особливу увагу на підготовку фахівців даного профілю в наших навчальних закладах вищої та середньої освіти, необхідно піднімати престиж професії та забезпечити щорічне зростання кількості і безумовно якості підготовки випускників.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування.
2. ДСТУ-Н Б.В.1.3-23:2012 Настанова з оцінювання і прогнозування технічного стану автодорожніх мостів. – Київ: Мінрегіон України, 2013.
3. Давиденко О.О. Оцінка технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу автодорожніх мостів. /О.О. Давиденко (НТУ) //Автомобільні дороги. Штучні споруди: науково-виробничий журнал. – Київ, 2014 р. - №1. – С.29-34.
4. Боднар Л.П., Степанов С.М., Коваль П.М. Обстеження мостів та вдосконалення критеріїв планів з обстежень. /Л.П. Боднар, С.М. Степанов, П.М. Коваль // Збірник «Дороги і мости» - Київ, 2017 р. – Вип. 17 – С. 42-53.
5. Давиденко О.О. Статистичний прогноз технічного стану автодорожніх мостів України. /Давиденко О.О. // «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, збірник наукових праць – Київ, 2016 р. - №10 – С.4-12
6. Боднар Л.П., Степанов С.М., Коваль П.М., Стамбровський О.О. Визначення прогнозованої вартості проведення ремонтів мостів з використанням Аналітичної експертної системи управління мостами (АЕСУМ). /Л.П. Боднар, С.М. Степанов, П.М. Коваль, О.О. Стамбровський //Збірник «Дороги і мости» - Київ, 2016 р. – Вип. 16 – С. 28-35.
7. Боднар Л.П. Програмний комплекс АЕСУМ. /Л.П. Боднар //Збірник «Дороги і мости» - Київ, 2010 р. – Вип. 12 – С. 31-39.

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА БЕЗПЕКА РУХУ

УДК 625.72; 656.006; 656.13.08

Кисельов В.Б., д-р техн. наук, Поліщук В.П. д-р техн. наук

ОСНОВИ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТЕЙ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ЇХ ЗІТКНЕННІ

Анотація. В статті подано основи вибору методу визначення швидкостей транспортних засобів при їх зіткненні під час дорожньо-транспортної пригоди. Практичне значення роботи полягає в можливості використання методик в практиці судових автотехнічних експертиз. Рекомендації представлено у вигляді алгоритму вибору методики визначення швидкості руху транспортних засобів, придатного для використання кваліфікованими експертами-автотехніками. Метод визначення швидкостей руху автомобілів з застосуванням коефіцієнта відновлення доцільно використовувати, якщо транспортні засоби після зіткнення не відкидаються один від одного, а зберігають стан тісного контакту до повної зупинки. Визначення швидкості руху транспортних засобів з використанням діаграм розтягування використовують у випадках, коли деформації їх конструктивних елементів близькі до лінійного напруженого стану. У випадку пластично деформованих тіл за умов їх складного деформування при визначенні швидкості руху транспортних засобів слід використовувати діаграми пластичності і стійкості.

Визначення швидкості руху з застосуванням емпіричних залежностей являє собою єдиний метод, який можна використовувати як експрес-метод.

Визначення швидкості руху автомобілів з використанням вимірювань твердості дає можливість не тільки визначити швидкість руху, але й встановити напрямок удару.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, зіткнення транспортних засобів, автотехнічні експертизи.

Аннотация. В статье приведены основы выбора метода определения скоростей транспортных средств при их столкновении во время ДТП. Практическое значение работы состоит в возможности использования методик в практике судебных автотехнических экспертиз. Рекомендации представлены в виде алгоритма выбора методики, пригодного для использования квалифицированными экспертами-автотехниками. Метод определения скоростей движения автомобилей с применением коэффициента восстановления целесообразно использовать, если транспортные средства после столкновения не отбрасываются друг от друга, а сохраняют состояние тесного контакта до полной остановки. Определение скорости движения с использованием диаграмм растяжения используют в случаях, когда деформации их конструктивных элементов близки к линейному напряженному состоянию. В случае пластически деформированных тел в условиях их сложного деформирования при определении скорости движения транспортных средств следует использовать диаграммы пластичности и устойчивости.

Определение скорости движения с применением эмпирических зависимостей представляет собой единственный метод, который можно использовать как экспресс-метод.

Определение скорости движения автомобилей с использованием измерений твердости дает возможность не только определить скорость движения, но и установить направление удара.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, столкновение транспортных средств, автотехнические экспертизы.

Abstract. The article describes the basics of choosing the method of determining the speed of the vehicles being crashed in the course of traffic accident. The practical significance of the work is the fact that it is possible to use the methods in the practice of judicial automobile technic forensic examination. The recommendations are presented in the form of algorithm of methodology selection for determining the speed of the vehicles, suitable for use by qualified automobile technical experts. The method

of determination of vehicle speed, using the rate of recovery, might be used, if after the collision the vehicles were not discarded from each other, and keep close contact state until complete stop. The determination of the speed of vehicles using the tensile diagram might be used in cases where the deformations of structural elements are close to linear stress state. In case of plastically deformed objects, given that the deformation is complex, the diagrams of plasticity and firmness might be used in determining the speed of the vehicles.

Determination of the speed by using the empirical dependencies is the integral method that can be used as an express-method.

Determination of vehicles speed using the measurements of hardness gives the possibility not only to determine the speed, but also set the direction of impact.

Keywords: road traffic accidents, vehicle collisions, auto technical expertise.

Сутність проблеми. Вибір методу визначення швидкостей руху транспортних засобів при їхньому зіткненні залежить від багатьох обставин [1]. Серед них:

- геометричні і механічні параметри ДНІ (попутне, стрічне, перехресне зіткнення, кут між траєкторіями руху, відбулося чи не відбулося відкидання автомобілів після зіткнення і т. ін.);
- необхідний ступінь точності визначення швидкостей;
- термін проведення експертизи.

Стан досліджень і результати. Нижче подано (рис.1) основні рекомендації щодо вибору методу визначення швидкостей руху транспортних засобів залежно від перелічених обставин.

1. Визначення швидкості руху транспортних засобів з використанням коефіцієнта відновлення (коефіцієнта реституції) [2]

Метод відносно простий у використанні і не потребує суттєвих витрат часу, проте його використання значною мірою обмежено відсутністю науково обґрунтованого призначення коефіцієнту відновлення. Область найбільш ефективного використання методу обмежено випадками, коли транспортні засоби після зіткнення не відкидаються один від одного, а зберігають стан тісного контакту до повної зупинки. Такий випадок є характерним для блокувального удару при прямому стрічному зіткненні автомобілів, оскільки тут очевидно, що явище можна вважати повністю пластичним, відтак $\kappa = 0$. Крім

того, цей метод можна використовувати і тоді, коли коефіцієнт реституції хоча і не дорівнює нулю, проте його величина все ж таки відома з інших джерел або обставин.

2. Визначення швидкості руху транспортних засобів з використанням діаграм розтягування[2]

Для побудови діаграм проводяться лабораторні випробування шляхом осьового розтягування

зразків матеріалів, з яких виготовлено конструкції автомобілів. За знайденими міцнісними і деформаційними характеристиками визначається питома робота деформації будь-якої ушкодженої деталі ТЗ.

Цю методику доцільно використовувати в тих випадках, коли при зіткненні автомобілів деформації їх конструктивних елементів близькі до лінійного напруженого стану, наприклад, до одновимірного розтягу або стиску. У випадку складніших схем деформування замість діаграми розтягування належить скористатися з єдиної кривої пластичної течії.

В порівнянні з натурними випробуваннями (crash-тестами) автомобілів цей метод оцінки роботи деформації і руйнування деталей автомобілів, що зіткнулися, дешевший і менш трудомісткий, проте його недоліком є те, що, розглядаючи окремо кожну ушкоджену деталь, при визначенні роботи деформації не вдається врахувати конструктивну міцність і жорсткість автомобіля в цілому, а таке неврахування вносить певні похибки в остаточну оцінку. Крім того, метод потребує суттєвих витрат часу - для побудови згаданих діаграм і для визначення за ними роботи деформації і руйнування деталей автомобілів.

3. Визначення швидкостей руху з застосуванням емпіричних залежностей для оцінки роботи деформування [3].

Емпіричні формули побудовано шляхом обробки численних натурних випробувань (crash- тестів) транспортних засобів в умовах реальних зіткнень [4]. Такі залежності використовуються для оцінки роботи деформування кожної ушкодженої деталі і являють собою інтегральні залежності, в яких константи енергоємності та коефіцієнти апроксимації підінтегральних кривих відшуковуються в процесі статистичної обробки експериментальних даних для різних схем зіткнень транспортних засобів. Залежно від геометричної форми

пошкоджень в кожному конкретному випадку інтегральна формула перетворюється в алгебраїчну залежність, зручну для інженерних розрахунків.

Цей метод розрахунку швидкості руху ТЗ має суттєві переваги порівняно з іншими методами, оскільки при визначенні роботи деформації автомобілів враховуються їхня конструкційна міцність і жорсткість як єдиних цілісних систем. Крім того, використання цього методу не потребує значних витрат часу і коштів. Метод підтверджено деклараційними патентами на винахід за участю автора і в теперішній час є робочим інструментом у автотехнічних експертів [5,6,7].

