

РОЗВІДУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ДОРІГ ТА ПЕРЕХОДІВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ

УДК 625.723

Каськів В.І., канд. техн. наук, **Гусєв О.В.**, канд. техн. наук, **Каськів С.В.**

КОЕФІЦІЄНТ СТІЙКОСТІ УКОСУ НАСИПУ. ПОТРІБНО ЙОГО НОРМУВАТИ ЧИ НІ?

Анотація. Підняті питання про необхідність перегляду нормування величини коефіцієнта стійкості укосу насипу та зовнішнього навантаження, що прикладають при розрахунках насипів.

Ключові слова: автомобільна дорога; насип; укіс; коефіцієнта стійкості укосу; зовнішнє навантаження.

Аннотация. Подняты вопросы о необходимости пересмотра нормирования величины коэффициента устойчивости откоса насыпи и внешней нагрузки, действующей на насыпи при их расчете.

Ключевые слова: автомобильная дорога; насыпь; откос; коэффициент устойчивости откоса; внешняя нагрузка.

Aannotation. Raised questions about the need to review standardization coefficient of stability of the embankment slope and the external load is applied in the calculation of embankments.

Key words: road; embankment; slope; slope stability factor; an external load.

Постановка проблеми

Зараз проходить перезатвердження, переробка і доповнення одного із основних документів у дорожній галузі – ДБН В.2.3–4 [1].

На нашу думку, слід приділити увагу: 1) узгодженості будівельних норм між собою в розділі навантажень і зусиль, що діють на споруди і конструкції; 2) висунути вимоги до величини і розрахункових залежностей для визначення коефіцієнта стійкості укосу насипу.

Основна частина

Основними ґрунтовими спорудами на автомобільних дорогах є насипи. Першочергове значення при їх влаштуванні має стійкість таких споруд, особливо, їх укосів. Практика будівництва й експлуатації автомобільних доріг свідчить про неодноразові випадки деформацій і навіть руйнування високих насипів. Причому, деформації мають місце не тільки на насипах, які знаходяться в несприятливих природно-кліматичних, інженерно-геологічних та гідрологічних умовах, як наприклад, у гірських районах Криму і Карпат, на схилах, що схильні до прояву зсувних процесів, але й у порівняно сприятливих умовах рівнини.

Загальна стійкість насипів, як ґрунтових масивів, може бути забезпечена тільки відповідним підбором ґрунтів, раціональним управлінням технологічним процесом їх спорудження та ущільнення, розрахунком оптимальної крутизни укосів, відповідним укріпленням і системою експлуатаційних заходів.

Згідно з ДБН В.2.3–4 [1] для насипів висотою понад 3 м змінюється величина закладання укосів, а також вимоги із забезпечення безпеки руху, що знайшло своє відображення також у ДСТУ 2735 [2], тому насипи висотою понад 3 м можна вважати високими. Проте у ДБН В.2.3–4 [1] також відмічено, що “... Індивідуальні рішення щодо конструкцій поперечного профілю з відповідними обґрунтуваннями призначаються:

- для насипів заввишки понад 12 м;
- для насипів з тимчасовим або постійним затопленням укосів;
- для насипів, що споруджуються на болотах завглибшки понад 4 м з виторфовуванням, або за наявності поперечних похилів дна болота понад 1:10;
- для насипів, що споруджуються на слабких ґрунтах;
- при використанні в насипах ґрунтів підвищеної вологості;
- для виїмок завглибшки понад 12 м, влаштованих у нескельних ґрунтах, та завглибшки понад 16 м – у скельних ґрунтах;

- для виїмок у шаруватих ґрунтових масивах за несприятливих гідрогеологічних умов;
- для виїмок завглибшки понад 6 м в пилуватих ґрунтах, а також у глинистих і скельних ґрунтах, що розм'якшуються і втрачають стійкість в укосах під дією погодно-кліматичних факторів;
- для виїмок у набухаючих ґрунтах за несприятливих умов їх зволоження;
- для насипів і виїмок, що споруджуються в складних інженерно-геологічних умовах: згідно із СНиП 1.02-07 на крутосхилах понад 1:3, на ділянках з наявністю або можливістю виникнення зсувів, карсту, обвалів, осипів, сільових потоків, снігових лавин тощо;
- на ділянках, на яких застосовуються дренажні та інші споруди, що забезпечують стійкість земляного полотна;
- на ділянках сполучення земляного полотна з мостовими спорудами тощо.”

Тобто насипи висотою 12 м і виїмки глибиною 6 – 12 м повинні мати індивідуальні проектні рішення щодо конструкцій поперечного профілю, зокрема з перевіркою стійкості їх укосів і споруди в цілому.

У роботі [3] під “високими насипами” розуміють насипи висотою понад 9 м, а у [4] – насипи висотою 6 м і вище. Якщо врахувати пункт у ДБН В.2.3–4 [1] щодо прийняття індивідуальних проектних рішень до поперечного профілю насипів “... на ділянках сполучення земляного полотна з мостовими спорудами ...”, то, на нашу думку, “високими насипами” слід вважати насипи висотою 6 м і вище, як прийнято у [4], які охоплюють основний діапазон цих споруд на автомобільних дорогах України.

У рамках виконання науково-дослідної роботи на замовлення Державної служби автомобільних доріг України (нині агенство) в НТУ на кафедрі будівництва та експлуатації доріг у 2008 – 2009 роках було виконано моніторинг стану високих насипів на автомобільних дорогах державного значення, результати обстеження наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Результати моніторингу стану високих насипів на автомобільних дорогах державного значення

Інтервал	Кількість насипів, од.
----------	------------------------

висот, м	Категорія				З деформаціями	Без деформацій	% деформацій
	I	II	III	IV			
6–10	65	83	37	3	53	135	28,2
10–12	22	20	6	1	14	35	28,6
12–15	6	7	3	1	6	11	35,3
15–20	7	5	7		7	12	36,8
>21	6	2	15		12	11	52,2
Σ	106	117	68	5	92	204	31,1

Згідно даних моніторингу (23 області) і даних табл. 1 встановлено, що загальна протяжність високих насипів на автомобільних дорогах загального користування складає понад 150 км. Найбільша кількість насипів розташована на дорогах II категорії в діапазоні висот від 6 м до 10 м. Найбільше деформацій (близько 52,2 %) спостерігається на насипах висотою понад 21 м та у дорожньо-кліматичній зоні У-II. Середній відсоток деформацій на насипах становить 31,1 %. Основний вид деформацій (понад 70 %) це розмиви укосів насипів, а також зсуви укосів і деформації узбіч.

Деформації узбіч і розмиви укосів насипів є локальними деформаціями, які впливають на його місцеву стійкість. Більш небезпечними є зсуви укосів, які впливають на загальну стійкість укосів насипу і можуть бути причиною обмеження або перекриття руху на ділянці дороги з деформаціями. Тому ще на стадії проектування конструкції земляного полотна необхідно, по можливості, врахувати всі природні та техногенні фактори, які діють на споруду, з метою виключення їх негативного впливу.

Одним із обов'язкових розрахунків високих насипів, які потрібно виконувати – є розрахунок стійкості його укосів. Майже всі методи розрахунку стійкості укосів насипу (виїмки) оперують поняттям “коефіцієнта стійкості” або “коефіцієнта запасу стійкості” (фізична суть їх однакова – відношення сил або моментів сил, що забезпечують стійкість укосу насипу, до сил або моментів сил, що порушують його стійкість)¹, яке порівнюють із його нормативним (нормованим) значенням або просто “одиницею”, роблячи в подальшому висновок чи забезпечена їх стійкість, чи ні.

Виникає питання: **“Яка величина нормативного коефіцієнта стійкості і спосіб його визначення?”** Оскільки основні норми на проектування

¹ Оскільки в технічній літературі для одних і тих же розрахунків зустрічаються обидва терміни, на думку авторів, “коефіцієнт стійкості” доцільно застосовувати при розрахунках, а “коефіцієнт запасу стійкості” для нормованого його значення.

автомобільних доріг і вулиць ДБН В.2.3–4 [1] і ДБН В.2.3–5 [5] не регламентують цей показник. Правда, у ВБН В.2.3–218–544 [6] наведено мінімально допустимий “коефіцієнт стійкості армованого укусу” (для доріг I та II категорій приймають рівним 1,5; III – V категорій – 1,3), а також у цьому документі наведено величини загальних “коефіцієнтів запасу стійкості конструкції” від важливості споруди з врахуванням економічних і життєвонебезпечних наслідків, їх значення коливається від 1,0 до 1,4.

У ДБН В.1.1–3 [7] нормованим значенням “коефіцієнта стійкості” схилу (укусу) називають мінімальний запас утримуючих сил по відношенню до сил зрушення, а його значення в залежності від ступеня відповідальності споруди і сполучення навантажень коливається від 1,05 до 1,35. У СНиП 2.01.15 [8] – від 1,05 до 1,25.

Згідно із СНиП 2.06.05 [9] числове значення коефіцієнта стійкості повинно бути не менше ніж 1,10.

У дорожньому будівництві, за даними [10], нормативне значення коефіцієнта стійкості можна визначити за формулою:

$$K_{\text{ст.н}} = K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_m, \quad (1)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує ступінь достовірності даних про характеристики ґрунтів. При цьому приймають: $K_1 = 1,05$ при випробуванні не менше п'ятих зразків; $K_1 = 1,1$ при випробуванні не менше трьох зразків ґрунту;

K_2 – коефіцієнт, що враховує категорію дороги, приймають: $K_2 = 1,03$ для доріг I і II категорій; $K_2 = 1,00$ для доріг III – V категорій;

K_3 – коефіцієнт, що враховує ступінь шкоди для народного господарства у випадку аварії споруди, приймають: $K_3 = 1,2$, якщо руйнування становить небезпеку для руху або викликає перерву у русі більше ніж на одну добу; $K_3 = 1,1$, якщо очікуваний інтервал перерви в русі менше однієї доби; $K_3 = 1,0$, якщо порушення стійкості викликає зниження швидкостей руху або порушує роботу водовідвідних споруд;

K_4 – коефіцієнт, що враховує відповідність розрахункової схеми природним інженерно-геологічним умовам. При цьому приймають: $K_4 = 1,05$, якщо розрахунок ведеться методом спроб; $K_4 = 1,00$, якщо поверхня ковзання явно виражена і ґрунт однорідний;

K_5 – коефіцієнт, що враховує вид ґрунту і його роботу в споруді. У середньому приймають: $K_5 = 1,03$ для піщаних ґрунтів і $K_5 = 1,05$ для глинистих ґрунтів;

K_m – коефіцієнт, що враховує особливості методу розрахунку. При розрахунках стійкості укосів методом Терцаґи – Крея і Шахунянца приймають $K_m = 1,0$; при розрахунках за методом Маслова – Берера – $K_m = 0,8$.

Згідно розрахунків, виконаних за формулою (1), якщо не враховувати $K_m = 0,8$, мінімальне значення нормативного коефіцієнта стійкості складе 1,08, а максимальне – 1,50.

Формулу (1) покладено і в розрахунок нормативного коефіцієнта стійкості програми “Откос” програмного комплексу “CREDO”.

Авторами, за допомогою програми “Откос”, виконано розрахунки (понад 300 розрахунків) коефіцієнта стійкості укосів високих насипів як проектних, так уже побудованих ділянок автомобільних доріг. Деякі результати наведено на (рис. 1).

Встановлено, що ні один із насипів, при забезпеченні стійкості ($K_{ст.н} = 1,15 - 1,32$) не відповідав вимогам умови:

$$K_{ст.} \geq K_{ст.н} . \quad (2)$$

де для доріг першої категорії $K_{ст.н} = 1,50$.

Цікавим є те, що значення коефіцієнта стійкості укосу насипу, що дорівнює 1,50 не вдалось досягти навіть за допомогою влаштування бERM (рис. 2).