Метод має і певні недоліки, які обмежують область його застосування. Метод може бути поширено лише на легкові автомобілі і не використовується в разі зіткнення вантажних автомобілів, автобусів і мікроавтобусів. Ще одне обмеження полягає в тому, що маса автомобілів не може перевищувати 2000 кг. Крім того, отриманих констант енергоємності і коефіцієнтів апроксимацій для визначення швидкостей руху при зіткненні сучасних автомобілів потребує додаткових перевірок і уточнень, оскільки емпіричні залежності було отримано на підставі стазії-тестів понад 10 років тому.

Належить також враховувати певні ускладнення з встановленням певної величини перерозподілу робіт на деформування частин автомобілів на їхній висоті в разі, якщо пошкодження транспортних засобів мають комбінований характер (частина є наскрізними і поширюється на всю висоту кузова, інша частина займає лише частину висоти).

Попри перелічені обмеження цей метод визначення швидкостей руху ТЗ може вважатися єдиним методом, який можна використовувати як експрес-метод, коли потрібні швидкі недеталізовані розрахунки, наприклад, розрахунки не точної швидкості, а досить широкого діапазону швидкостей, в якому шукана швидкість може лежати - при оцінці транспортних пригод в роботі страхових агенцій.

Нижче описано ще два методи визначення швидкостей руху транспортних засобів. Вони базуються на феноменологічній теорії деформування металів. Застосування цих методів доцільне за наявності складних видів деформацій (плоский або об'ємний напружений стан), що, власне, найчастіше і трапляється в реальних дорожньо-транспортних пригодах. Викладені нижче методи доповнюють один одного и можуть в певний спосіб слугувати "контролерами"

правильності визначення енергетичних витрат на пластичне деформування конструкцій автомобілів. Важливою особливістю методів є можливість їхнього застосування не лише для листових матеріалів, використовуваних а автомобілебудуванні, а й для деталей набагато більшої товщини.

4. Визначення швидкостей руху транспортних засобів з використанням діаграм пластичності і стійкості [1]

Для визначення енергії пластично деформованих тіл за умов складного деформування необхідно мати механічні характеристики матеріалів, з яких було зроблено пошкоджені деталі. Такі характеристики представляються у вигляді спеціальних функцій, які дозволяють сформувати технологічний паспорт матеріалу, а саме єдину криву течії, також діаграми пластичності і стійкості. Такий метод визначення швидкостей руху ТЗ дозволяє визначити енергію пластичного деформування при будь-якому виді напруженого стану і за будь-якої історії навантаження.

Метод здебільшого використовується:

- в разі наявного локального пластичного деформування конструктивного елемента автомобіля;
- в разі руйнування елемента;
- в разі втрати стійкості тієї чи іншої форми напруженого стану елемента.

5. Визначення швидкості руху транспортних засобів з використанням вимірювань твердості.

Цей метод може визначати енергію пластичного деформування елементів конструкцій автомобілів з урахуванням неоднорідності і нерівномірності розподілу деформацій. Найголовнішою перевагою методу порівняно з іншими є те, що метод дає можливість визначати енергетичні витрати у випадку, якщо ступінь деформації в частині елементів конструкцій не досяг критичної межі, тобто не видно ознак мікроруйнування, відсутні видимі пошкодження, хоча деформація відбулася. За допомогою цього методу можна визначати не лише енергетичні витрати, але й розв'язувати важливе для судової автотехнічної експертизи питання про встановлення напрямку удару.

Перелік посилань

1. Огородников В.А. Энергия. Деформации. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы): монография / В.А. Огородников, В.Б. Киселев, И.О.

Сивак. - Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005.-204 с.

2. Кисельов В.Б. Нові методи визначення швидкості руху автомобіля при зіткненні (для судових авто технічних експертиз) / В.Б. Кисельов. - К.: Вид. дім «АДЕФ Україна», 2007. - 144 с.

3. Байков В.П. Моделирование процесса столкновения двух транспортных средств / В.П. Байков, В.Б. Киселев // Экспертное обеспечение правосудия на современном этапе судебноправовой реформы: сб. науч.-практ. материалов. - Симферополь: ХНДІСЕ, Крым, отд-ние, 2000. - С. 127-129.

4. Байков В.П. Ударное взаимодействие транспортных средств при их столкновения / В.П.

5. Байков, В.Б. Киселев // Безпека дорожнього руху України: наук.-техн. вісник. - К.: ТОВ «Журнал «Радуга», 2000. - №1(6). - С. 81-96.

6. Пат. 39037 А Україна. Спосіб визначення швидкостей руху транспортних засобів при зіткненні / В.П. Байков, В.Б. Кисельов, К.А. Любарський; заявник і патентовласник Київський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України; заявл. 18.01.2001; опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.

7. Пат. 54738 Україна. Спосіб визначення швидкостей руху транспортних засобів при зіткненні / В.П. Байков, В.Б. Кисельов, К.А. Любарський; заявник і патентовласник Київський науково-дослідний інститут судових експертиз Міністерства юстиції України; заявл. 11.03.2002; опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3.

8. Пат. 2275612 Россия. Способ определения скоростей движения транспортных средств при столкновении / В.П. Байков, В.Б. Киселев, К.А. Любарский; заявитель и патентовладелец Киевский научно-исследовательский институт судебных экспертиз Министерства юстиции Украины; заявл. 01.03.2001; опубл. 27.04.2006, Бюл. № 12.

9. Киселев В.Б. Оценка работы деформаций и разрушения элементов конструкции транспортных средств, поврежденных в результате дорожно-транспортных происшествий / В.Б. Киселев // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук, праць. - Краматорськ: ДДМА, 2006. - № 1(3). - С. 129-134.

10. Огородников В.А. Оценка скорости транспортных средств при их столкновении по энергетическим потерям / В.А. Огородников, В.Б. Киселев // Вестник Херсонского государственного технического университета. - Херсон: ХГТУ, 2002. - № 2(15). - С. 357-359.

УДК 656.11: 342.924

АНАЛІЗ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ УКРАЇНСЬКОГО ЗАКОНОДАВСТВА ДО ЄВРОПЕЙСЬКОЇ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЇ БАЗИ У СФЕРІ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Хрутьба В. О., доктор технічних наук, Комар К. В.

Анотація. В статті наведено реєст нормативно-правових актів України та перелік міжнародних документів у сфері безпеки дорожнього руху для аналізу політики держави у даній галузі та визначено основні недоліки і причини малоефективності даної діяльності.

Об'єкт дослідження – нормативно-правові документи у сфері безпеки дорожнього руху (закони, постанови, накази і тд.).

Мета роботи – аналіз відповідності нормативно-правової бази України у сфері безпеки дорожнього руху сучасним міжнародним вимогам.

Метод дослідження – аналіз чинного законодавства.

В умовахринкових відносин одним із важливих напрямів загальноєкономічної діяльностігалузі є розвиток внутрішньодержавних та міжнародних автомобільнихперевезень, що сприяє розвитку в державі виробничої сфери, культурнихзв'язків, туризму і є істотним джерелом валютних надходжень.

Збільшення інтенсивності руху транспорту, зміна структури і швидкісних режимів транспортних потоків пред'являють усе більш жорсткі вимоги до засобів керування й організації руху для забезпечення необхідного рівня ефективності і безпеки дорожнього руху.

Результати статті можуть бути використані для розробки документів у даній сфері, .

Ключові слова: безпека дорожнього руху, нормативно-правова база

Abstract. The article contains a register of normative legal acts of Ukraine and a list of international documents in the field of road safety in order to analyze state policy in this field and identifies the main shortcomings and reasons for the inefficiency of this activity.

Object of research - analysis of the compliance of Ukraine's regulatory-law framework in the sphere of road safety with current international requirements

The purpose of the work is to analyze the regulatory framework of Ukraine in the field of road safety.

Method of research - analysis of current legislation.

In terms of market relations, one of the important directions of general economic activity is the development of domestic and international road transport, which contributes to the development of the industrial sector, cultural relations, tourism and is an essential source of foreign exchange earnings.

Increasing the traffic volume, changing the structure and high-speed modes of traffic impose increasingly stringent requirements for means of control and traffic organization to provide the necessary level of efficiency and safety of traffic.

The results of the article can be used to develop documents in this field.

Key words: road safety, normative & legal framework

Постановка проблеми

Транспорт — одна з найважливіших галузей матеріального виробництва, яка забезпечує виробничі і невиробничі потреби господарства і населення країни в усіх видах перевезення. Без транспорту не було б територіального поділу праці. Тільки він може забезпечити обмін товарами між окремими територіями, тобто внутрішні і зовнішні економічні зв'язки.

В умовахринкових відносин одним із важливих напрямів загальнооекономічної діяльностігалузі є розвиток внутрішньодержавних та міжнародних автомобільнихперевезень, що сприяє розвитку в державі виробничої сфери, культурнихзв'язків, туризму і є істотним джерелом валютних надходжень.

Збільшення інтенсивності руху транспорту, зміна структури і швидкісних режимів транспортних потоків пред'являють усе більш жорсткі вимоги до засобів керування й організації руху для забезпечення необхідного рівня ефективності і безпеки дорожнього руху.

Подальше підвищення швидкостей транспортних засобів, різке збільшення автопарку, реалізація нових принципів руху ставлять на порядок денний питання розробки основних напрямів підвищення безпеки сучасних транспортних

систем, цим питання займаються О. Т. Лановий, В. Загреба, В. П. Поліщук, Є. В. Гаврилов, В. К. Доля та інші.

Проблема стає особливо актуальною у зв'язку з інтеграцією України в Європейський транспортний простір, де суворо відстежується виконання обов'язків держави перед громадянами щодо безпечного пересування на території держави та за її межами, де діють свої стандарти стосовно безпеки пасажирів, виплат відшкодувань у разі затримок рейсів, аварій та катастроф. Проблема невідповідності українського законодавства сучасним міжнародним вимогам є причиною малоефективної політики держави у сфері безпеки дорожнього руху.

Метою роботи є аналіз відповідності нормативно-правової бази України у сфері безпеки дорожнього руху сучасним міжнародним вимогам, тому було розглянуто задачі:

- проаналізувати сучасний стан безпеки дорожнього руху в Україні,
- скласти реєстр державних нормативно-правових документів у сфері безпеки дорожнього руху,
- проаналізувати основні міжнародні документи у сфері безпеки дорожнього руху,
- проаналізувати відповідність нормативно-правової бази України європейському законодавству.

В сучасних умовах ситуація погіршується зростаючим ступенем зносу транспортних засобів, цілеспрямованим ігноруванням вимог та норм безпеки учасниками транспортного процесу. Проблема безпеки доріг є всеосяжною як з точки зору ризиків, так і розуміння. Кожне користування дорогою будь-кого — пішохода, водія, пасажирів, велосипедиста — несе значний ризик шкоди здоров'ю або втрати життя. Серед країн Європи Україна має один з найнижчих рівнів безпеки дорожнього руху. Цей рівень вимірюється масштабами наслідків, в першу чергу — кількістю втрачених життів.

Так, за даними Департаменту медичної допомоги МОЗ, з 2014 по 2017 рік в Україні зареєстровано більше 600 тисяч ДТП з потерпілими, в яких загинули 26,8 тис. людей і 232 тис. були травмовані. ДТП в Україні є першою за поширеністю причиною смерті серед молоді у віці від 15 до 24 років і другою – серед дітей у віці від 5 до 14 років. Понад 43% загиблих є пішоходами й велосипедистами. Там підраховали, що ДТП з тяжкими наслідками в Україні відбуваються через

перевищення водіями швидкості (39% випадків), необлаштованість пішохідних переходів (38%), порушення правил перетину перехрестя (30%), а також управління автотранспортом у нетверезому стані [1] (табл.1).

Таблиця 1 – Кількість загиблих та постраждалих внаслідок ДТП в період 2014-2017 рр.

Роки	Всього ДТП, тис.	Загинуло осіб	Травмовано осіб	ДТП з постраждалими	Загинуло пішоходів
2014	191,23	4833	37521	30681	1873
2015	153,78	4438	32395	26194	1631
2016	139,94	4003	31600	25493	1467
2017	142,37	3251	25206	22867	1352

Проблема аварійності та смертності на дорогах України є однією із важливих на сьогодні. Аналізуючи умови виникнення можна виділити дві передумови виникнення. По-перше низький рівень безпеки доріг призводить до великої кількості вбитих та поранених. Це призводить до фізичних і моральних та економічних втрат для суспільства. По-друге описані вище наслідки не є неминучими. Науково доведено, що 95% ДТП можна запобігти. Майже усі дорожні аварії не є стихійним лихом — вони піддаються науковому аналізу, який може достеменно виявити причини, чинники, обставини як кожного окремого випадку (мікрорівень аналізу), так і великих масивів таких аварій, скажімо, на рівні міста, області чи країни (макрорівень). На основі аналізу потрібно обирати дієві та ефективні інструменти державної політики, завдяки яким можливо успішно запобігти значній частині аварій, а в тих випадках, яким запобігти не вдається,— суттєво зменшити тяжкість наслідків. Таким чином, проблеми аварійності на дорогах, це проблема відсутності необхідної державної політики у сфері безпеки руху.

Дослідження у сфері функціонування автомобільних доріг були присвячені, головним чином, вирішенню теоретичних і практичних проблем за такими напрямками як: проектування, будівництво, ремонти та утримання доріг, оцінка техніко-економічної ефективності капіталовкладень у будівництво та утримання автомобільних доріг і раціональну організацію дорожнього руху [2] автомобільними дорогами; організація, управління та безпека дорожнього руху. Сформуємо реєстр основних нормативних документів і розділено на загальні,

галузеві, накази, постанови, розпорядження та державні стандарти (галузеві, відомчі, будівельні стандарти) і занесено до табл. 2 [3, 4, 5].

Таблиця 2 – Нормативні документи у сфері безпеки дорожнього руху

Вид документу	Назва документа
НПА загального характеру	Конституція України: Розділ І. ст. 3, 9,16., Розділ ІІ. ст. 43, 49., Розділ ІV. ст. 92. Закон України Про транспорт Закон України Про автомобільний транспорт
НПА галузевого характеру	Закон України Про автомобільні дороги Закон України Про дорожній рух
Підзаконні НПА	
Постанови	Постанова від 17 грудня 1993 р. N 1053 Київ Про затвердження переліку статистичних показників порядку обліку і звітності з питань безпеки дорожнього руху Постанова від 6 лютого 1997 р. N 149 Київ Про вдосконалення системи державного контролю за технічним станом міського електротранспорту та забезпеченням безпеки руху трамвайних вагонів і тролейбусів Постанова від 6 квітня 1998 р. N 456 Київ Про затвердження Програми забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки транспортних засобів Постанова, Правила від 10.10.2001 № 1306 Кабінет Міністрів України Про Правила дорожнього руху Постанова від 30 червня 2005 р. N 538 Київ Про затвердження Порядку обліку дорожньо-транспортних пригод Постанова від 8 листопада 2006 р. №1567 Про порядок здійснення державного контролю на автомобільному транспорті Постанова Кабінету Міністрів України від 27 червня 2007 р. №879 Про заходи щодо збереження автомобільних доріг загального користування Постанова від 3 лютого 2010 р. N 100 Київ Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері міського електричного транспорту (трамвай, тролейбус) і визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) Державною службою з безпеки на транспорті Постанова Кабінету Міністрів України від 18 квітня 2012 р. №301 Перелік автомобільних доріг загального користування державного значення Постанова від 29 лютого 2012 р. N 153 Київ Про утворення територіальних органів Державної інспекції з безпеки на наземному транспорті Постанова Кабінету Міністрів України від 11 лютого 2015 р. №103 Положення про Державну службу України з безпеки на транспорті Постанова Кабінету Міністрів України від 30 червня 2015 р. №460 Положення про Міністерство інфраструктури України Пункти 1, 3(2), 4(5,13,14,15,22,23,31,37,41,43,44,45,72) Постанова, Порядок від 10.11.2017 № 833Кабінет Міністрів України Про функціонування системи фіксації адміністративних правопорушень у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху в автоматичному режимі

Указ Президента	Про заходи щодо посилення безпеки пасажирських перевезень автомобільним транспортом Указ Президента України від 20 травня 2004 року №570/2004 Про заходи щодо забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні Указ Президента України від 12 листопада 2004 року №1398/2004 Про заходи щодо впорядкування використання спеціальних світлових і звукових сигнальних пристроїв та номерних знаків на службових транспортних засобах Указ Президента України від 30 березня 2005 року №567/2005 Про затвердження Угоди про прийняття єдиних умов періодичних технічних оглядів колісних транспортних засобів і про взаємне визнання таких оглядів Указ Президента України від 28 лютого 2006 року №159/2006 Про невідкладні заходи із забезпечення безпеки дорожнього руху. Указ Президента України від 20 листопада 2007 року №1121/2007
Наказ	Наказ, Положення від 27.12.2006 № 1197 Міністерство транспорту та зв'язку України Про затвердження Положення про службу безпеки дорожнього руху Державної спеціальної служби транспорту Наказ, Положення від 05.10.2012 № 133 Державна інспекція України з безпеки на наземному транспорті Про затвердження Положення про Ліцензійну комісію Державної інспекції України з безпеки на наземному транспорті з питань автомобільного транспорту та її складу Наказ 14.02.2012 м. Київ N 54 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 5 березня 2012 р. за N 365/20678 Про затвердження Технічних правил ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів Наказ, Програма від 18.03.2016 № 112 Міністерство інфраструктури України Про затвердження Галузевої програми забезпечення безпеки руху на автомобільному транспорті на 2016 - 2018 роки Наказ 08.11.2017 м. Київ N 296 Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 30 листопада 2017 р. за N 1456/31324 Про затвердження Правил утримання технічних засобів регулювання дорожнього руху вуличнодорожньої мережі населених пунктів
Положення галузеві	Положення про Міністерство інфраструктури України Пункти 1, 3, 4.1.(4.1.1), 4.1.34), 4.1.35), 4.1.36), 4.1.42), 4.1.57)), 4.2. (4.2.1.), 4.2.2)), 4.5, 4.8. Указ Президента України від 12 травня 2011 року №581/2011
Правила	Правила проїзду великогабаритних та великовагових транспортних засобів автомобільними дорогами, вулицями та залізничними переїздами Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 18 січня 2001 р. №30
Розпорядження	Розпорядження від 14 червня 2017 р. N 481-р Київ Про схвалення Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року
Будівельні норми	Державні Будівельні Норми України Автомобільні дороги Частина I. Проектування Частина II. Будівництво ДБН В.2.3-4:2015 Відомчі Будівельні Норми України Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи класифікація робіт з ремонтів автомобільних доріг загального користування ВБН Г.1-218-182:2006
Національний (державний) стандарт	Національний Стандарт України Безпека дорожнього руху Розмітка Дорожня Загальні технічні вимоги Методи контролювання Правила застосування ДСТУ 2587:2010 Державний Стандарт України Безпека дорожнього руху Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди Вимоги до експлуатаційного стану Національний Стандарт України Споруди транспорту Огородження дорожнє парпетного типу Загальні технічні умови ДСТУ Б В.2.3-10-2003