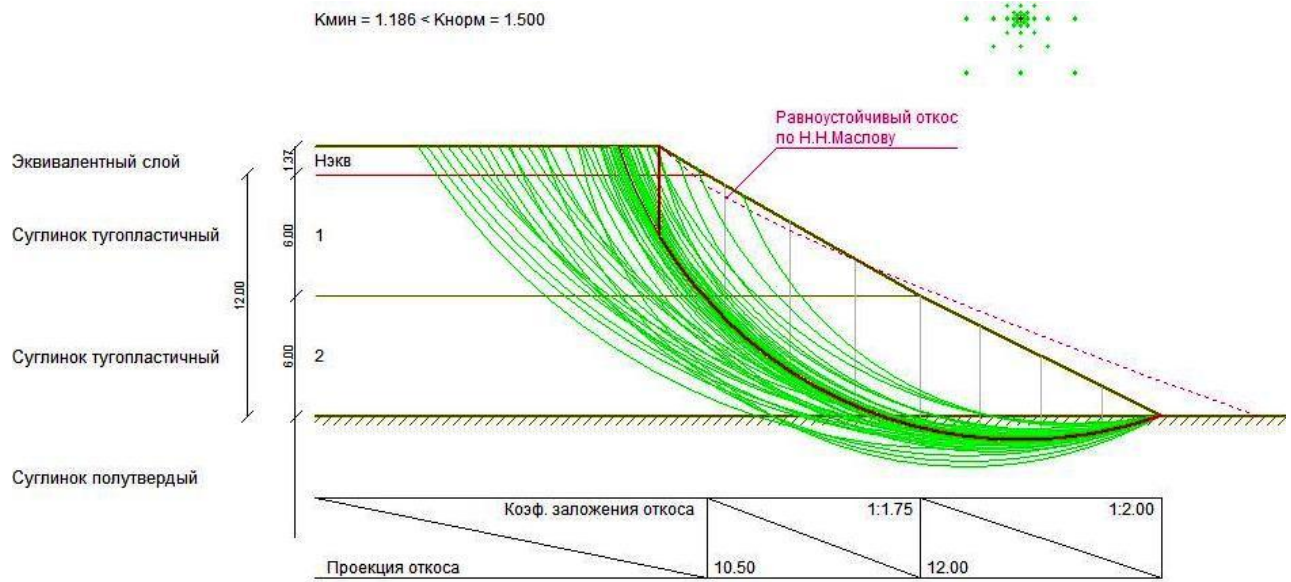
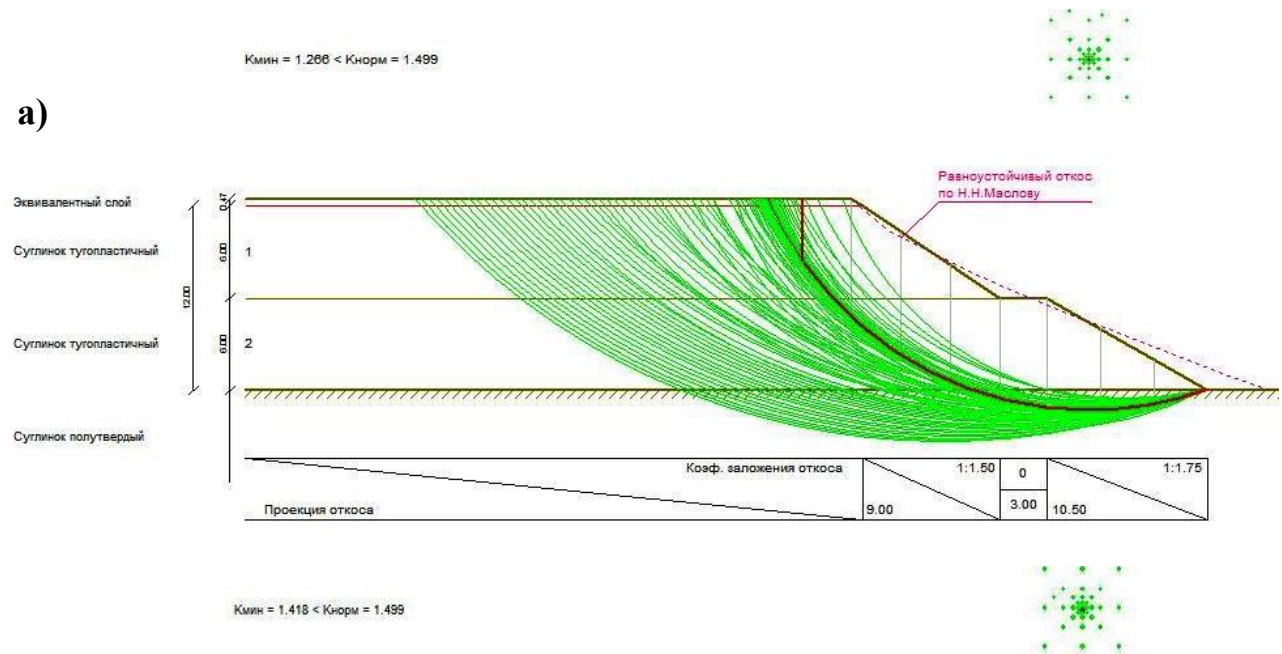


Рисунок 1 – Результаты розрахунку стійкості укосу насипу

а)



б)

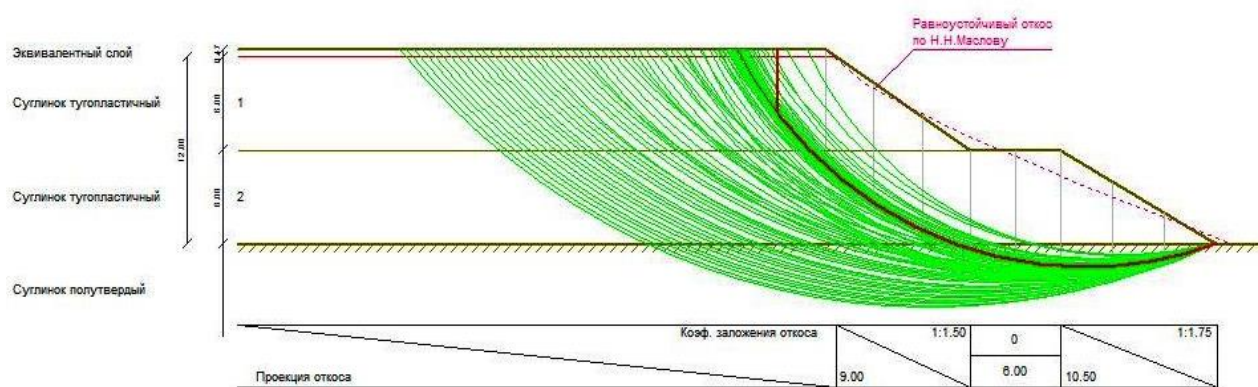


Рисунок 2 – Результаты розрахунку стійкості укосу насипу з бермою

Зовнішнє навантаження приймали НК-80 і згідно з рекомендаціями ДБН В.2.3–4 [1] у яких регламентовано: “При розрахунках стійкості насипів земляного полотна та підпірних стінок, що розташовані з підгірного боку насипу, треба враховувати максимально допустиму повну вагу автотранспортного засобу 44 т при відстані між його крайніми осями не менше ніж 10 м”.

Як відомо, автомобільна дорога – це лінійний комплекс інженерних споруд...

Одними з таких споруд є підпірні стінки, мости та шляхопроводи. Тут виникає невідповідність між вимогами [1] і, наприклад, між нормами, що регламентують розрахунок підпірних стінок та мостів. Норми на розрахунок підпірних стінок зокрема ВСН 167 [11] і СНиП 2.09.03 [12] вимагають при розрахунках використовувати навантаження АК від автотранспортних засобів, від одиничного колісного навантаження НК і гусеничного навантаження НГ.

ДБН В.1.2–15 [13] (який адаптовано до сучасних європейських норм) чітко регламентує, що однією із моделей навантаження на які потрібно розраховувати сучасні мости – є одиночне навантаженням НК, що являє собою чотиривісний колісний екіпаж.

Прийнято два типи навантаження НК:

- НК-100 з навантаженням на вісь $P = 245$ кН (25 тс) – на автомобільних дорогах I, II і III категорій, на міських автомагістралях і магістральних вулицях загальноміського значення, а також на мостах завдовжки понад 200 м на дорогах IV і V категорій;
- НК-80 з навантаженням на вісь $P = 196$ кН (20 тс) – на всіх інших автомобільних дорогах та вулицях населених пунктів.

Виникає ще одне питання: **“Чому мости та шляхопроводи проектують на навантаження повною вагою 100 т, а під’їзди до них на – 44 т ?”**

Ще одним слабким місцем у піднятому питанні, у сучасних розрахунках стійкості укосів насипу, є заміна дії зосередженого зовнішнього навантаження дією еквівалентного шару ґрунту, що є вже “дуже наближеним” підходом.

Висновок

На сучасному етапі функціонування дорожньої галузі назріла низка питань, що потребують вирішення. А саме:

1) потрібне уточнення розрахункової схеми зовнішнього навантаження при розрахунках стійкості як укосів насипів, так і цих споруд в цілому;

2) необхідно виконати кореляційні розрахунки коефіцієнта стійкості укосів насипу за різними методами з врахуванням досягнень сучасних комп'ютерних технологій, нових підходів, а також з врахуванням різних схем і моделей зовнішнього навантаження;

3) потрібно уточнити розрахунки нормативного коефіцієнта запасу стійкості укосів насипу та включити його величини в основні нормативні документи з проектування автомобільних доріг.

Література

1. ДБН В.2.3–4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. – К. : Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. ДСТУ 2735–74. Огородження дорожні і напрямні пристрої. Правила використання. Вимоги безпеки дорожнього руху.
3. Каськів В.І. Удосконалення показників робочої зони високих насипів з врахуванням інфільтрації атмосферних опадів: Дис... канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 1998. – 286 с.
4. Р В.2.3–218–02070915–757:2009. Рекомендації з підвищення стійкості високих насипів автомобільних доріг. – К. : Укравтодор, 2009. – 30 с.
5. ДБН В.2.3–5–2001. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів. – К. : Держбуд України, 2001. – 52 с.
6. ВБН В.2.3–218–544:2008. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві. – К. : Укравтодор, 2008. – 126 с.
7. ДБН В.1.1–3–97. Захист від небезпечних геологічних процесів. Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. – К. : Держбуд України, 1998. – 47 с.
8. СНиП 2.01.15–90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. – М. : Госстрой СССР. – 56 с.
9. СНиП 2.06.05–84*. Плотины из грунтовых материалов. – М. : Госстрой СССР, 1991. – 50 с.
10. Справочник сельского дорожника / Заворицкий В.И. и др. / Под ред. В.И.Заворицкого. – К. : Урожай, 1991. – 368 с.
11. ВСН 167–70. Технические указания по проектированию подпорных стен для транспортного строительства. – М. : Минтрансстрой, 1970. – 30 с.
12. СНиП 2.09.03–85. Сооружения промышленных предприятий. – М. : Госстрой СССР. – 102 с.
13. ДБН В.1.2–15:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Навантаження і впливи. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 22 с.

Пальчик А. М., Савчук С.О.

ВИКОРИСТАННЯ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИШУКУВАННІ ТА ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Одним із методів визначення основних параметрів(плану, поздовжнього та поперечного профілів) автомобільної дороги є використання GPS - технологій, що ґрунтується на визначенні координат за допомогою глобальної навігаційної супутникової системи.

Ключові слова: GPS, DGPS, вимірювання координат, паспортизація доріг.

Аннотация. Один с методов определения основных параметров (плана, продольного та поперечного профилей) автомобильной дороги есть использование GPS-технологий, которые основаны на определении координат с помощью глобальной навигационной спутниковой системы.

Ключевые слова: GPS, DGPS, измерение координат, паспортизация дорог.

Annotation. One method of determining the main parameters (plan, longitudinal and transverse profiles) of the road is the use of GPS - technology that is based on the determination of coordinates using global navigation satellite system.

Key words: GPS, DGPS, coordinate measurement, certification roads.

Наразі в світі широко використовуються навігаційні системи NAVSTAR та його російський аналог ГЛОНАСС. Вони мають аналогічний принцип дії.

GPS – це аббревіатура назви глобальної навігаційної супутникової системи визначення місця розташування Global Position System. GPS-система складається із деякої кількості спеціально розроблених низькоорбітальних супутників, які служать для визначення точних координат.

Положення об'єкту обчислюється на ньому завдяки використанню [GPS-приймача](#), який приймає та обробляє сигнали супутників космічного сегменту GPS системи глобального позиціонування. Для визначення точних параметрів орбіт супутників та керування, GPS система в своєму складі має наземні центри управління.

Принцип визначення координат полягає в одночасному вимірі відстані до декількох супутників з відомими параметрами їхніх орбіт на кожний момент часу і наступному обчисленні за зміненням відстаням своїх координат, при цьому таких супутників повинно бути не менше чотирьох.

GPS приймач обчислює власне положення, вимірюючи час проходження сигналу від GPS супутників. Кожен супутник постійно надсилає повідомлення, в якому міститься інформація про час відправки повідомлення, точку орбіти супутника, з якої було надіслано повідомлення (ефемеріс), та загальний стан системи і приблизні дані орбіт всіх інших супутників угруповання системи GPS (альманах). Ці сигнали розповсюджуються зі швидкістю світла у всесвіті, та із трохи меншою швидкістю через атмосферу. Приймач використовує час отримання повідомлення для обчислення відстані до супутника, виходячи з якої, шляхом застосування геометричних та тригонометричних рівнянь обчислюється положення приймача^[1]. Отримані координати перетворюються в більш наочну форму, таку як широта та довгота, або положення на карті, та відображається користувачеві.

Оскільки для обчислення положення необхідно знати час з високою точністю, необхідно отримувати інформацію із 4-х або більше супутників задля усунення необхідності в надточному годиннику. Іншими словами, GPS приймач використовує чотири параметри для обчислення чотирьох невідомих: x , y , z та t . В деяких окремих випадках може бути необхідною менша кількість супутників. Якщо заздалегідь відома одна змінна (наприклад, висота над рівнем моря човна в океані дорівнює 0), приймач може обчислити положення використовуючи дані з трьох супутників. Також, на практиці, приймачі використовують різну допоміжну інформацію для обчислення положення з меншою точністю в умовах відсутності чотирьох супутників.

Система навігації знайшла своє застосування в багатьох галузях, таких як геодезія, картографія, навігація та інші:

- Геодезія: за допомогою GPS визначаються точні координати точок і межі земельних ділянок. Також можна використовувати для вишукувальних робіт та паспортизації автомобільних доріг.
- Картографія: GPS використовується в цивільній і військовій картографії.
- Навігація: із застосуванням GPS здійснюється як морська так і дорожня навігація.
- Супутниковий моніторинг транспорту: за допомогою GPS на диспетчерському пункті ведеться спостереження за маршрутом руху, швидкістю та іншими параметрами транспорту.

Зважаючи на відстань між приймачем та супутниками точність обчислення положення залежить від багатьох факторів та визначається лише з деякою вірогідністю. Радіосигнали супутників можуть екрануватись або відбиватись оточенням приймача, що збільшує похибки визначення часу надходження сигналу та спотворює результат вимірювання.

В першу чергу мають значення атмосферні явища та поточне розташування супутників відносно приймача. Похибка обчислення положення буде більшою, якщо всі доступні супутники сгруповані в одній півкулі відносно приймача в порівнянні з ситуацією, коли приймач має змогу отримати сигнали супутників з різних боків. Ситуація обмеженої видимості супутників досить поширена в містах завдяки екрануванню сигналів спорудами.