Із активізацією процесу євроінтеграції дана проблема набула широкого розповсюдження. Серед українських вчених Загреба В. С., який визначив 3 основні причини незадовільного стану України:

Причина 1: Держава незадовільно виконує зобов'язання перед суспільством у сфері безпеки дорожнього руху, зокрема щодо безпечних доріг, безпечних транспортних засобів, безпечної поведінки користувачів доріг, а також у сфері надання екстреної медичної допомоги.

Причина 2: Держава не створила системи управління, виконання і контролю, в якій були б наявні інституційна відповідальність та координація дій різних органів.

Причина 3: Держава не має чітких цілей та стратегії дій у сфері БДР, не має системи моніторингу і оцінки дієвості певних заходів чи політик [6].

Всі перераховані документи у табл. 2 діють на державному та регіональному рівні. На регіональному рівні також поширені типові положення щодо розвитку транспортної системи для міста, стратегії розвитку та плани.

Для інтеграції Українського законодавства у сфері безпеки руху у європейську спільноту станом на січень 2017 року було впроваджено кілька поправок та доповнень, які роблять систему адміністративних покарань дещо жорсткішою а саме [7]:

- обмеження швидкості руху у населених пунктах до 50 км/г,
- впровадження відеофіксації порушень дорожнього руху,
- зміни до Порядку видачі посвідчення водія, зміни розміру [штрафів](#) за деякі порушення,
- посилення відповідальності за керування транспортом у нетверезому стані,
- МВС пропонує установити штраф 3400 гривень (зараз штраф за це правопорушення 510 гривень) за перевищення максимально дозволеної швидкості руху більше, ніж на 50 км/год.
- за залишення місця ДТП пропонується встановити штраф 3400 гривень та передбачити можливість позбавлення права керування транспортним засобом на строк до шести місяців,
- у 20 разів пропонується збільшити розмір штрафу за управління транспортом без права керування – він становитиме 10 200 гривень, а за повторне порушення – 40 800 гривень,

- особи, позбавлені права керування, порушивши закон, сплачуватимуть штраф у розмірі 20 400 гривень, а за повторне вчинення цього порушення протягом року – 40 800 гривень.

Зміну, щодо показників вулично-дорожньої мережі їх параметрів та якості виконання пов'язаних з даними технологічними роботами тому опублікованих та чинних документів станом на січень 2018 року немає.

На виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, Галузевої програми забезпечення безпеки руху на автомобільному транспорті на 2013-2015 роки, затвердженої наказом Мінінфраструктури від 04.04.2013 № 210 (із змінами внесеними відповідно до наказів Мінінфраструктури від 08.04.2014 [8] та від 29.04.2015 № 158), з метою адаптації державних стандартів України до міжнародних нормативів у сфері функціонування систем управління безпекою руху на автомобільному транспорті, відповідно до наказу державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» від 21.08.2015 № 101 «Про прийняття нормативних документів України, гармонізованих з міжнародними та європейськими нормативними документами, національних стандартів України, скасування нормативних документів України та міждержавних стандартів в Україні» прийнято нормативний документ ДСТУ ISO 39001:2015 «Система управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT)».

При цьому, відповідно до наказу ДП «УкрНДНЦ» від 01.10.2015 № 122 ДСТУ ISO 39001:2015 набуває чинності з 01.01.2016 [9]. Вказаний ДСТУ ISO 39001:2015 прийнятий з метою встановлення гармонізованих з редакцією міжнародного стандарту ISO 39001 «Road traffic safety (RTS) management system - Requirements with guidance for use» вимог щодо управління безпекою дорожнього руху, попередження дорожньо-транспортних пригод, зменшення тяжкості їх наслідків та мінімізації економічних збитків, пов'язаних з ними.

Крім стандарту у сфері безпеки руху Україна керується переліком міжнародних стандартів та інших документів для розробки цієї галузевої політики та стратегій розвитку транспортної інфраструктури на державному та регіональному рівнях на довільний термін. Перелік міжнародних документів у сфері безпеки дорожнього занесено до табл. 3.

Виконання міжнародних вимог має забезпечуватися імплементацією існуючої міжнародної нормативно-правової бази. Проаналізуємо відповідність зв'язків законодавства України із європейськими та міжнародними документами у сфері безпеки дорожнього руху, а результати занесені до табл. 4.

Таблиця 3 – Перелік міжнародних документів у сфері безпеки руху

Вид документу	Назва документа
Конвенція	Міжнародна конвенція про дорожній рух Дата підписання Відень 8 листопада 1968 року. Дата ратифікації Української РСР 25.04.74. Із змінами і доповненнями, внесеними Європейською угодою від 1 травня 1971 року народження, поправками від 28 вересня 2004 року Міжнародна конвенція про дорожні знаки і сигнали Дата підписання Відень 8 листопада 1968 року. Дата ратифікації Української РСР 12.07.74. Із змінами і доповненнями, внесеними Європейською угодою від 1 травня 1979 року.
Директива	Директива Ради 89/459/ЄЕС від 18 липня 1989 року «Про наближення законів держав-членів стосовно глибини малюнка протектора шин певних категорій транспортних засобів та їх причепів» Директива Ради 91/439/ЄЕС від 29 липня 1991 року «Про посвідчення водія» Директива Ради 91/671/ЄЕС від 16 грудня 1991 року «Щодо обов'язкового використання ременів безпеки і систем притримування дітей у транспортних засобах» Директива Ради 92/6/ЄЕС від 10 лютого 1992 року «Щодо встановлення та використання пристроїв обмеження швидкості певних категорій механічних транспортних засобів у Співтоваристві» Директива Ради 94/55/ЄС від 21 листопада 1994 року «Про наближення законів держав-членів відносно транспортування небезпечних товарів дорогою» Директива Ради 96/53/ЄС від 25 липня 1996 року «Про встановлення для певних наземних транспортних засобів, що рухаються в межах Співтовариства, максимально дозволених розмірів під час національних і міжнародних перевезень і максимально дозволеної ваги під час міжнародних перевезень» Директива Ради 96/96/ЄС від 20 грудня 1996 року «Про наближення законодавства держав-членів щодо перевірок з придатності до експлуатації автомобілів та автопричепів»
ISO	ISO 39001:2015 «Система управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT)».

Дорожній транспорт та автомобільні дороги утворюють складну динамічну систему. Ця система представляє собою сукупність різних за типами транспортних засобів, які рухаються автомобільними дорогами та керуються людьми, а також пішоходів, і має назву дорожній рух. Для того, щоб забезпечити ефективність останнього, необхідною є сумісна діяльність багатьох організацій: уряду, міністерств і відомств, суб'єктів господарювання, підприємств дорожнього господарства, а також громадян – членів суспільства, які є учасниками дорожнього руху.

Таблиця 4 – Відповідність нормативно-правової бази України європейському законодавству

	Міжнародна конвенція про дорожній рух	Міжнародна конвенція про дорожні знаки і сигнали	Директива Ради 89/459/ЄЕС «Про наближення законів держав-членів стосовно глибини малюнка протектора шин певних категорій транспортних засобів та їх причепів»	Директива Ради 91/439/ЄЕС «Про посвідчення водія»	Директива Ради 91/671/ЄЕС «Щодо обов'язкового використання ремінів безпеки і систем притримування дітей у ТЗ	Директива Ради 92/6/ЄЕС «Щодо встановлення та використання пристроїв обмеження швидкості певних категорій механічних транспортних засобів у Співтоваристві»	Директива Ради 96/53/ЄС «Про встановлення для певних наземних транспортних засобів, що рухаються в межах Співтовариства, максимально дозволених розмірів під час національних і міжнародних перевезень і максимально дозволеної ваги під час міжнародних перевезень»	Директива Ради 96/96/ЄС «Про наближення законодавства держав-членів щодо перевірок з придатності до експлуатації автомобілів та автопричепів»	ISO 39001:2015 «Система управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT)».
Закон України Про транспорт	+								
Закон України Про автомобільний транспорт		+		+					
Закон України Про автомобільні дороги		+							
Закон України Про дорожній рух	+								
Постанова Про затвердження переліку статистичних показників порядку обліку і звітності з питань безпеки дорожнього руху	+			+					
Постанова Про затвердження Програми забезпечення безпеки дорожнього руху та екологічної безпеки транспортних засобів			+						
Постанова, Правила Про Правила дорожнього руху	+								
Постанова Про порядок здійснення державного контролю на автомобільному транспорті									
Постанова Перелік автомобільних доріг загального користування державного значення				+					
Постанова Про затвердження переліку статистичних показників порядку обліку і звітності з питань безпеки дорожнього руху						+			
Постанова Про затвердження Порядку обліку дорожньо-транспортних пригод						+	+		

Постанова Про порядок здійснення державного контролю на автомобільному транспорті								+	
Постанова Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері міського електричного транспорту (трамвай, тролейбус) і визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) Державною службою з безпеки на транспорті					+			+	
Наказ Про затвердження Правил утримання технічних засобів регулювання дорожнього руху вуличнодорожньої мережі населених пунктів								+	
Наказ Про затвердження Технічних правил ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів							+		
Наказ, Програма Про затвердження Галузевої програми забезпечення безпеки руху на автомобільному транспорті на 2016 - 2018 роки			+						
Про затвердження Угоди про прийняття єдиних умов періодичних технічних оглядів колісних транспортних засобів і про взаємне визнання таких оглядів Указ Президента України				+					
ДСТУ ISO 39001:2015 «Система управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT)».									+

Дорожній транспорт та автомобільні дороги утворюють складну динамічну систему. Ця система представляє собою сукупність різних за типами транспортних засобів, які рухаються автомобільними дорогами та керуються людьми, а також пішоходів, і має назву дорожній рух. Для того, щоб забезпечити ефективність останнього, необхідною є сумісна діяльність багатьох організацій: уряду, міністерств і відомств, суб'єктів господарювання, підприємств дорожнього господарства, а також громадян – членів суспільства, які є учасниками дорожнього руху.

Висновки. У статті було проаналізовано чинне законодавство у сфері безпеки руху та визначено зміни, які внесені до нормативних документів, станом

на січень 2018 року, було складаено реєстр державних та міжнародні стандартів та нормативні документи щодо безпеки дорожнього руху та умов їх забезпечення. У ході порівняльного аналізу європейських та міжнародних нормативних документів та законодавчих актів з українськими відповідниками (табл. 4) був графічно зображений взаємозв'язок представлених нормативних документів. Отримані результати показують ступінь інтеграції міжнародних документів в українські нормативні документи у сфері безпеки дорожнього руху.

Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT)». . Малоефективна реалізація даної політики зумовлена в першу чергу досить жорсткими правилами, процедурами внесення змін до нормативних документів, законопроектів та стандартів, а також часом витраченим на вищеперераховані процедури. За час витрачений на дані дії транспортна система змінюється, а отже вимоги до безпеки руху та елементи її забезпечення вдосконалюється. Технології, матеріали, їхні критерії вдосконалюються, а тому потребують вимог для власної реалізації та відповідних нормативних документів.

Перелік посилань

1. Департамент медичної допомоги МОЗ / http://old.moz.gov.ua/ua/portal/pre_20151113_e.html
2. Лановий О. Т. Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг: Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук/ О. Т. Лановий – Київ: НТУУ, 2016. С. 22 – 24.
3. Офіційний портал Верховної Ради України /rada.gov.ua
4. Компанія ЛІГА:ЗАКОН / www.ligazakon.ua/ua/
5. [Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний»/dorndi.org.ua/uk/](http://dorndi.org.ua/uk/)
6. Загреба В. Якою має бути державна політика щодо безпеки дорожнього руху в Україні?: Policy Paper / В. Загреба – Київ: Європейський інформаційно-дослідницький центр, 2016. – С. 40.
7. Постанова КМУ від 10.11.2017 № 883 «Про внесення змін до
8. Правил дорожнього руху»)
http://mvs.gov.ua/ua/news/11566_Rozyasnennya_MVS_shchodo_zmin_do_PDR_yaki_vstupili_v_diyu_1_sichnya.htm
9. Наказ ДП «УкрНДНЦ» від 01.10.2015 № 122

ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 556.531+519.24.001

Артеменко В.А., Петрович В.В., канд. техн. наук

ВІДНОВЛЕННЯ НАДВЕЛИКИХ ПРОПУСКІВ В ГІДРОЕКОЛОГІЧНИХ РЯДАХ МЕТОДОМ МУЛЬТИЛІНІЙНОЇ РЕГРЕСІЇ

Анотація. В статті наведений метод відновлення пропусків в часових рядах концентрацій речовин за даними повних рядів концентрацій інших речовин водного об'єкта.

Залежність між гідроекологічними параметрами описана з використанням лінійної функції багатьох змінних.

Запропонований метод дозволяє усунути безперервні пропуски в рядах даних довжиною декілька років.

Допустима істотна свобода у виборі опорних (повних) рядів та за величиною дискретизації їх за часом.

Відновлення надвеликих пропусків із використанням метода мультилінійної регресії показано на прикладі відновлення часового ряду розчиненого кисню у річковій воді та воді водосховища.

У даному випадку при відновленні пропусків для ряду розчиненого кисню у річковій воді було використано 14 предикторів, для водосховища – 13 предикторів.

Лінійний коефіцієнт кореляції між відновленими та дійсними значеннями завжди був більше 0.7.

Методика дозволяє також усувати надвеликі пропуски в різних природних часових рядах.

Ключові слова: гідроекологічні часові ряди, надвеликі пропуски, метод мультилінійної регресії, відновлення пропусків, часовий ряд розчиненого у воді кисню.

Abstract. A method has been developed to restore the time series of the concentration of the test substance from the results of observations of other time series of water body. Relationships between hydroecological components were determined using a linear function of many variables.

The proposed method can restore complete gaps in the source data, exceeding several years in time.

You can select the types of reference series and time slicing intervals.

The possibility of eliminating long gaps using multilinear regression is shown by the example of restoring the time series of dissolved oxygen in river water and water reservoir.

To restore the gaps in the time series, the concentration of dissolved oxygen in the river water was used 14 predictors, for the reservoir 13 predictors.

The linear correlation coefficient between the real and recovered values of the series always remained greater than 0.7.

In most cases, the considered method can adequately restore many natural time series.

Keywords: hydrological time series, very long gaps in time series, multilinear regression method, restore the time series, time series of the concentration of dissolved oxygen.

Я буду цитировать гораздо
более достойную вещь – опыт,
наставника из наставников.
. . . Опыт никогда не ошибается.
Ошибаются только суждения ваши,
которые ждут от него вещей,
не находящихся в его власти.
Леонардо да Винчи

Введение

Как известно, процессы, происходящие в гидроэкологической системе, можно охарактеризовать при помощи различных временных рядов: гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и др.

Практика гидроэкологического мониторинга обычно не обеспечивает достаточной частоты наблюдений. Наличие пропущенных значений в исходных

временных рядах значительно усложняет реализацию эффективных алгоритмов прогнозирования, поскольку такие алгоритмы в большинстве случаев требуют эквидистантных данных без пропусков [1]. Устранение пропусков в исходных данных и, соответственно, приведение их к эквидистантному виду представляют собой отдельные важные задачи [2,3].

Как правило, если пропуски небольшие (идущие подряд несколько точек), возможно использовать известные методы интерполяции: линейную, сплайнами и др. Однако если рассматривать устранение сверхбольших пропусков в несколько тысяч подряд идущих значений, такие пропуски обычными методами интерполяции устранить не удаётся. Прямым прогнозированием устранить их также не получается, так как большинство природных рядов прогнозируются всего на несколько точек вперёд.

В [4] был приведен метод восстановления пропусков в рядах одного водного объекта по полным рядам другого водного объекта, где в качестве исходных данных фигурировали только гидрологические ряды.

В развитие этого метода выполнено восстановление временных рядов концентраций различных химических веществ по ряду расходов воды в реке [5].

Проведенные нами численные эксперименты по восстановлению временных рядов концентраций одних химических веществ по временным рядам концентраций других химических веществ в реке (рядов без пропусков) дали в основном результаты вполне удовлетворительного качества.

В настоящее время при решении различных задач экологии практикуется системный подход, рассматривающий множество взаимодействующих компонентов системы в целом [6,7].

Анализируя свойства отдельных компонентов такой системы, следует отметить, что все они находятся в определённой взаимосвязи с другими компонентами. Поскольку в любой гидроэкологической системе целый ряд параметров взаимосвязан, вполне возможно восстановление одних временных рядов по качественно другим временным рядам.

Как показали предварительные численные эксперименты, взаимосвязи между гидроэкологическими компонентами водного объекта (реки, водохранилища) вполне адекватно могут быть описаны с помощью линейной функции многих переменных. При этом может использоваться достаточно много опорных рядов (рядов без пропусков).

Ранее линейная функция многих переменных была использована, например, при решении задачи о классах качества вод [2], при оценке численности популяции трески в зависимости от солёности и концентрации кислорода в придонном горизонте [8], а также других задачах.

Данное исследование проведено с целью устранения сверхбольших пропусков в исходных гидроэкологических временных рядах с помощью линейной функции многих переменных.

В статье рассматривается практический подход к устранению сверхбольших пропусков (пробелов) во временных гидроэкологических рядах сроком один год или даже более.