Звичайна точність сучасних GPS-приймачів в горизонтальній площині становить 5-10 метрів, та 10-20 метрів за висотою, але за збігом деяких умов, обчислене приймачем положення може короткочасно відрізнитися на значно більші величини. Виробники GPS приймачів визначають величину похибки положення так: не гірше 5 метрів в 50% часу спостереження, та не гірше 8 метрів в 90% часу, похибка визначення швидкості не більше 0,06 м/с.

Диференційний режим GPS

Найбільш ефективним засобом виключення помилок є диференційний спосіб спостереження – DGPS. Його суть складається у виконанні вимірів двома приймачами: один встановлюється в точці, яка визначається, а інший в точці з відомими координатами – базова (контрольна) станція (рис.1). Так як відстань від супутників до приймачів значно більше відстані між самими приймачами, то вважають, що умови прийому сигналів обома приймачами практично однакові, тому і величини похибок також будуть близькі. В режимі DGPS вимірюють не абсолютні координати першого приймача, а його положення відносно базового (вектор бази). Використання диференційного режиму дозволяє довести точність кодових вимірювань до десятків сантиметрів, а фазових – до одиниць міліметрів.

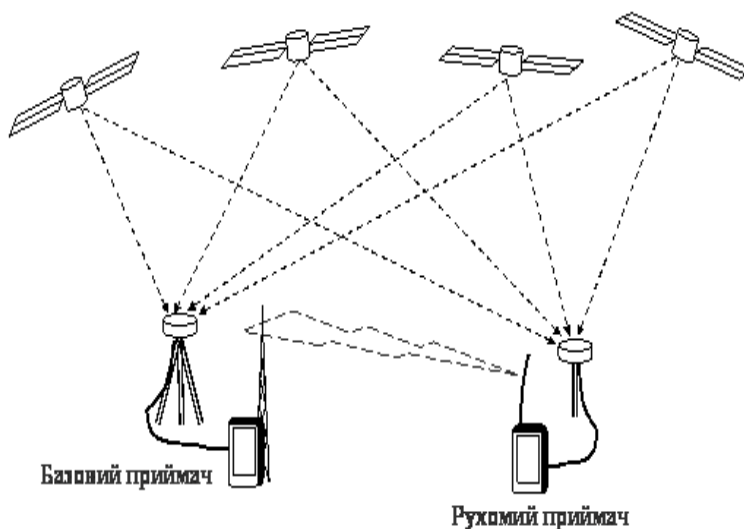


Рисунок 1 – Схема роботи DGPS

Найкращі показники мають фазові двох частотні приймачі. Вони відрізняються від фазових одно частотних більш високою точністю, більш широким діапазоном вимірюваних векторів баз і більшою швидкістю і стійкістю вимірів. Метод DGPS може бути використаний двояко. Якщо необхідно визначити координати в режимі реального часу, то необхідний радіоканал для передачі диференційних поправок, а в склад GPS- приймача має входити радіомодем.

Якщо передача поправок не виконується, то можна використовувати режим обробки після вимірювань. В цьому випадку результати вимірів обох приймачів

записуються на засобах пам'яті приймачів (наприклад, магнітні картки), а після закінчення вимірювань накопичена інформація обробляється спеціальним програмним забезпеченням і вираховується точне значення вектора бази. Для визначення координат точок місцевості в режимі оброблення після вимірювань необхідно мати дані не менше, ніж чотирьох станцій з відомими координатами. Таким чином може бути досягнута сантиметрова точність результатів. При цьому час вимірювань двох частотними приймачами має бути не менше двох годин. Взагалі, точність вимірювань залежить від часу вимірювань, типу приймача та антени, а також програмного забезпечення, яке використовується для оброблення даних. Наприклад, при використанні одно частотного фазового приймача можна отримати метрову точність результатів при часі вимірювань близько декількох хвилин. Дані про диференційні GPS – поправки, отримані після обробки сигналів всіх станцій, доступні користувачам через 4 години після закінчення вимірювань. Інформація може бути передана з центра управління через Internet або по каналам модемного зв'язку.

Технологія GPS дозволяє вирішувати геодезичні завдання самого різного рівня: від розвитку державної геодезичної мережі до інвентаризації земельних ділянок. Практика показує, що продуктивність праці зростає при цьому в десятки разів. GPS для збільшення точності визначення місця розташування пунктів доповнюється диференціальною підсистемою.

Для виконання надточних робіт, таких як геодезичні роботи, в тому числі й паспортизація автомобільних доріг, звичайно краще використовувати диференційний режим GPS, тому що він забезпечує більшу точність вимірювань. Точність вимірювань GPS становить 5-10 метрів, при тому як точність вимірів DGPS може доходити до декількох сантиметрів, а в деяких випадках може сягати навіть декількох міліметрів.

Звичайно ця система має певні обмеження: призначений для користувача приймач, за допомогою якого здійснюються роботи повинен знаходитися не далі 10-12 км. від перманентної станції (якщо це однофазний приймач) і 40-90 км, залежно від топографії місцевості (якщо приймач двофазний).

Найчастіше застосовують методику виміру псевдодальності по Р-коду, а також виміру фазовим способом по Р-коду. В цьому випадку поправки з базової станції передають по радіоканалах або за допомогою GSM/GPRS-протоколів як оброблені виміри фази або як поправки до фази тієї, що несе. При цьому точність вимірів місця розташування об'єкта складає 0,5 - 5 см.

Ідеальними методами для отримання координат лінійних об'єктів, таких як дорога, є – **Кінематичний метод із статичною ініціалізацією (Kinematic with Static Initialization)**.

На базовому пункті з відомими координатами виробляється процедура ініціалізації, потім рухливий приймач переміщається в початкову точку маршруту руху і виробляє там спостереження протягом декількох хвилин. Далі рухлива платформа з приймачем починає рух по маршруту. GPS - виміри виконуються безперервно під час руху з інтервалом 1 сек. Точність методу становить:

I. Для двочастотних приймачів:

у плані: 20 мм;
по висоті: 20 мм;

II. Для одночастотних приймачів:

у плані: 20 мм;
по висоті: 20 мм.

Результати проїзду показано на рис. 2 точки показують місця замірів координат на автомобільній дорозі.



Рисунок 2 – Розміщення точок замірів координат на автомобільній дорозі.

Кінематичний метод з ініціалізацією “на ходу” (Kinematic with On - the Fly Initialization)

Даний метод не вимагає для ініціалізації розміщення рухливого приймача на базовій станції - ця процедура виконується безпосередньо при русі транспортного засобу по маршруту. Крім того, якщо з будь-якої причини стався збій спостережень (наприклад, через проїзд під залізничним мостом), процес ініціалізації виконується знову без зупинки руху. Точність методу та ж, що й для «Кінематичного методу із статичною ініціалізацією».

Можливе також використання GPS технологій, без використання диференційного режиму, звичайно точність цих вимірювань буде меншою, але якщо при вимірюванні використовується більше ніж 4 супутники, точність вимірювань значно підвищується. Чим більше супутників вловлює приймач тим більш точними будуть вимірювання.

Таким чином для вишукувань та паспортизації автомобільних доріг краще використовувати диференційний режим GPS, яких забезпечує більшу точність вимірювань. Визначаючи положення автомобіля при проїзді дорогою при проведенні вимірювань можна визначити координати, за якими будується план дороги та її поздовжній профіль., що показано на рис.3.

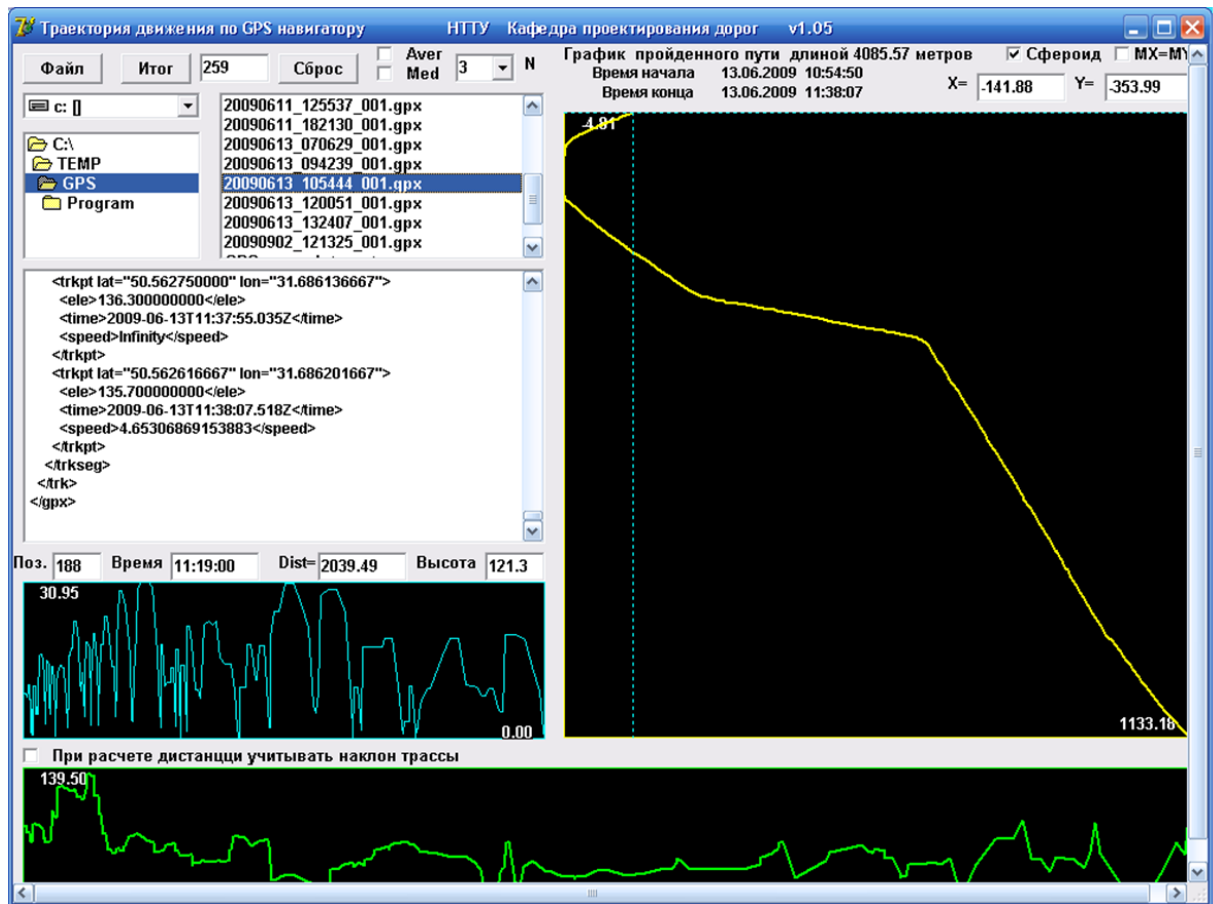


Рисунок 3 – Дані замірів GPS

На графіку приведено дані : координати X.Y.Z ; вісь автомобільної дороги, поздовжній профіль.

Знаючи координати можна визначити радіуси горизонтальних та вертикальних кривих і поздовжні похили. Отримані дані можна використовувати при прийнятті рішень щодо реконструкції автомобільної дороги. Вимірювання необхідно проводити кожної секунди, при цьому швидкість автомобіля має бути досить не значною, щоб забезпечити достовірність результатів. При великій швидкості автомобіля можна отримати неправильні результати. Якщо вертикальна крива має невеликий радіус, а швидкість автомобіля значною, тоді навіть при проведенні вимірювань кожної секунди крива може не відображатися.

При вишукувальних роботах також доцільно використовувати цей метод, за допомогою приймача при проходженні маршруту по траєкторії прокладання траси, можна досить точно визначити координати поверхні землі, тобто побудувати чорну лінію на поздовжньому профілі. Ці дані можна використовувати для подальших розрахунків.

АВТОМОБИЛЬНЫЕ СТОЯНКИ В БОЛЬШИХ ГОРОДАХ

Аннотация. В статье рассмотрен зарубежный опыт организации перехватывающих парковок в крупных городах.

Ключевые слова: перехватывающая парковка, улично-дорожная сеть, транспортный поток, скорость движения, интенсивность движения, организация движения.

Анотація. У статті розглянуто закордонний досвід організації перехоплюючих парковок в великих містах.

Ключові слова: перехоплююча парковка, вулично-дорожня мережа, транспортний потік, швидкість руху, інтенсивність руху, організація руху.

Annotation. In the article the foreign experience of intercepting parking in large cities is considered.

Keywords: intercepts parking, street-road network, transport stream, speed rate, transport stream intensity, transport stream organization.

Пробки и стихийные парковки, зачастую препятствующие дорожному движению - привычное негативное явление на наших улицах, проспектах и шоссе. При росте количества автотранспорта в крупных городах зачастую нет возможности уширять улицы и оборудовать новые транспортные развязки, что приводит к обострению транспортной проблемы. Ещё больше усугубляет ситуацию нехватка оборудованных парковок с достаточным количеством парковочных мест, в результате чего водители вынуждены парковать машины вдоль улиц, сужая фактическую ширину дороги.

Одним из решений данной проблемы может являться строительство перехватывающих парковок в очагах перегруженности транспортного потока, предлагающих всем желающим возможность аренды машиномест на сколь угодно короткий отрезок времени.

Межзональные перехватывающие парковки могут располагаться с внешней стороны границы центрального делового района. Межзональные перехватывающие парковки, расположенные вблизи центрального делового района, обслуживаются общегородскими либо специальными автобусными маршрутами, или маршрутными такси. Перехватывающие парковки, расположенные вдали от центрального делового района, могут обслуживаться скоростными автобусными маршрутами или пригородными электропоездами; обслуживаемые автобусными маршрутами автомобильные стоянки по характеру пассажиропотоков наиболее тяготеют к центральному деловому району, причем наибольший пик пассажиропотоков формируется в радиусе 15 – 20 км от центрального делового района. Основная нагрузка на автомобильные стоянки, расположенных вблизи железнодорожных вокзалов и станций, формируется в радиусе 10 – 25 км от центрального делового района. Большинство перехватывающих парковок используются 14 и более часов в сутки, причем в период наибольшей нагрузки интервал движения подвозящего общественного транспорта составляет не более 25 минут.

Основываясь на опыте зарубежных специалистов можно сформулировать основные правила организации парковок в крупных населенных пунктах.

Прежде всего, межзональные перехватывающие парковки следует располагать в транспортных коридорах с тем, чтобы обеспечить перехват пассажиров, направляющихся из дома на работу в центральный деловой район, в местах, где существуют достаточно интенсивные транспортные потоки, обслуживаемые крупными пересадочными узлами.

По мере возможности парковочные сооружения следует располагать на территориях, уже используемых для размещения автомобильных стоянок, либо на территориях, не предназначенных для жилищного строительства.

Подобные сооружения должны располагаться на территориях, сходных по функциональному зонированию с прилегающими территориями.

Необходимо найти оптимальный баланс между размерами парковочного сооружения и удобством подъезда к нему и внутренней организации движения.

Рассматривая характеристики центральных деловых районов (ЦДР) в целом, можно обнаружить следующие наиболее общие факторы.

Потребность в уличных парковках (у бордюра тротуара) связана с численностью населения города, и, как правило, составляет менее 10% для городов с населением, превышающем 250 000 человек.

Потребность в длительных парковках, расположенных у места работы увеличивается с ростом численности населения от 20 процентов для городов с численностью населения менее 100 000 до более 30 процентов для мегаполисов с населением, превышающим 1 миллион человек.

Расстояние пешеходной доступности автомобильных стоянок увеличивается пропорционально размерам городской территории.

Длительность стоянки автомобилей зависит от цели поездки и численности населения. Для поездок к месту работы и к месту жительства характерны наибольшие показатели длительности парковки, причем независимо от цели поездки продолжительность парковки увеличивается соразмерно городской территории.

Показатель оборота транспортных средств при парковке вдоль бордюра тротуара, как правило, оказывается в три – четыре раза выше того же показателя для внутриквартальных автомобильных стоянок. Для всех парковочных сооружений показатель оборота транспортных средств зависит от типов паркуемых автомобилей, нормативной базы и уровня контроля за соблюдением действующего законодательства. Помимо этого, для крупных городов обычно характерен более низкий показатель оборота транспортных средств, чем для более мелких населенных пунктов.

Для центральных деловых районов, как правило, период максимальной нагрузки на автомобильные стоянки приходится на период с 11 до 14 часов. Вместе с тем, схема заполнения парковочных сооружений во многом определяется характером поездки. Показатель максимального заполнения парковочных сооружений редко превышает 85 процентов от общей вместимости, даже притом, что в отдельных частях района может наблюдаться острый недостаток машиномест (определяющим фактором здесь является *местоположение*). Потребность в парковочных сооружениях в пиковые часы увеличивается с ростом численности населения города.

Огромное значение в обеспечении оптимального использования автомобильных стоянок общего назначения играет правильный выбор места для их расположения. Независимо от того, является ли автомобильная стоянка или гараж коммерческими или общедоступными сооружениями, цель их сооружения заключается в повышении экономического значения данной территории и (или) увеличении пропускной способности дорожно-уличной сети. К числу факторов, определяющих правильность выбора места для

автомобильных стоянок, относится показатель потребности в парковочных сооружениях с учетом их типов, место расположения основных источников транспортных потоков, тип пользователей (независимо от продолжительности парковки), затраты на проектирование и сооружение, а также конфигурация дорожно-уличной сети (пропускная способность, направления движения и ограничение поворотов). Сеть автомобильных стоянок в районе следует рассматривать в контексте соотношения между показателями потребности и обеспеченности и особенностей транспортной системы

В центральных деловых районах проектируется большая часть парковочных сооружений. В то же время, потребность в сооружении автомобильных стоянок существует как в отдаленных деловых районах, так и в жилых кварталах более старой застройки, испытывающих острый недостаток машиномест, а также вблизи крупных учебных заведений.

Пик нагрузки в жилых районах приходится на ранние утренние часы. Пик нагрузки на автомобильные стоянки, расположенные вблизи некоторых ресторанов, приходится на обеденное время, в то время как на другие - в утренние часы. Автомобильные стоянки, расположенные у административных зданий, оказываются наиболее загруженными в более поздние утренние часы, а расположенные вблизи торговых центров - в полуденное время по субботам.

Таким образом, организация парковок на улично-дорожной сети является неэффективным способом использования городской территории, поэтому необходимо строить внеуличные паркинги, перехватывающие стоянки и развивать массовый пассажирский транспорт (как скоростной внеуличный, так и маршрутный наземный) в качестве альтернативы транспорту автомобильному.

Литература

1. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.
- Попов В.Н. Уличные парковки и безопасность дорожного движения. –М. : Архитектура и строительство Москвы, 2005. – С. 26 – 28.

Тарабан С.М.

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ М. КИЄВА

Анотація. Проведено аналіз сучасного стану вулично-дорожньої мережі м. Києва. Приведені показники щільності населення та дорожньо-транспортної мережі міста поряд з відповідними показниками інших міст розвинутих країн Європи. Враховуючи напрямки територіального розвитку Києва визначені основні заходи з розвитку вулично-дорожньої мережі міста.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа, автомобілізація, дорожня інфраструктура, структурні ознаки, щільність вулично-дорожньої мережі.

Аннотация. Проведен анализ современного состояния улично-дорожной сети г. Киева. Приведенные показатели населения и дорожно-транспортной сети города рядом с соответствующими показателями других городов Европы. Учитывая направления территориального развития Киева, определены основные мероприятия по развитию улично-дорожной сети города.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, автомобилизация, дорожная инфраструктура, структурные признаки, плотность улично-дорожной сети.

Annotation: The analysis of current condition of Kyiv's street and road network was conducted. The indicators of population density and a transport network of the city were presented in comparison with the corresponding indicators of other developed European cities. The main measures of development of street and road network of the city were determined considering the directions of local Kyiv development.

Key words: Street and Road Network, Motorization, Road Infrastructure, Structural Features, Density of Street and Road Network.

Вступ

Вулично-дорожня мережа (ВДМ) міста – це система транспортних і пішохідних зв'язків [1], яка включає мережу житлових вулиць, проїздів та під'їздів до будинків, а також систему магістральних вулиць та доріг, які з'єднують елементи житлових районів між собою. Вулиці та дороги об'єднують місто в цілісний функціонально-планувальний комплекс. Елементи ВДМ диференціюються за основним призначенням (вулиць та доріг) [2], що встановлюють з огляду на розмір і планувальну структуру міста, його зв'язок із приміськими зонами, основні види транспорту, інтенсивність й швидкість руху транспортних засобів, характер вуличної забудови тощо.

Місто Київ – найбільший адміністративний, економічний, науковий та культурно-освітній центр України, що має розвинену транспортну інфраструктуру і являється найбільшим транспортним вузлом країни. Роботу транспортної системи міста, як територіального поєднання взаємопов'язаних видів транспорту, що задовольняють потреби народного господарства та населення в перевезеннях вантажів та пасажирів, забезпечує дорожньо-транспортна мережа, яка нині розвивається доволі повільними темпами, на фоні стрімкої автомобілізації суспільства. Наслідком такого стану є значне погіршення умов руху, зростання аварійності та погіршення екологічної ситуації в місті. Крім того, в умовах активізації процесів інтеграції транспортно-дорожнього комплексу України, як держави з найбільш високим індексом транзитності до європейської транспортної системи [3], транспортна інфраструктура м. Києва потребує швидкого розвитку. Тому, наразі важливо провести глибокий аналіз сучасного стану транспортної інфраструктури міста, з урахуванням інтенсивної автомобілізації, та визначити тенденції розвитку ВДМ опираючись на досвід мегаполісів розвинутих країн світу.

Основна частина

Динаміка світового автопарку свідчить, що рівень автомобілізації в країнах із розвинутою економікою постійно зростає. Найбільш високі показники рівня автомобілізації суспільства характерні для США – 750 автомобілів на 1000 жителів, розвинутих країн Європи (Франція – 550, Англія – 500, Німеччина – 490) та Азії (Японія – 380 автомобілів на 1000 жителів).

Активна автомобілізація міст Західної Європи, яка розпочалася ще в 50-х роках минулого століття, вказує на закономірність [4]: на першому етапі відбувається стрімке зростання кількості транспортних засобів до рівня 300

автомобілів на 1000 жителів; на другому етапі – уповільнення темпів росту (перехід кількості в якість) і стабілізація автопарку міста на рівні 550 ± 50 автомобілів на 1000 жителів. За схожим сценарієм, в теперішній час, відбувається автомобілізація в містах Східної Європи та Балтії (Варшава – 515 автомобілів на 1000 жителів, Прага – 488, Вільнюс – 324).

Рівень автомобілізації в Україні, на сьогодні, становить 187 автомобілів на 1000 жителів країни, проте це усереднений показник. Якщо розглянути ситуацію в регіонах, яка є більш показовою, то за даними інформаційно-аналітичної групи AUTO-Consulting, основна кількість автомобілів зосереджена в дев'яти областях України. При цьому, лідирує місто Київ і область столиці з показниками 343 і 255 відповідно. Далі в рейтингу розташувалися Запорізька область – 246 автомобілів на 1000 жителів та Волинська – 227. Крім того, рівень автомобілізації вище середнього показника по Україні мають Кіровоградська, Рівненська, Дніпропетровська, Одеська та Харківська області.

Вулична мережа м. Києва, в своєму нинішньому вигляді неспроможна забезпечувати нормальне транспортне обслуговування міста. Конфігурацію ВДМ формують магістральні вулиці загальноміського та районного значення, основне призначення яких – транспортний зв'язок між житловими, промисловими районами, а також громадськими центрами столиці; вулиці та дороги місцевого значення – транспортний і пішохідний зв'язок на території житлових районів, мікрорайонів.

Наразі загальна протяжність всіх вулиць та доріг в межах міста (проспектів, вулиць, бульварів тощо) складає понад 1,6 тис. км. Більшість з них прокладені ще за часів СРСР, і на той час цілком задовольняли вимоги нормативних документів. Однак нині, більшість вулиць та доріг, в умовах інтенсивного зростання автопарку міста, не відповідають нормам пропускної спроможності, в результаті чого, затори в Києві (особливо в години пік) стали повсякденним явищем.

Основні геометричні параметри, які являються структурними ознаками вулиць та доріг – ширина проїзної частини (d , м) і протяжність (L , км). Ширину проїзної частини, як структурну ознаку доцільно розглядати лише у випадку, коли досліджується окрема ділянка вулиці, оскільки кількісне значення цієї ознаки вздовж вулиці характеризується високою неоднорідністю. Якщо ж розглядати вулицю в цілому, то слід оперувати більш об'єктивною структурною ознакою – площею проїзної частини (S , км²).

Ранжирування елементів ВДМ Києва за структурними ознаками L і S, з поділом на відповідні категорії вулиць та доріг (рис.3), згідно класифікації [2] дає неоднозначні результати. Зокрема, вулиці та дороги, які відносяться до категорії магістральні вулиці загальноміського значення відзначаються низькими показниками загальної протяжності (19%). Категорія магістральні вулиці районного значення характеризується рівномірним, в певній мірі, розподілом структурних ознак – площі проїзної частини (28%) та загальної протяжності (22%), а категорія вулиці та дороги місцевого значення – найбільшою протяжністю, яка складає близько 900 тис. км і становить 59 % протяжності всіх вулиць та доріг Києва.



Рисунок 1 – Розподіл вулиць та доріг м. Києва за структурними ознаками (а – площа проїзної частини; б – протяжність)

Проведено міжрайонний аналіз вулиць та доріг міста за структурними ознаками (див. Табл.1). Відповідно до отриманих результатів – Голосіївський, Дарницький і Солом'янський райони відзначаються високим ступенем розвитку мережі вулиць та доріг місцевого значення. Для Оболонського, Печерського і Святошинського районів проглядається рівномірний, в певній мірі, розподіл структурних ознак вулиць та доріг кожної із категорії. Низькими показники розвитку мережі магістральних вулиць загальноміського значення, порівняно з іншими районами, відзначається Деснянський район. При цьому, структура магістральних вулиць районного значення в межах району розвинута найкраще.

Таким чином, розподіл вулиць та доріг Києва за структурними ознаками, з поділом на категорії, вказує на те, що дорожня інфраструктура міста не розвинена, зокрема це стосується системи магістральних вулиць загальноміського та районного значення. Проїзна частина більшості магістралей потребує реконструкції, оскільки не відповідає перспективним поперечним профілям. Значення показників середньої швидкості руху на основних вулицях та дорогах Києва (близько 24 км/год.) значно нижчі, ніж у містах країн Західної Європи (близько 35 км/год.). Основна причина таких низьких показників швидкості руху – порушення балансу між функціональною завантаженістю території (щільністю, поверховістю, призначенням тощо) та існуючими можливостями транспортної системи міста (пропускна здатність ВДМ).