МЕТОД МУЛЬТИЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

В случае многомерной линейной регрессии величина Y зависит от нескольких независимых переменных [9,10].

В матричной форме уравнение линейной многомерной регрессии может быть представлено в виде

$$Y = X * K, \quad (1)$$

где Y – вектор зависимой переменной (отклик), X – регрессионная матрица, K – вектор коэффициентов линейной функции.

При этом число столбцов регрессионной матрицы будет на единицу больше числа предикторов, а первый столбец регрессионной матрицы есть, очевидно, единичный вектор - столбец.

Численные эксперименты, показали, что для нахождения коэффициентов можно использовать обычную регрессию (метод наименьших квадратов).

Коэффициенты уравнения (1) могут быть найдены по формуле

$$K = (X^T * X)^{-1} * X^T * Y, \quad (2)$$

где T – оператор транспонирования, “-1” означает инвертирование матрицы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве примера использования мультилинейной регрессии в задачах гидроэкологии рассмотрим результаты восстановления пропусков во временных рядах концентрации растворённого кислорода в воде.

Для выполнения расчётов были использованы среднесуточные данные по р. Десна (створ с. Летки) и Киевскому водохранилищу за период с 1995 по 2010 год включительно (без пропусков). Для упрощения вычислений значения данных за 29 февраля высокосных годов из рассматриваемых рядов исключались.

При проведении численных экспериментов из исходных данных искусственно удалялась часть значений по концентрациям растворённого в воде кислорода. Изъятые данные были использованы в дальнейшем для оценки качества регрессии (см. ниже).

Для восстановления пропусков во временном ряду концентрации растворённого кислорода в речной воде было использовано 14, для водохранилища – 13 предикторов.

Перечень используемых предикторов для восстановления пропусков в ряду концентрации растворённого кислорода в речной воде приведен в Таблице 1, водохранилища – Таблице 2. Подобный подход позволяет установить – можно ли прогнозировать значения конкретного показателя, зная величины остальных базовых показателей.

Коэффициенты линейной многомерной регрессии между содержанием кислорода и выбранными предикторами были определены согласно (2) для 12 – летнего участка временного ряда (1995 ... 2006 гг.). Для всех коэффициентов регрессии вычислялись доверительные интервалы.

Как известно, классически доверительные интервалы для коэффициентов регрессии определяются на базе формул, основанных на нормальном законе распределения Гаусса. Это требует дополнительных проверок на нормальность отклика, остатков, а также выполнения ряда других трудоёмких операций. Без таких проверок не рекомендуется выполнять как саму регрессию, так и находить доверительные интервалы.

Таблица 1 – Предикторы, используемые при восстановлении пропусков во временных рядах концентрации растворённого кислорода в речной воде

Номер п/п	Наименование предиктора	Номер п/п	Наименование предиктора
X01	Щёлочность воды, ммоль/дм ³	X08	Концентрация NO_2^- , мг/дм ³
X02	Концентрация Cl^- , мг/дм ³	X09	Концентрация NO_3^- , мг/дм ³
X03	Концентрация CO_2 , мг/дм ³	X10	Окисляемость кислородная
X04	Цветность воды, град.	X11	Водородный показатель pH
X05	Железо общее, мг/дм ³	X12	Расход воды, м ³ /с
X06	Концентрация HCO_3^- , мг/дм ³	X13	Концентрация SO_4^{2-} , мг/дм ³
X07	Концентрация NH_4^+ , мг/дм ³	X14	Температура воды, град. Цельсия

Таблица 2 – Предикторы, используемые при восстановлении пропусков во временных рядах концентрации растворённого кислорода в водохранилище

Номер п/п	Наименование предиктора	Номер п/п	Наименование предиктора
X01	Жёсткость воды, ммоль/дм ³	X08	Концентрация NO_2^- , мг/дм ³
X02	Щёлочность воды, ммоль/дм ³	X09	Концентрация NO_3^- , мг/дм ³
X03	Концентрация Cl^- , мг/дм ³	X10	Окисляемость кислородная
X04	Цветность воды, град.	X11	Водородный показатель pH
X05	Железо общее, мг/дм ³	X12	Температура воды, град. Цельсия
X06	Концентрация Mn^{2+} , мкг/дм ³	X13	Мутность воды, мг/дм ³
X07	Концентрация NH_4^+ , мг/дм ³		

Вместе с тем в современных монографиях по регрессии все постулаты относительно связи регрессии и нормальности исходных данных снимаются.

Поскольку гидроэкологические данные в большинстве своём не есть нормально распределённые, в работе был использован качественно другой подход, основанный на использовании метода непараметрического бутстрэпа. Непараметрический бутстреп позволяет легко определять доверительные

интервалы для различных параметров и статистик при любом законе распределения. В данном случае доверительные 95% - е интервалы для коэффициентов регрессии вычислялись по методике [11].

Для восстановления пропусков по содержанию растворённого кислорода согласно (1) была использована вторая (независимая) часть ряда за 2007 ... 2010 годы, т.е. имитировался 4 – летний период непрерывных пропусков.

При этом временные ряды предикторов и растворённого кислорода рассматривались с различными интервалами квантования по времени (1 сутки, 5 суток, месяц и пр.).

На рисунках 1 ... 4 представлены некоторые результаты восстановления ряда концентрации растворённого кислорода при различных интервалах квантования для реки и водохранилища соответственно.

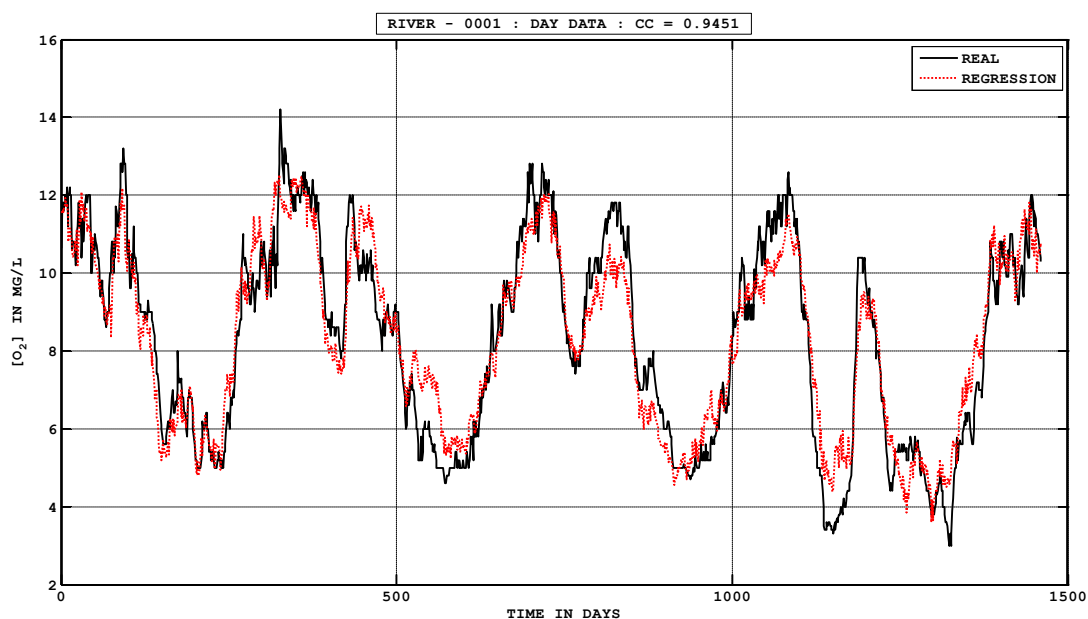


Рисунок 1– Результаты восстановления ряда концентрации растворённого кислорода в воде р. Десна за 4 – летний период (интервал квантования 1 день).

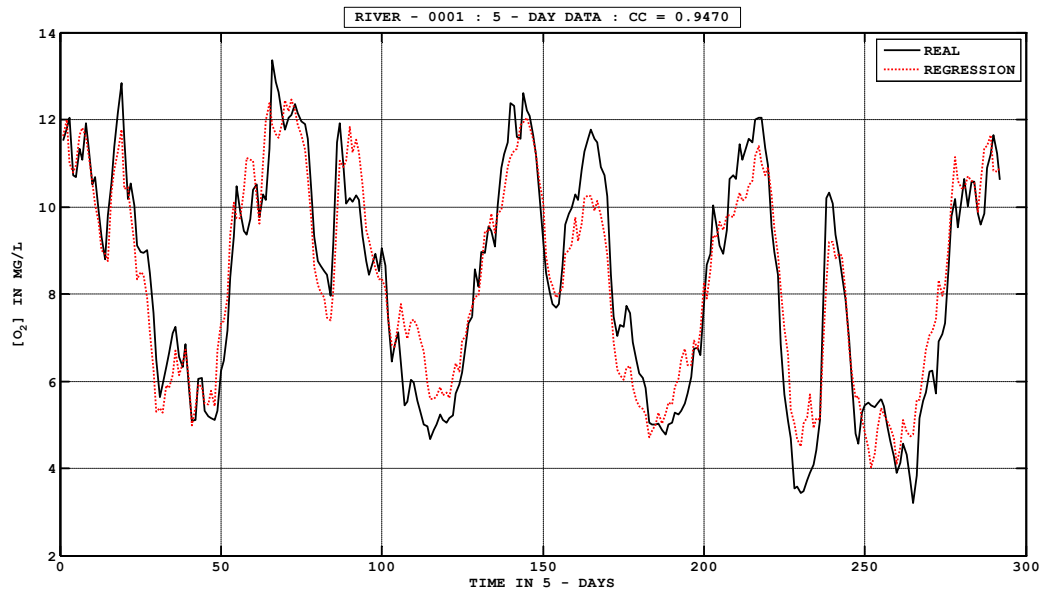


Рисунок 2 – Результаты восстановления ряда концентрации растворённого кислорода в воде р. Десна за 4 – летний период (интервал квантования 5 дней).