Таблиця 1 – Міжрайонний розподіл вулиць та доріг м. Києва за структурними ознаками

№ п/н	Район	Категорія вулиць та доріг					
		Магістральні вулиці загальноміського значення		Магістральні вулиці районного значення		Вулиці та дороги місцевого значення	
		S, %	L, %	S, %	L, %	S, %	L, %
1.	Голосіївський	12,9	10,5	6,2	5,3	14,7	16,0
2.	Дарницький	8,2	9,0	9,2	8,6	14,5	15,9
3.	Деснянський	4,5	4,3	21,9	18,1	5,2	4,8
4.	Дніпровський	10,8	9,2	6,7	6,0	11,6	8,9
5.	Оболонський	9,1	10,3	10,8	7,8	9,9	7,9
6.	Печерський	7,1	6,7	6,3	6,8	6,6	6,3
7.	Подільський	8,4	9,1	10,3	14,1	5,2	6,6
8.	Святошинський	13,0	10,8	12,0	10,7	12,1	11,4
9.	Солом'янський	14,1	15,1	7,6	9,8	13,7	15,4
10.	Шевченківський	11,9	15,0	9,0	12,8	6,5	6,8

Підвищення стійкості та ефективності функціонування транспортної системи міста передбачає розвиток планувальної структури міста і залежить, в значній мірі, від рівня розвитку ВДМ. Рівень розвитку вуличної мережі визначають соціальні (щільність населення, кількість робочих міст та їх розміщення на території міста тощо) та технічні показники (протяжність вулиць та доріг, щільність ВДМ тощо). При цьому, щільність населення (відношення всіх жителів міста до площі території, чол./км^2) дозволяє встановити рівень концентрації пішохідних та пасажиропотоків на лініях міського транспорту. Крім того, висока щільність населення може розглядатися як фактор, що

попереджує збільшення завантаженості селітебної території міста легковими автомобілями.

З цієї причини в містах, де характерні високі показники щільності забудови, можуть утворюватися більш потужні потоки автомобілів, ніж у містах з низькою щільністю населення, але більш високими показниками рівня насичення легковими автомобілями. Крім того, слід відмітити просторову неоднорідність цих показників, так як, для центральних районів міста характерні більш високі значення щільності населення.

Основним показником рівня розвитку дорожньої інфраструктури є щільність ВДМ, яка визначається відношенням протяжності всіх вулиць та доріг до площі території, на якій вони знаходяться ($\text{км}/\text{км}^2$).

Більшість заходів щодо розвитку ВДМ спрямована саме на збільшення щільності та підвищення пропускної спроможності мережі.

Для порівняльної оцінки, наведені показники щільності населення та ВДМ міста Києва поряд з відповідними показниками інших міст розвинутих країн Європи (рис.2).

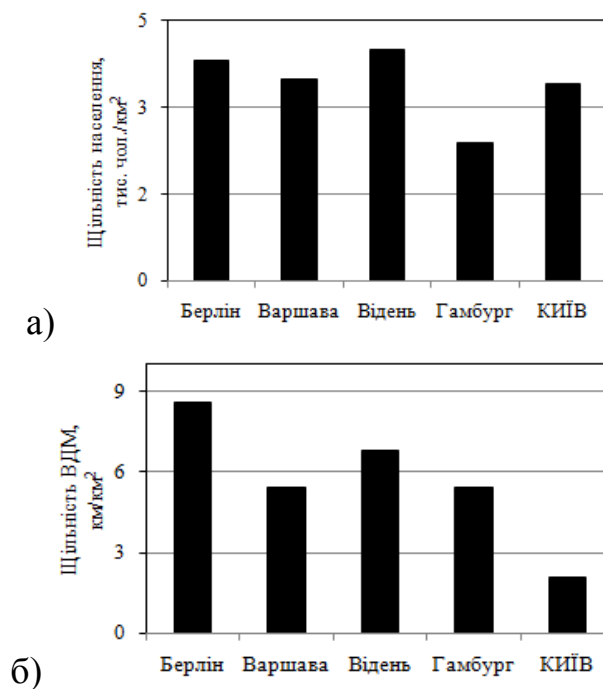


Рисунок 2 – Рівень насиченості території міста (а – населення; б – ВДМ)

Показник щільності населення, в деякій мірі, рівний значенням щільності інших міст, однак за рівнем насиченості території дорожньо-транспортною мережею, Київ істотно поступається європейським містам. Зокрема, значення щільності ВДМ Києва знаходиться на рівні $2,1 \text{ км}/\text{км}^2$, що є майже в 3-4 рази

менше значення в наведених містах (Берлін – 8,6 км/км², Варшава – 5,4 км/км², Відень – 6,8 км/км², Гамбург – 5,4 км/км²).

Проведено міжрайонний аналіз щільності населення та ВДМ території міста (рис.3). Найбільш насиченими районами міста дорожньо-транспортною мережею являються Шевченківський, Солом'янський, Печерський та Подільський райони. Значення показників щільності для цих районів коливаються в межах 4-6 км/км² території. Інші райони (Голосіївський, Дарницький, Деснянський, Дніпровський, Оболонський, Святошинський) характеризуються низькими показниками щільності, значення яких перебувають на рівні 0,8 – 1,8 км/км².

Міжрайонний розподіл насиченості території міста ВДМ, з поділом вулиць та доріг на категорії (див.табл.2) дозволяє, в певній мірі, змодельовати картину розвитку дорожньої інфраструктури міста.

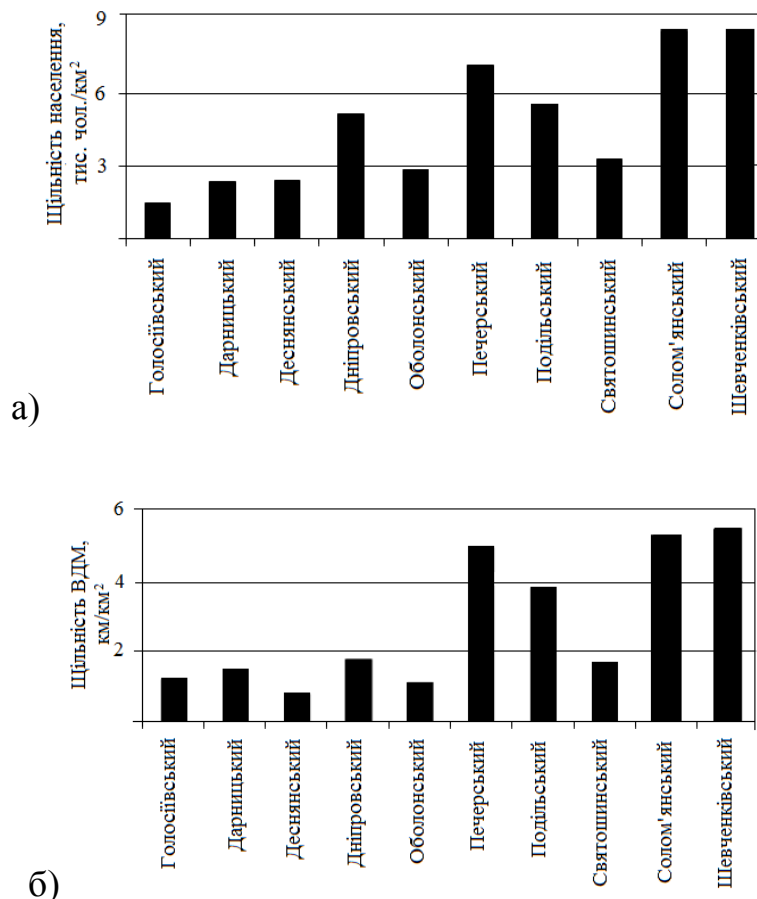


Рисунок 3 – Міжрайонний розподіл рівня насиченості території м. Києва (а – населення; б – ВДМ)

Високі показники щільності мережі магістральних вулиць загальноміського та районного значення характерні лише для чотирьох районів (Шевченківський, Солом'янський, Печерський та Подільський). Далі в

рейтингу розташувалися Дніпровський, Оболонський та Святошинський райони. Показник щільності магістральної мережі для цих районів знаходиться нижче відмітки 1 км/км². Голосіївський, Дарницький, Деснянський райони відзначаються найгіршими значеннями показника щільності магістральної мережі. Крім того, слід відмітити, що практично всі райони міста, відзначаються високими показниками щільності категорії вулиці та дороги місцевого значення. Лише Голосіївський та Оболонський райони мають показник щільності вулиць та доріг менше 1 км/км² для даної категорії.

Таблиця 2 – Міжрайонний розподіл насиченості території міста ВДМ, км/км²

№ п/н	Район	Категорія вулиць та доріг		
		Магістральні вулиці загальноміського значення	Магістральні вулиці районного значення	Вулиці та дороги місцевого значення
1.	Голосіївський	0,20	0,11	0,91
2.	Дарницький	0,20	0,21	1,06
3.	Деснянський	0,09	0,40	0,29
4.	Дніпровський	0,41	0,29	1,19
5.	Оболонський	0,28	0,23	0,64
6.	Печерський	1,01	1,14	2,85
7.	Подільський	0,80	1,34	1,71
8.	Святошинський	0,32	0,35	1,00
9.	Солом'янський	1,12	0,80	3,41
10.	Шевченківський	1,69	1,58	2,27

В результаті низької щільності магістральної мережі, міський транспорт зосереджується на обмеженій кількості вулиць. Це призводить до нерівномірного завантаження ВДМ, що негативно позначається на процесі її функціонування.

Відповідно до Генерального плану Києва, основні заходи з розвитку вуличної мережі передбачають комплексний розвиток магістральної мережі та вузла зовнішніх автошляхів міста з урахуванням напрямків територіального розвитку Києва і міжнародних транспортних коридорів, які проходять через Україну. Ці заходи спрямовані на формування системи магістралей безперервного руху і удосконалення сформованої системи магістралей. На правому березі – подальший розвиток радіально-кільцевої структури шляхом будівництва і реконструкції нових і старих радіальних напрямків, удосконалення напівкільцевих магістралей і початок створення зовнішнього автодорожнього обходу міської кільцевої автодороги. На лівому – створення нових широтних і меридіональних напрямів, реконструкція існуючих.

Однак, слід відмітити центральні райони міста (Печерський, Шевченківський), для яких характерні високі показники щільності житлової забудови. Перевести вулиці та дороги до вищої категорії для цих районів, шляхом їх реконструкції надзвичайно складно, а в деяких випадках – неможливо, оскільки значна або більша частина забудови являється історичною пам'яткою культури. При таких умовах особлива увага повинна відводиться сучасним засобам та методам оптимізації дорожнього руху, які передбачають застосування комплексу управлінських, планувальних, організаційних та інженерно-технічних заходів.

Висновок

Аналіз сучасного стану ВДМ Києва вказує на низку об'єктивних причин, що призвели до ряду проблем, які головним чином пов'язані з хаотичним розвитком міста. За показниками щільності магістральної мережі, окремі райони Києва значно поступаються більшості європейським містам, а розвиток ВДМ в цілому, не відповідає сучасним темпам автомобілізації суспільства. Центральні райони міста – це потужні зони тяжіння транспортних засобів, для яких особливе значення відіграє комплекс архітектурно-будівельних, історичних та інших соціально значимих факторів, тому будь-які рішення, які направлені на підвищення ефективності функціонування ВДМ цих районів, повинні ґрунтуватися на пошуку оптимальних варіантів розвитку елементів транспортної інфраструктури, приділяючи особливу увагу сучасним методам організації дорожнього руху.

Література

1. Ранжування структурних елементів вулично-дорожньої мережі за допомогою індексного методу / В.Д. Данчук, Р.В. Олійник, Є.С. Самойленко, С.М. Тарабан // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2012. – Вип. 86. – С. 146–153.
2. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92**. – [Чинний від 2002-04-19]. – К.: ДП «Укрархбудінформ», 2002. – 92 с.
3. Стародуб І. В. Сучасна автомобілізація та транспортна інфраструктура великих міст України / І. В. Стародуб // Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. – 2008. – Вип. 31. – С. 357–365.
4. Стародуб І. В. Тенденції зміни та прогноз умов функціонування вулично-дорожньої мережі / І. В. Стародуб // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 23. – С. 252–261.

УДК 625.8

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Воловик О.О., Костін Д.Ю., Ничипорчук І.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВКИ «SUPERPLAST» НА ВЛАСТИВОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

Анотація. Виконано порівняльні дослідження фізико-механічних властивостей дрібнозернистих щільних гарячих асфальтобетонів непереривчастої та переривчастої гранулометрії з полімерною добавкою «Superplast». Досліджено вплив модифікації асфальтобетонних сумішей добавкою «Superplast» на їх розрахункові характеристики.

Ключові слова: асфальтобетонна суміш, асфальтобетон, фізико-механічні властивості, полімерна добавка.

Аннотация. Выполнены сравнительные исследования физико-механических свойств мелкозернистых плотных горячих асфальтобетонов непрерывной и прерывной гранулометрии с полимерной добавкой «Superplast». Исследовано влияние модификации асфальтобетонных смесей добавкой «Superplast» на их расчетные характеристики.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, физико-механические свойства, полимерная добавка.

Annotation. Comparative research of physical and mechanical properties of dense fine-graded hot mix asphalt concretes with continuous and gap gradation with polymer additive “Superplast” has been performed. The influence of modification of asphalt mixtures with “Superplast” additive on their design characteristics has been studied.

Keywords: asphalt mixture, asphalt concrete, physical and mechanical properties, polymer additive.

Серед існуючих способів підвищення довговічності асфальтобетонів найбільшого поширення набув спосіб модифікації нафтових дорожніх бітумів (поверхнево-активними речовинами, полімерами, латексами, синтетичними восками та іншими добавками), призначених для приготування асфальтобетонних сумішей. У більшості випадків модифікація бітумів добавками різного походження здійснюється за допомогою спеціальних мішалок. Проте така технологія модифікації бітумів вимагає додаткових енерговитрат. Одночасно відома технологія приготування асфальтобетонних сумішей, яка передбачає введення модифікуючих добавок безпосередньо у асфальтозмішувач. В якості добавок, які вводяться безпосередньо у асфальтозмішувач, в країнах Європейського союзу широке застосування знайшли природні бітуми та асфальти. До окремого класу полімерних добавок, які можливо вводити безпосередньо у асфальтозмішувач при приготуванні асфальтобетонних сумішей, відносяться термопласти. Однією з таких полімерних добавок є «Superplast», який представляє собою аморфний поліолефін з температурою плавлення 150 °C. Вказаний полімер виготовляється фірмою «Iterchimica srl» та найбільше використовується в Італії для підвищення довговічності асфальтобетонних шарів дорожніх одягів.

Метою даної роботи є дослідження впливу добавки «Superplast» на фізико-механічні властивості та розрахункові характеристики дрібнозернистих асфальтобетонів.

Для експериментальних досліджень в якості в'язучих використовували бітуми нафтові дорожні в'язки марок БНД 60/90 виробництва Лісичанського НПЗ і БНД 90/130 виробництва Мозирського НПЗ, основні властивості яких наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Властивості бітумів нафтових дорожніх в'язких, прийнятих для приготування асфальтобетонних сумішей

Назва показників властивостей	Марка бітуму	
	БНД 60/90	БНД 90/130
Глибина проникнення голки, мм ⁻¹ , при температурі 25 °C	78	94
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °C	49	47
Дуктильність при температурі 25 °C, см	66	>100

Для приготування асфальтобетонних сумішей використовували гранітний щебінь, гранітний відсів та вапняковий мінеральний порошок. Гранулометричні склади мінеральної частини асфальтобетонних сумішей, прийнятих для

дослідження, наведені на рис. 1 – 3. Полімерну добавку «Superplast» додавали безпосередньо в суміш перед введенням бітуму у кількості 4 % від маси бітуму.

Дослідження фізико-механічних властивостей та розрахункових характеристик асфальтобетонів виконували за методами згідно [1, 2].

Результати порівняльних досліджень фізико-механічних та розрахункових характеристик асфальтобетонів без добавки та з добавкою «Superplast» наведені в таблицях 2 – 4.

Наведені в таблиці 2 результати досліджень свідчать про те, що введення до складу дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу А непереривчастого гранулометричного складу 4 % добавки «Superplast» викликає зростання як показників границі міцності при стиску за температури 0, 20 та 50 °С, так і границі міцності при згині та модуля пружності. При зниженні температури у досліджуваному діапазоні від 30 °С до 0 °С спостерігається зростання границі міцності при згині та модуля пружності досліджуваних асфальтобетонів. Асфальтобетону з добавкою «Superplast» на основі бітуму БНД 60/90 в досліджуваному діапазоні температур властиві в 1,2 – 1,4 рази більші значення границі міцності при згині та в 1,14 – 1,24 рази більші значення модулів пружності. Дрібнозернистий асфальтобетон з 4 % добавки «Superplast» на основі бітуму БНД 90/130 в досліджуваному діапазоні температур має в 1,21 – 1,26 рази більші значення границі міцності при згині та в 1,16 – 1,27 рази більші значення модулів пружності.

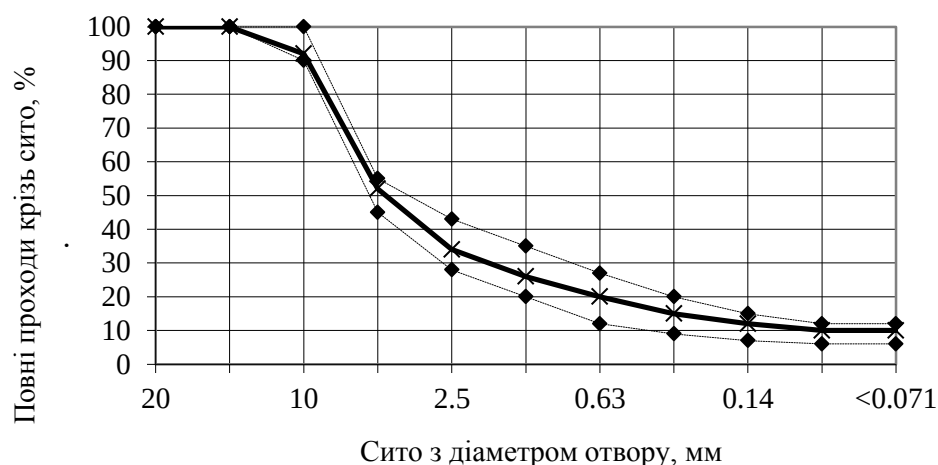


Рисунок 1 – Склад мінеральної частини щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу А не переривчастої гранулометрії з максимальним розміром зерен щебеню 10 мм

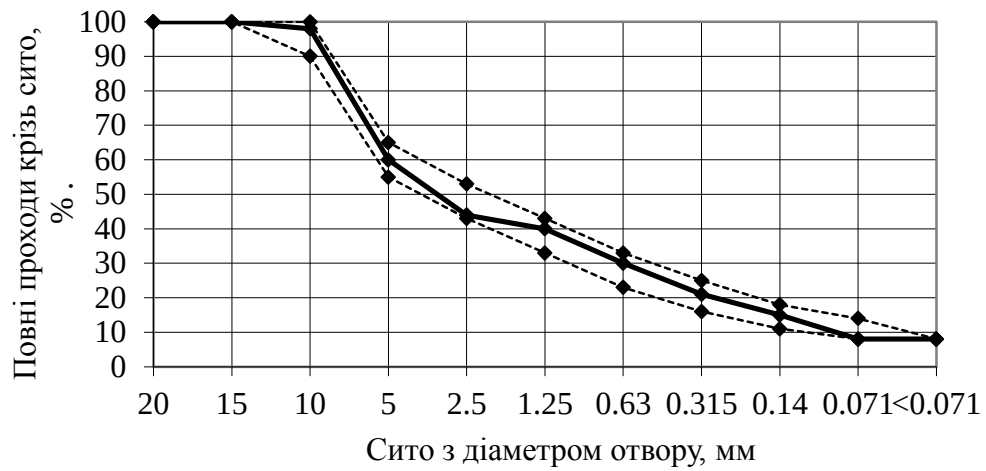


Рисунок 2 – Склад мінеральної частини щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу Б непереривчастої гранулометрії з максимальним розміром зерен щебеню 10 мм

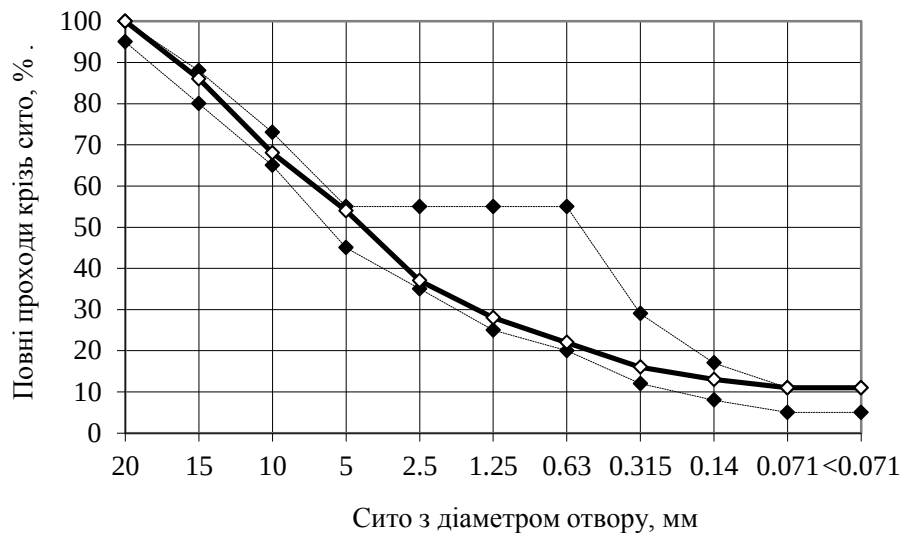


Рисунок 3 – Склад мінеральної частини щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу А переривчастої гранулометрії з максимальним розміром зерен щебеню 15 мм

Дані таблиць 3 та 4 показують, що при застосуванні добавки «Superplast» аналогічні закономірності властиві як дрібнозернистому асфальтобетону типу Б непереривчастої гранулометрії, так і дрібнозернистому асфальтобетону типу А переривчастої гранулометрії. При цьому, серед досліджуваних асфальтобетонів найбільші за абсолютною величиною значення границі міцності при згині та модуля пружності властиві дрібнозернистому асфальтобетону типу Б непереривчастої гранулометрії, дещо менші дрібнозернистому асфальтобетону типу А непереривчастої гранулометрії та найменші асфальтобетону типу А переривчастої гранулометрії.

Таблиця 2 – Властивості дрібнозернистого асфальтобетону типу А непереривчастої гранулометрії

Назва показника	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 60/90 (з добавкою)	БНД 90/130 (з добавкою)
Пористість мінеральної частини (кістяка), % за об'ємом	18,2	18,5	18,2	18,4
Залишкова пористість, % за об'ємом	4,2	4,1	4,3	4,3
Водонасичення, % за об'ємом	2,5	2,6	2,5	2,6
Границя міцності при стиску, МПа, за температури, °С:				
0	7,7	7,4	9,1	8,0
20	3,2	2,7	4,6	4,2
50	1,2	1,1	1,5	1,3
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,89	0,84	0,90	0,86
Вміст в'язучого, %	5,5	5,4	5,7	5,5
Міцність на розтяг при згині, МПа, за температури, °С:				
0	9,3	9,0	11,5	10,9
10	6,3	6,0	8,0	7,4
20	3,8	3,6	5,0	4,5
30	2,0	1,9	2,8	2,4
Модуль пружності, МПа, за температури, °С:				
0	4400	3400	5000	3940
10	3050	2200	3500	2650
20	1700	1100	2100	1400
30	850	630	1000	780

Таблиця 3 – Властивості дрібнозернистого асфальтобетону типу Б непереривчастої гранулометрії

Назва показника	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 60/90 (з добавкою)	БНД 90/130 (з добавкою)
Пористість мінеральної частини (кістяка), % за об'ємом	17,4	17,5	17,4	17,6
Залишкова пористість, % за об'ємом	3,5	3,7	3,7	3,5
Водонасичення, % за об'ємом	2,0	2,2	2,0	2,2
Границя міцності при стиску, МПа, за температури, °С:				
0	7,9	7,6	10,0	8,4
20	4,1	4,0	5,0	4,8
50	1,4	1,2	1,7	1,4
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,90	0,86	0,92	0,87
Вміст в'язучого, %	6,5	6,2	6,8	6,4
Міцність на розтяг при згині, МПа, за температури, °С:				
0	9,8	9,5	11,9	11,2
10	6,8	6,5	8,3	7,7
20	4,2	4,0	5,2	4,7
30	2,4	2,2	3,0	2,6
Модуль пружності, МПа, за температури, °С:				
0	4500	3600	5600	4500
10	3200	2400	3900	3000
20	1800	1200	2200	1500
30	900	660	1100	830

Результати виконаних досліджень показують, що серед досліджених асфальтобетонів на основі бітумів різних марок найбільші показники міцності властиві дрібнозернистому асфальтобетону типу Б. Введення до складу асфальтобетонних сумішей полімерної добавки «Superplast» забезпечує зростання як показників границі міцності при стиску, так і розрахункових характеристик всіх досліджуваних асфальтобетонів.

Таблиця 4 – Властивості дрібнозернистого асфальтобетону типу А переривчастої гранулометрії

Назва показника	БНД 60/90	БНД 90/130	БНД 60/90 (з добавкою)	БНД 90/130 (з добавкою)
Пористість мінеральної частини (кістяка), % за об'ємом	18,3	18,6	18,2	18,5
Залишкова пористість, % за об'ємом	3,8	3,4	4,4	4,4
Водонасичення, % за об'ємом	2,2	2,5	2,4	2,6
Границя міцності при стиску, МПа, за температури, °С:				
0	7,8	7,4	8,9	7,7
20	3,3	3,0	4,6	4,3
50	1,2	1,1	1,4	1,3
Водостійкість при тривалому водонасиченні	0,91	0,86	0,92	0,89
Вміст в'язучого, %	5,8	5,6	5,9	5,6
Міцність на розтяг при згині, МПа, за температури, °С:				
0	9,2	8,8	11,3	10,8
10	6,0	5,9	7,9	7,2
20	3,7	3,5	4,8	4,4
30	1,9	1,9	2,6	2,2
Модуль пружності, МПа, за температури, °С:				
0	4200	3200	4800	3800
10	2920	2100	3400	2500
20	1600	1100	2000	1350
30	820	600	960	750

Література

1. ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801 – 98). Будівельні матеріали. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань. – К. : Держбуд України, 2000. – 45 с.
2. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К. : Укравтодор, 2004. – 176 с.

Ковальова Г.М., Гордієнко В.П., д-р хім. наук, Мустяца О.Н., канд. хім. наук

ВПЛИВ НАНОРОЗМІРНОГО TiO_2 Й УФ-ОПРОМІНЕННЯ НА БУДОВУ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛІНІЙНОГО ПОЛІЕТИЛЕНА

Анотація. На прикладі великотонажного термопласту (лінійного поліетилену), який містить домішки нанорозмірного діоксиду титану, експериментально доведено, що термомеханічний та фотохімічний вплив на отримані полімерні нанокомпозити призводить до такої зміни молекулярної і надмолекулярної структури полімера, при якій збільшується міцність та тепловитривалість матеріалів при підвищеній температурі.

Ключові слова: термопластичний полімер, УФ-опромінення, структура, нанорозмірний діоксид титану, механічний і фотохімічний вплив.

Анотация. На примере многотоннажного термопласта (линейного полиэтилена), содержащего добавки наноразмерного диоксида титана, экспериментально показано, что термомеханическое и фотохимическое влияние на полученные полимерные нанокомпозиты приводит к такому изменению молекулярной и надмолекулярной структуры полимера, при котором происходит увеличение прочности и теплостойкости материалов при повышенных температурах.

Ключевые слова: термопластичный полимер, УФ-облучение, структура, наноразмерный диоксид титана, механическое и фотохимическое влияние.

Annotation. Large - scale thermoplastics (linear polyethylene) with nanometric titanium dioxide additive as a case study shows that thermo mechanical and photochemical effect on polymeric nanocomposites obtained changes the molecular and over molecular polymeric structure what makes the materials stronger under higher temperature and increased heat distortion.