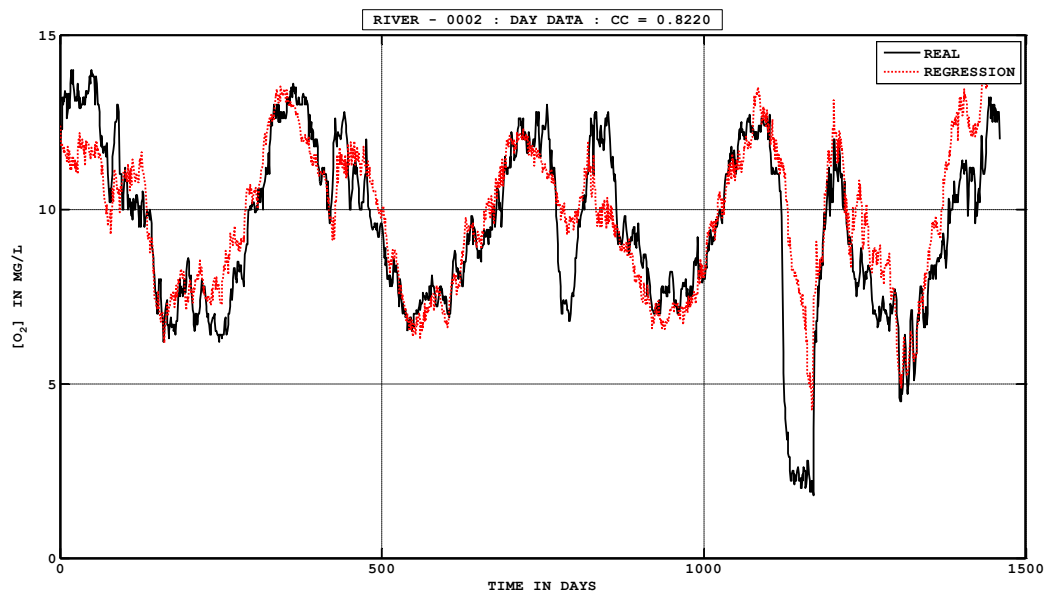


Рисунок 3 – Результаты восстановления ряда концентрации растворённого кислорода в воде водохранилища за 4 – летний период (интервал квантования 1 день).

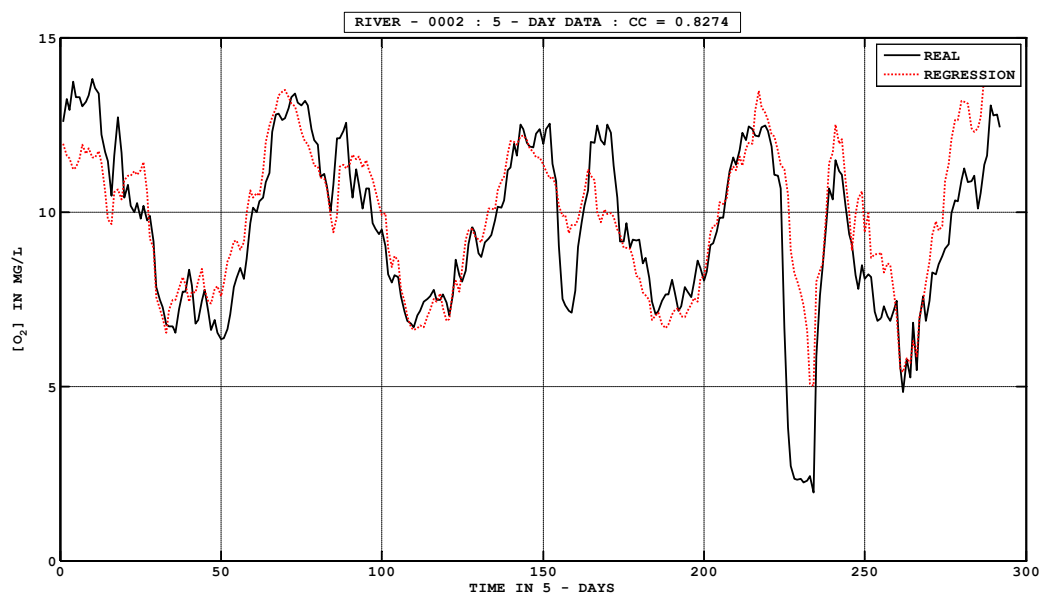


Рисунок 4 – Результаты восстановления ряда концентрации растворённого кислорода в воде водохранилища за 4 – летний период (интервал квантования 5 дней)

Следует особо отметить, что доверительные интервалы для некоторых коэффициентов регрессии содержат “внутри себя” значение “ноль”. Если строго следовать теории, полученные результаты регрессии будут не значимы. Но, поскольку оценивалось качество регрессии на независимом участке ряда, и качество оказалось достаточно высоким, то, несмотря на ряд ограничений теоретического плана, на практике вполне возможно использовать данный подход к построению многомерной линейной регрессии и получать положительные результаты.

Качество регрессии оценивалось с использованием классического линейного коэффициента корреляции Пирсона (СС).

Вопрос о том, что зависимость вида **(1)** действительно реальна, выясняется исключительно при восстановлении ряда растворённого кислорода по имеющимся опорным рядам. Принято считать, что такая зависимость существует, если ряд реальный, данные по которому у нас также есть (см. выше), и ряд восстановленный имеют коэффициент корреляции, равный 0.7 или более.

Как показали результаты расчётов, коэффициенты корреляции между реальными и восстановленными значениями остаются всегда существенно больше, чем значение 0.7.

Так, для реки величина CC , полученная на независимом участке ряда, составила 0.94 при интервале квантования 1 день, что значительно превышает критерий удовлетворительного результата.

В этой связи можно говорить о том, что исходные данные с точки зрения временного ряда растворённого кислорода обладают определённой структурой, которая хорошо “улавливается” при процедуре восстановления.

Также с помощью данного метода было успешно выполнено восстановление временного ряда гидрокарбонат – ионов и некоторых других веществ.

Однако рассмотренный метод восстановления работает не для всех рядов. Так, восстановление временного ряда концентрации аммонийных ионов с удовлетворительным качеством выполнить не удалось.

В заключение заметим, что использование каких – либо специальных методов регрессии не смогло существенным образом повысить качество восстановления данных. При этом большинство таких методов являются достаточно сложными для практической реализации.

Программно метод мультилинейной регрессии (и бутстрепа) был реализован на языке программирования MATLAB в бесплатных программах OCTAVE и FREEMAT.

При этом возможна работа не только в операционной системе WINDOWS, но также в LINUX.

Для нахождения вектора неизвестных коэффициентов K использовался специальный оператор языка программирования MATLAB – “обратный слеш” (обратная косая черта \).

Выводы

1. В статье рассматривается практический подход к устранению сверхбольших пропусков (пробелов) во временных рядах сроком один год или даже более.

Разработан метод восстановления временного ряда концентрации исследуемого вещества при наличии результатов наблюдений за другими (опорными) рядами водного объекта.

При этом взаимосвязи между гидроэкологическими компонентами могут быть адекватно описаны с помощью линейной функции многих переменных.

Допускается достаточная свобода в выборе типов опорных рядов и интервалов квантования по времени.

2. Возможности устранения длительных пропусков с помощью мультилинейной регрессии показаны на примере восстановления временного ряда растворённого кислорода в речной воде и воде водохранилища.

Линейный коэффициент корреляции между реальными и восстановленными значениями ряда всегда оставался больше значения 0.7.

3. В большинстве случаев рассмотренным методом можно адекватно восстанавливать многие гидроэкологические ряды.

Полученные результаты показали, что существенно различающиеся по режиму функционирования водные объекты хорошо описываются указанными мультилинейными соотношениями.

Следует особо отметить, что временные ряды концентрации некоторых химических веществ данным методом восстановить не удавалось (например, ряды концентрации аммонийных ионов).

Перечень ссылок

1. Розенберг Г.С. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов) / Г.С. Розенберг, В.К. Шитиков, П.М. Брусиловский. - Тольятти: Изд-во Института экологии Волжского бассейна РАН, 1994. – 182 с.

2. Шитиков В.К. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. - Тольятти: Изд-во Института экологии Волжского бассейна РАН, 2003. – 463 с.

3. Артёменко В.А. Устранение пропусков в гидрохимических временных рядах методом многообразий малой размерности / В.А. Артёменко, В.В. Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 102. - К.: Вид. Націон. трансп. ун-ту. - 2018. - С. 250 - 267.