Keywords: thermoplastic polymers, UV-irradiation, structure, nanometric titanium dioxide, mechanical and photochemical effect.

Відомо, що зміну структури полімерів, які кристалізуються, на різних рівнях її організації і їхніх властивостей можна досягти під впливом термомеханічного навантаження [1, 2] і УФ-опромінення [3]. Зазначені впливи підсилюються при введенні в полімери, що кристалізуються, твердих добавок неорганічної природи [1, 3, 4]. Останнім часом як такі добавки використовуються нанорозмірні дисперсні сполуки, у тому числі діоксид титану [5]. При цьому за рахунок механохімічних і фотохімічних процесів відбувається окиснення, деструкція, зшивання й інші перетворення макромолекул [1-4]. Деякі із цих процесів відбуваються при введенні й гомогенізації добавок у розплавах полімерів [1].

Утворення хімічних зв'язків між компонентами в полімерах з неорганічними добавками під впливом термомеханічного й фотохімічного впливу повинне бути найбільш ефективно з погляду модифікування властивостей полімерних матеріалів. Про можливість утворення таких зв'язків були припущення, однак доказ існування хімічних зв'язків між макромолекулами й поверхнею неорганічних добавок після термомеханічної обробки й УФ-опромінення цих систем відомий тільки для деяких об'єктів [6-9].

Мета роботи - показати вплив нанорозмірного діоксида титану й УФ-опромінення на термічну стійкість кристалічної структури й властивості лінійного поліетилену при підвищених температурах.

Досліджували композиції на основі поліетилену високої щільності (ПЕ) зі середньов'язкістною молекулярною масою $9,5 \times 10^4$ і ступенем кристалічності 54%. Як добавка був використаний діоксид титану, синтезований за методикою, викладеною в роботі [10], з питомою поверхнею $77 \text{ м}^2/\text{г}$ і розміром часток 30-50 нм. Добавка в ПЕ вводилася в кількості від 0,5 до 7,0 об. %. Змішання компонентів проводилося у вигляді сухих порошків і в розплаві полімеру. Гомогенізація добавки в розплаві полімеру здійснювалася в пластографі Брабендера протягом 40 хв при температурі 453 К. Такий режим змішування ПЕ з діоксидом титану дозволив одержати величину середнього квадратичного відхилення розподілу часток добавки в полімері в межах 0,85-0,90, що свідчить про високу однорідність композицій. За аналогічним режимом оброблявся полімер, що не містить добавки. Зразки для дослідження являли собою плівки товщиною 50 ± 5 мкм і 200 ± 10 мкм, а також таблетки діаметром 10 мм і товщиною $3 \pm 0,1$ мм, отримані гарячим пресуванням під тиском 35 МПа при

температурі 443 К протягом 20 хв. Зразки піддавалися впливу нефільтрованого випромінювання ртутно-кварцової лампи ДРТ-1000 в атмосфері повітря протягом 20 - 120 год при температурі 298 ± 5 К при періодичному перекиданні, так само як у роботі [7].

ІК-спектроскопічне дослідження структури отриманих зразків ПЕ проводили на спектрофотометрі "Specord" М-80 з використанням диференціального методу запису (ДМЗ) ІК-спектрів, що надійно зарекомендувало себе раніше для встановлення взаємодії між дисперсними добавками й полімером [7-9]. Методика ДМЗ дозволяє компенсувати склад композиційних матеріалів і проявляти тільки фактори впливу на ці матеріали (термомеханічний, фотохімічний). ІК-спектри реєстрували при кімнатній температурі. Визначення вмісту гель-фракції й кількості щепленого полімеру на частках добавки проводилося шляхом екстракції незв'язаних макромолекул ПЕ й вільних нанорозмірних часток діоксида титану киплячим толуолом до постійної ваги залишку.

Рентгенографічне дослідження кристалічної структури зразків ПЕ здійснювали на дифрактометрі ДРОН-3, що мав нагрівальну комірку. Оптико-мікроскопічне дослідження структури зразків ПЕ проводили за допомогою мікроскопа МІН-8 у поляризованому світлі з використанням нагрівального столика.

Як властивості композиційних матеріалів на основі ПЕ визначали руйнівне напруження при розтяганні (σ_p), теплостійкість по Вика (T_v). σ_p зразків ПЕ вимірювали за допомогою універсальної розривної машини EZ-40, постаченою нагрівальною камерою, при швидкості руху затиску 50 мм/хв. T_v визначали по температурі розм'якшення термопластичних матеріалів при навантаженні 1 кг на індентор площею 1 мм² і швидкості нагрівання 2 К/хв. Для розрахунку фізико-механічних характеристик композицій ПЕ використовували значення 7 паралельних зразків.

ІК-спектроскопічне дослідження структури композицій ПЕ- TiO_2 показало наявність нових смуг поглинання, положення й інтенсивність яких залежить від кількості уведених добавок. В ІК-спектрах ПЕ, що містить нанорозмірний TiO_2 , чітко видні власні смуги поглинання полімеру, положення й інтенсивність яких зберігаються, а так само характерний фон в області 700-2000 см⁻¹, що підсилюється зі збільшенням вмісту добавки. При вмісті TiO_2 понад 5% стає помітним поява індивідуальної смуги при 1430 см⁻¹. Поява поглинання в даній

області, як вважають автори роботи [6], обумовлена хемосорбцією макромолекул ПЕ на поверхні часток TiO_2 , що відбувається внаслідок механохімічних реакцій на стадії одержання композицій полімеру з утворенням зв'язків Ti-O-C . Таке трактування підтверджується поведженням смуги поглинання при 1430 см^{-1} в ІК-спектрах опромінених ультрафіолетовим випромінюванням композицій ПЕ з TiO_2 . Після видалення з опроміненої системи киплячим толуолом незв'язаних макромолекул ПЕ й вільних нанорозмірних часток TiO_2 , спостерігається характерний спектр добавки, у якому є присутнім смуга при 1430 см^{-1} . Структури, що утворюються на поверхні TiO_2 і є відповідальними за поглинання в цій області, не тільки стійкі до дії розчинника й УФ-опромінення, але їхній відносний вміст підвищується при збільшенні часу опромінення. По ІК-спектрах опромінених УФ композицій ПЕ з TiO_2 також можна фіксувати посилення поглинання в області $1000\text{-}1300\text{ см}^{-1}$, що може бути обумовлено утворенням зв'язків типу Ti-C [11].

Таким чином, представлені вище дані говорять про те, що в процесі введення нанорозмірного діоксида титану в розплав ПЕ внаслідок термомеханічного впливу, а також при УФ-опроміненні зазначених композицій відбувається хімічна взаємодія макромолекул полімеру з поверхнею добавок неорганічної природи. Результати ІК-спектроскопічного дослідження хімічної взаємодії макромолекул ПЕ з поверхнею нанорозмірних часток TiO_2 у процесі механохімічного й фотохімічного перетворень підтверджуються при гель-золь-аналізі зазначеної системи кількістю щепленого полімеру й вмістом гель-фракції залежно від концентрації добавок і часу УФ-опромінення досліджених композицій.

Після спалювання гель-фракції композицій ПЕ при температурі 873 К встановлено, що кількість щепленого полімеру росте з підвищенням концентрації нанорозмірної добавки й збільшенням часу УФ-опромінення досліджуваних композицій. Причому вміст гель-фракції у всіх випадках менше, ніж кількість щепленого полімеру на нанорозмірних частках добавки. Максимальні значення щепленого полімеру й гель-фракції ($P=21\%$, $G=20\%$) спостерігаються для ПЕ, що містить $5\text{ об.}\%$ TiO_2 , при УФ-опроміненні протягом 120 год . Підвищення концентрації нанорозмірної добавки в ПЕ до $7\text{ об.}\%$ практично не приводить до відчутного збільшення кількості щепленого полімеру й вмісту гель-фракції. Для зразків композицій ПЕ, отриманих методом

змішання сухих порошків, описані вище зміни молекулярної й надмолекулярної структури були досить незначні.

Виходячи з вищевикладеного можна вважати доведеним, що частина макромолекул ПЕ хімічно пов'язані з поверхнею нанорозмірних часток TiO_2 після термомеханічного й фотохімічного впливу на композиції полімеру. Ці частки ймовірно також пов'язані із просторовою сіткою полімеру. Очевидно також, що частина енергії УФ-опромінення витрачається не на фотоокиснювання й фотодеструкцію полімеру [3], а на фотозшивання макромолекул ПЕ і їхнє хімічне щеплення до поверхні нанорозмірних часток TiO_2 .

Структурування ПЕ, що містить нанорозмірні добавки, при охолодженні розплаву полімеру може початися із кристалізації макромолекул, хімічно пов'язаних з поверхнею твердих наночасток TiO_2 . Таке припущення для ПЕ, що містить високодисперсний TiO_2 , було зроблено раніше [6] і цілком може бути реалізоване в полімерних композиціях з нанорозмірним TiO_2 . Причому, індукована твердими наночастками діоксида титану кристалізація полімеру в умовах хімічного щеплення макромолекул до поверхні цих часток і просторової сітки приводить до утворення кристалічної структури ПЕ, стійкої до дії підвищеної температури.

Рентгенографічне дослідження зразків ПЕ при температурі 423 К показало (рис. 1), що структура опроміненого УФ вихідного полімеру в кристалічному стані й вміщуючого нанорозмірні частки діоксида титану істотно розрізняються.

На дифрактограмах при температурі 423 К вихідного ПЕ й опроміненого УФ полімеру, що не містить нанорозмірних часток TiO_2 , спостерігається тільки дифузійний максимум, що відповідає аморфному стану полімеру, при куті розсіювання 2Θ , трохи зміщеному в область менших значень у порівнянні з таким же максимумом при температурі 298 К, вершина якого відповідає $2\Theta = 19,5^\circ$ [12]. У той же час для опроміненого УФ полімеру, що містить нанорозмірні частки діоксида титану, крім дифузійного максимуму, що лежить при тих же значеннях 2Θ , на дифрактограмах видні (рис. 1) малоінтенсивні рефлекси кристалічних утворень ПЕ від площин 110 ($2\Theta = 21,5^\circ$) і 200 ($2\Theta = 23,8^\circ$).

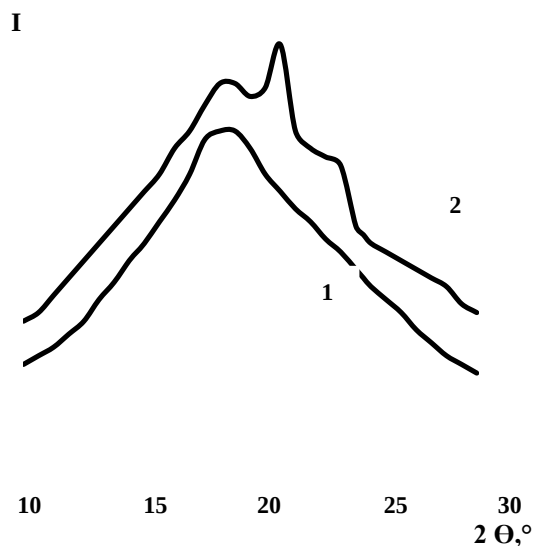


Рисунок 1 – Дифрактограми при температурі 423 К вихідного ПЕ (1) і вміщуючого 3 об.% нанорозмірного діоксиду TiO_2 (2) при УФ-опроміненні протягом 120 год

Варто помітити, що температура 423 К перевищує рівноважну температуру плавлення поліетилену [13,14], а залишки кристалічної структури ПЕ при цій температурі стійко спостерігаються в полімері, що містить нанорозмірну добавку TiO_2 , при УФ-опроміненні протягом 80-120 год.

Таким чином, у розплаві частково зшитого УФ-опроміненням ПЕ, що містить нанорозмірні частки TiO_2 , присутні впорядковані області полімеру. Оцінка ступеня кристалічності ПЕ при температурі 423 К показала, що для полімеру, що містить 3-5 об.% нанорозмірного діоксида титану, при УФ-опроміненні композицій протягом 80-120 год, значення цього параметра лежать у межах 7-14%, тобто можуть досягати 25% від величини ступеня кристалічності вихідного ПЕ, яку він має при температурі 298 К. Таку термічну стійкість кристалічних утворень ПЕ треба, мабуть, віднести за рахунок можливості перегріву кристалітів полімеру в умовах їхньої стабілізації за рахунок хімічного щеплення до поверхні наночасток TiO_2 і просторової сітки, що утворилася, при УФ-опроміненні композицій. Підтвердженням того, що в ПЕ, що містить нанорозмірні частки TiO_2 після УФ-опромінення композицій зберігаються кристалічні утворення при температурі, що перевищує рівноважну температуру плавлення полімеру, може служити безпосереднє спостереження в поляризованому світлі двопротинепереломляючих структур, що нагадують сфероліти. Аналогічну картину спостерігали в роботі [15] для зшитого

лінійного ПЕ, яку автори пояснили молекулярною впорядкованістю в рідкому стані в умовах фіксації зшиванням кристалічної структури полімеру.

Варто також указати, що підвищена термічна стійкість кристалітів ПЕ може бути обумовлена напруженим станом «прохідних» молекул полімеру в аморфних областях. Присутність нанорозмірних часток TiO_2 і міжмолекулярних зшивок у полімері, локалізованих у його аморфних областях, неминуче приводить до підвищення напруженості «прохідних» ланцюгів. У той же час відомо [14], що орієнтовані полімери, що перебувають у напруженому стані, плавляться при більш високих температурах, чим ненапружені зразки.

Перераховані вище фактори сприяють термічній стійкості кристалічної структури полімеру. У результаті в полімері утворюються структурні області, які зберігають свою локальну впорядкованість при температурах, що перевищують його рівноважну температуру плавлення. У даній роботі цей ефект переконливо показаний на прикладі лінійного ПЕ, що містить нанорозмірні частки TiO_2 , після УФ-опромінення.