4. Артёменко В.А. Метод восстановления сверхбольших пропусков в гидрологических временных рядах / В.А. Артёменко, В.В. Петрович // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, вип. 93. - К.: Вид. Націон. трансп. ун-ту. - 2015. - С. 150 - 156.

5. Артёменко В.А. Метод восстановления пропусков в гидрохимических временных рядах / В.А. Артёменко, В.В. Петрович // Автомобільні дороги і

дорожнє будівництво, вип. 101. - К.: Вид. Націон. трансп. ун-ту. - 2017. - С. 192 - 201.

6. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии. - М.: Мир, 1981. – 252 с.

7. Страшкраба М. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование / М. Страшкраба, А. Гнаук. - М.: Мир, 1989. – 376с.

8. Дроздов В.В. Общая экология. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2011. - 412 с.

9. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. - М.: Финансы и статистика. – 1986, Кн. 1, 366 с.; 1987. Кн. 2, 351 с.

10. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. - М.: Высшая школа, 1988. - 239 с.

11. Шитиков В.К. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R / В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг. - Тольятти: Кассандра, 2013. - 314 с.

УДК 624.21

Паровенко О.М., канд.техн.наук, **Башкевич І.В.,** канд.техн.наук,
Святишенко І.І.

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД
ЗРОШУВАЛЬНИХ КАНАЛІВ
(до 75-річчя НТУ)**

У період 1961 – 1971 р.р. було побудовано Північно-Кримський канал (ПКК). Побудова цієї гідротехнічної споруди сприяла вирішенню проблем посушливих зон півдня України та зрошення сільськогосподарських угідь дніпровськими водами. В процесі експлуатування каналу виникало багато питань, пов'язаних з технічними та економічними проблемами. Саме для вирішення цих питань, на замовлення інституту «Укрдіпроводгосп», в період з 1967 по 1987 рік були залучені співробітники кафедри гідравліки Київського автомобільно-дорожнього інституту (нині кафедра мостів, тунелів та гідротехнічних споруд НТУ).

Ідеї та рішення, отримані в ході систематичних натурних, лабораторних та математичних досліджень неусталеного руху на Північно - Кримському каналі, які проводилися науковими експедиціями кафедри гідравліки (КАДІ) увійшли складовою частиною в цикл праць «Теорія і технологія ресурсозберігаючого управління вододільними системами з впровадженням їх у виробництво», удостоєних в 1998 році Державної премії України в галузі науки та техніки. Одним з лауреатів став у складі авторського колективу завідуючий кафедрою «Гідравліки» доктор технічних наук, професор Большаков Валерій Олексійович.

Протягом кількох років проводились дослідження перехідних процесів та кількісні розрахунки на прикладі каналів, які розташовані на півдні України. Були виконані натурні, лабораторні та математичні дослідження перепускної здатності споруд, розташованих на Північно-кримському каналі (рис. 1, 2). Велику увагу було приділено проектуванню та будівництву технічно-досконалих зрошувальних систем з автоматизованим регулюванням водопостачання. Характерною особливістю роботи таких систем є динамічність процесів, що відбуваються. Це пов'язано зі змінами водоспоживання як в часі, так і по довжині русла каналу.



Рис. 1 – Загальний вигляд основної споруди ПКК



Рис. 2 – Загальний вигляд загальної споруди ПКК

Процеси, що виникають у період перерегулювання режиму водоспоживання, а також внаслідок аварійних ситуацій називаються перехідними.

Основою перехідних процесів є неусталений рух рідини у зрошувальних каналах, який з точки зору математичної одновимірної теорії можна описати рівняннями Сен-Венана.

При розробці алгоритму розв'язку поставленої задачі було взято за основу раніш розроблену модель, яка заснована на чисельному інтегруванні рівнянь Сен-Венана.

Розроблена програма дозволила провести чисельні розрахунки перехідних процесів з метою отримання оптимальних варіантів регулювання, а також оцінити ефективність обраного способу автоматичного регулювання водопостачання. Також можна було розрахувати характерні експлуатаційні режими роботи каналу.

Для розв'язання задачі автоматизованого управління водорозподілом на ПКК розглядались різноманітні схеми автоматичного регулювання витрат та рівнів води. Метою натурних спостережень, що проводились співробітниками кафедри, була експериментальна перевірка результатів багатьох розрахунків у реальних умовах при однакових вихідних даних.

Для проведення експерименту було обрано споруди, розташовані на Роздольненському каналі. Результати натурних спостережень було змодельовано та апробовано в гідравлічному лотку лабораторії кафедри (рис. 3). Проведені натурні та лабораторні дослідження підтвердили результати попередніх розрахунків.

Зроблено висновок, що для розрахунку руху води в каналах при автоматичному регулюванні доцільно було б застосувати математичну модель у вигляді граничної задачі для рівнянь Сен-Венана. Водоспоживання в зрошувальних каналах змінюється з часом, тому реальні умови протікання води відповідають режиму неусталеного руху.

Науковцями кафедри були проведені теоретичні та експериментальні дослідження неусталеного руху води в Красноперекопській зрошувальній системі.



Рис. 3 – Модель споруди у гідравлічному лотку лабораторії кафедри в масштабі 1:40.

Для вивчення особливостей неусталеного руху води в зрошувальних каналах та з метою порівняння теоретичних розрахунків з даними результатів натурних спостережень, слід було визначити загальні характеристики хвилі наповнення при порівняно великій початковій глибині в каналі; виконати зйомку та провести аналіз миттєвих профілів (кривих) вільної поверхні потоку та аналіз зміни рівнів води за часом у фіксованих перерізах уздовж каналу. Також необхідно було визначити зміни середньої швидкості розповсюдження фронту хвилі наповнення вздовж каналу з метою встановлення часу транспортного спізнання потоку та вивчити умови трансформації максимальних витрат по всій довжині русла залежно від зміни витрат в кінцевому перерізі каналу.

Проведені натурні дослідження підтвердили попередні розрахунки з визначення впливу різних факторів на елементи неусталеного руху у випадку руху хвилі наповнення. Для подальших робіт було застосовано метод чисельного рішення диференційних рівнянь Сен-Венана за явною різницевою схемою.

Застосування математичної моделі у вигляді граничної задачі для рівнянь Сен-Венана дало можливість отримання оптимальних варіантів регулювання, які

забезпечили мінімум не виробничих скидів, а також дозволили в цілому оцінити ефективність обраного способу автоматичного регулювання водопостачання.

З гідравлічної точки зору головна споруда ПМК – водозлив. Було проведено експериментальні дослідження з визначення коефіцієнта витрат та коефіцієнта затоплення споруди при різних положеннях затвора. Критерієм подібності при проведенні експеримента було число Фруда.

Результати експериментів було опубліковано в наукових статтях. Для перевірки результатів лабораторних досліджень було проведено порівняння з даними натурних спостережень, які виконувались спільно з херсонською експедицією інституту «Діпроводгосп».

Проведені дослідження дозволили зробити висновки:

- якщо буде введено другу чергу ПМК, то головна перепускна споруда не забезпечить необхідних витрат при потрібному рівні води в каналі;
- перепускна здатність споруди залежить від рівня води в каналі, тому для забезпечення цієї умови слід збільшити перепускну можливість самого каналу.

Свого часу на ПМК почались проєктні розробки другої черги каналу ПМК. Це було пов'язано з запланованим збільшенням зрошувальних площин. Для прийняття правильних рішень проєктувальникам необхідно було знати фактичний коефіцієнт шорсткості каналу. Співробітниками кафедри було виконано фахові натурні спостереження на характерних ділянках каналу, а саме: вимір витрат води у відповідних перерізах, зйомка живих перерізів у проміжних та кінцевих точках ділянки та вимір відстаней між ними.

З огляду на нерівномірність руху води в каналі для визначення коефіцієнтів шорсткості було застосовано методику з використанням рівнянь нерівномірного руху. Проведено оцінювання похибки вимірювань. Відносна середня квадратична помилка становила 0,8 %. Були надані рекомендації з визначення середніх значень коефіцієнтів шорсткості для відповідних ділянок ПМК. Вирішення задачі неусталеного руху в гідротехнічній споруді завжди було і є актуальним, тому що дозволяє комплексно та достовірно розрахувати перехідні процеси.

Результати розробок науковців нашої кафедри було залучено до проєктних та експлуатаційних рішень ПМК та відображено в багатьох випусках збірника «Гидравлика и гидротехника».

На даний час питання експлуатування ПКК залежить від постачання води до каналу. Перекриття доступу води в канал сприяє виникненню проблем з водопостачанням до сільськогосподарських земель Херсонської області. Рівень ґрунтової води підвищується. Це впливає на посилене випаровування, що в свою чергу, викликає надмірне засолення ґрунту. Тому виникає питання про експлуатацію споруд, які розташовані в зоні підвищення ґрунтових вод. Ця проблема є проблемою державного значення і вирішення її можливе лише при залученні науково-інженерного потенціалу всієї країни.

У нашому університеті відкрито нову спеціальність 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології», що сприятиме підготовці молодих спеціалістів, здатних вирішувати проблеми експлуатування гідротехнічних споруд із застосуванням новітніх технологій, та продовжити наукові традиції кафедри.