Наявність високовпорядкованих утворень у розплаві опроміненого УФ поліетилену, що містить нанорозмірні частки TiO_2 , повинна сприяти упрочненню при навантаженнях на такі зразки композиційних матеріалів при температурі, що перевищує рівноважну температуру плавлення полімеру. Становить інтерес дослідження міцності ПЕ при температурі 423 К и теплостійкості залежно від вмісту нанорозмірного TiO_2 і часу УФ-опромінення. На рис. 2 видно, що руйнівне напруження при температурі 423 К, опромінених УФ (120 год) зразків ПЕ, найбільш інтенсивно підвищується до вмісту нанорозмірного TiO_2 – 5 об.%, надалі збільшуючись у меншому ступені. Крім того, полімер, що містить нанорозмірний TiO_2 , значно перевершує по міцності вихідний ПЕ при температурі, що перевищує рівноважну температуру плавлення полімеру. Так, в інтервалі 20-120 год УФ – опромінення ПЕ, що містить 5 об.% нанорозмірного діоксида, має руйнівне напруження при розтяганні в 3-5 разів вище, ніж вихідний полімер (рис. 2).

Аналіз результатів, представлених у табл. і на рис. 2, свідчить про те, що підвищення руйнівного напруження при розтяганні опромінених УФ зразків ПЕ, що містять нанорозмірний TiO_2 , при температурі 423 К, в основному, визначається локальною впорядкованістю полімеру в розплаві. Такі стійкі до температури кристалічні утворення, що армують розплав поліетилену, виникли в результаті щеплення макромолекул до поверхні часток нанорозмірного

діоксида TiO_2 внаслідок термомеханічної обробки й УФ-опромінення композицій, а також стабілізації впорядкованих областей полімеру твердою поверхнею нанодобавки й просторовою сіткою.

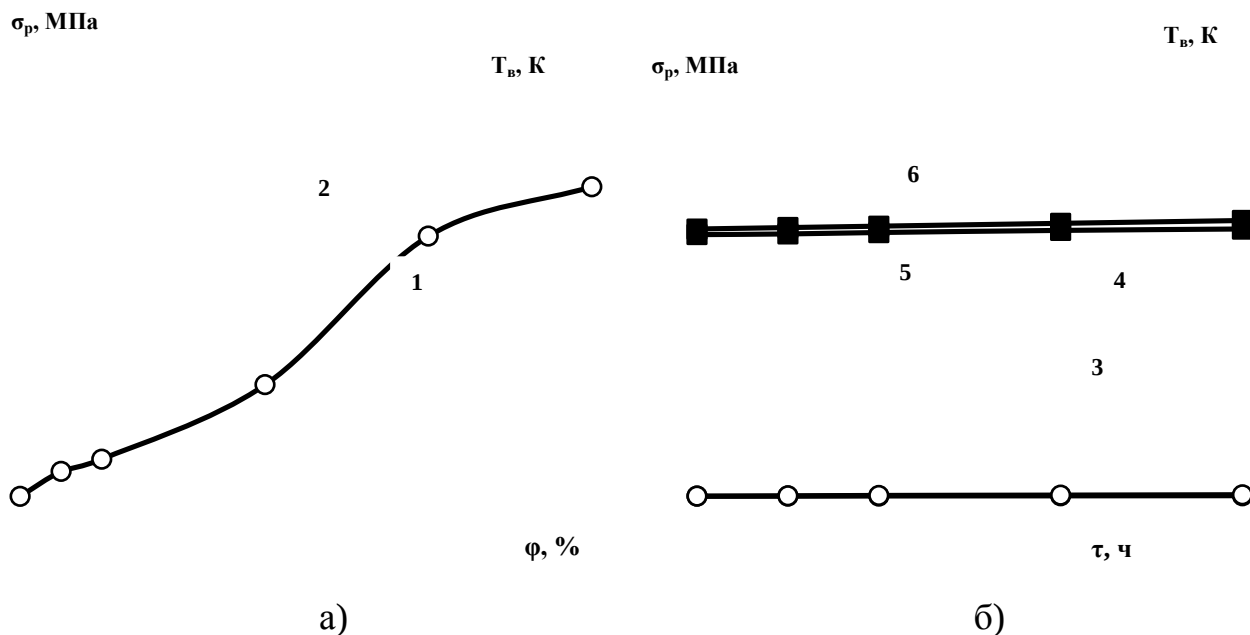


Рисунок 2 – Залежність σ_p поліетилену при 423 К (1, 3, 5) і його T_b (2, 4, 6) від вмісту TiO_2 (ϕ) після 120 год УФ-опромінення (а), а так само вихідного ПЕ (3, 4) і вміщуючого 5 об. % TiO_2 (5, 6) від часу (τ) УФ-опромінення (б)

Опромінений УФ поліетилен, що містить нанорозмірну добавку TiO_2 , володіє також більш високою теплостійкістю в порівнянні з вихідним полімером. На рис. 2 наведена залежність теплостійкості по Вика поліетилену від вмісту нанодобавки й часу УФ-опромінення композиційних матеріалів. Видно, що температура розм'якшення вихідного поліетилену може бути підвищена як за рахунок введення нанорозмірного TiO_2 , так і за рахунок УФ-опромінення вихідного полімеру й вміщуючого нанодобавку. Введення до 7 об. % TiO_2 підвищує теплостійкість поліетилену на 10 К.

УФ-опромінення вихідного ПЕ незначно підвищує його температуру розм'якшення: при 120 год опромінення всього на 8 К. Аналогічний ефект можна досягти при введенні в поліетилен 5 об. % нанорозмірного діоксида титану. За тих самих умов УФ-опромінення теплостійкість системи ПЕ + 7 об. % TiO_2 підвищується на 23 К. Підвищення теплостійкості поліетилену при введенні нанорозмірних діоксидів, УФ-опроміненні вихідного полімеру і його композицій, в основному, корелює зі зміною молекулярної й надмолекулярної структури полімеру.

Проведене дослідження різних за характером фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів на основі лінійного поліетилену показало, що введення нанорозмірного діоксида TiO_2 у полімер з наступним УФ-опроміненням цих матеріалів є ефективним способом збільшення стійкості нанокомпозитів до дії підвищених температур. Первинним фактором, що визначає стійкість нанокомпозитів до підвищеної температури служить утворення хімічних зв'язків між компонентами системи: макромолекули полімеру - нанорозмірна добавка неорганічної природи. Такі зв'язки виникають під впливом термомеханічного впливу при введенні добавки в розплав полімеру й дії УФ-опромінення на нанокомпозити. При цьому УФ-опромінення також обумовлює утворення міжмолекулярних зшивок і просторової сітки в ПЕ. Такі перетворення в структурі полімеру, що кристалізується, приводять до термічної стійкості його впорядкованих утворень і в підсумку до підвищеної міцності матеріалу при температурі, що перевищує рівноважну температуру плавлення полімеру, а так само до збільшення його теплостійкості.

Література

1. Носалевич И.М. Химические процессы при переработке термопластов / Носалевич И.М., Пахаренко В.П. - Харьков: Вища школа, 1981.
 2. Казале А. Реакции полимеров под действием напряжений / Казале А., Портер Р. - Л.: Химия, 1983.
 3. Ренби Б. Фотодеструкция, фотоокисление, фотостабилизация полимеров / Ренби Б., Рабек Я. - М.: Мир, 1978.
 4. Соломко В.П. Наполненные кристаллизующиеся полимеры / Соломко В.П. - Киев: Наукова думка, 1980.
 5. Зейналов Э.Б. / Зейналов Э.Б. //Пластические массы. - 2011. - № 10. - С. 43-44.
 6. Акутин М.С. / Акутин М.С., Озеров Г.М., Каргин В.А. // Пластические массы. - 1966. - № 12. - С. 32-33.
 7. Gordienko V.P. / Gordienko V.P., Dmitriev Yu.A. // Polymer Degradation and Stability. - 1996. - V. 53. - № 1. - P. 79-87.
 8. Гордиенко В.П. / Гордиенко В.П., Дмитриев Ю.А. //Высокомолек. соедин. - 1995. - Сер.Б. - Т. 37. - № 5. - С. 900-901.
 9. Гордиенко В.П. / Гордиенко В.П., Ковалёва Г.Н. //Энцикл. инженера-химика. М.: Наука и технологии, 2010. - № 3. - С. 12-16.
 10. Коваленко И.В. / Коваленко И.В., Черненко Л.В., Хайнаков В.И. и др. // Укр. хим. журнал. -2008. - Т. 74. - № 3. - С. 52-54.
 11. Чумаевский Н.А. / Чумаевский Н.А. // Успехи химии. - 1963. - Т. 32. - № 8. - С. 1152-1175.
 12. Липатов Ю.С. Рентгенографические методы изучения полимерных систем / Липатов Ю.С., Шилов В.В., Гомза Ю.П. - Киев: Наук. думка, 1982.
 13. Романкевич О.В. / Романкевич О.В., Френкель С.Я. //Высокомолек. соедин. - 1978. - Сер. А. - Т. 20. - № 11. - С. 2417-2426.
 14. Вундерлих Б. Физика макромолекул / Вундерлих Б. - М.: Мир, 1984. - Т. 3.
- Манделькern Д. Кристаллизация полимеров / Манделькern Д. - М.- Л.: Химия, 1966.

Мозговой В.В., д-р техн. наук, Ольховый Б.Ю., Баран С.А., Нимчук К.И.

ВЫБОР ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО СЕЗОНА ПРИ УСТРОЙСТВЕ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДООТВОДА С ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ НА МОСТАХ

Анотація. В даній статті розглянуті можливі проблеми при використанні енергозберігаючих добавок в щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішах з метою розширення будівельного сезону при влаштуванні поверхневого водовідводу на мостах. Автори наводять приклади різних методик випробування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей на витікання в'язучого і розшарування, а також пропонують використовувати альтернативні методики для отримання більш об'єктивних результатів. В статті наводяться результати експериментальних робіт по вибору оптимальних енергозберігаючих добавок для використання в щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішах з метою розширення будівельного сезону при влаштуванні поверхневого водовідводу на мостах.

Ключові слова: щебенево-мастиковий асфальтобетон, енергозберігаючі добавки, розширення будівельного сезону, витікання в'язучого.

Аннотация. В данной статье рассмотрены возможные проблемы при использовании энергосберегающих добавок в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях с целью расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода на мостах. Авторы приводят примеры разных методик испытания щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей на расслоение и вытекание вяжущего, а также предлагают использовать альтернативные методики для получения более объективных результатов. В статье приводятся результаты экспериментальных работ по выбору оптимальных энергосберегающих добавок для использования в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях в целях расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода на мостах.

Ключевые слова: щебеночно-мастичный асфальтобетон, энергосберегающие добавки, расширение строительного сезона, вытекание вяжущего.

Annotation. In this paper it is examined possible problems that could arise when using warm mix asphalt additives with stone-mastic asphalt in order to extend paving season while build pavements on bridges. The authors show different techniques of draindown tests in stone mastic asphalt mixes, also they suggest using alternate techniques of draindown tests in order to obtain more objective results. In the paper it is shown the results of experimental tests of choosing warm asphalt mix additives for stone mastic asphalt in order to extend paving season while build pavements on bridges.

Keywords: stone mastic asphalt mix, warm asphalt mix additives, paving season extending, bitumen draindown.

Актуальность

В соответствии с украинскими нормативными документами [1] проведение работ по укладке асфальтобетонных смесей можно выполнять при низких температурах (при температурах окружающей среды от плюс 10 С° до минус 5 С°), но при соответствующем технико-экономическом обосновании проведения таких работ. При этом нужно обязательно предусмотреть применение технологий и решений, которые позволят качественно уплотнять асфальтобетонную смесь. Среди таких решений и технологий существенную роль занимает использование энергосберегающих добавок [2, 3, 4].

Все большей популярностью для устройства поверхностного водоотвода на мостах пользуются щебеночно-мастичные асфальтобетонные смеси, которые, как известно, характеризуются большим количеством битумного вяжущего в своем составе. Это нужно для получения достаточно толстых пленок битума, которые даже после продолжительной эксплуатации предотвращают старение вяжущего, а также удерживают трещинообразование, что позволяет на протяжении более длительного времени обеспечить сплошность, покрытия препятствуя попадания влаги на элементы мостов и искусственных сооружений, которые более подвержены коррозии под воздействием воды.

Поскольку, механизм действия большинства энергосберегающих добавок заключается в уменьшении вязкости битума, то при использовании их в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях возникает опасность вытекания вяжущего и расслоения смеси. Поэтому, для предотвращения таких негативных последствий нужно тщательно подходить к выбору энергосберегающих добавок, использовать при этом все современные методы проверки вытекания вяжущего, а также новые экспериментальные подходы, которые могли бы дать более объективные результаты. Результаты исследований, описанные в данной статье, будут полезны для исследователей асфальтобетона, студентов, аспирантов и практиков дорожно-строительной отрасли.

Основной материал

Особенность зернового состава щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (повышенное количество вяжущего и щебня) вызывает расслоения их при сбережении, перевозке и укладке, что компенсируется использованием стабилизирующих добавок. Такой существенный недостаток как вытекание вяжущего (мастичной части) при высоких технологических температурах приготовления, сбережения и транспортирования может приводить к появлению битумных пятен на покрытии, что может, в свою очередь, приводить к колейности, а в местах недостачи вяжущего – к недостаточной водо- и морозостойкости.

Современные нормативные документы на ЦМА не учитывают влияние энергосберегающих добавок на возможность повышение вытекания вяжущего [5]. Поэтому исследование расслоения ЦМАС в зависимости от времени сбережения в накопительном бункере и времени транспортирования при использовании разных энергосберегающих добавок есть актуальным, и даст возможность разработать рекомендации по уточнению показателей вытекания вяжущего ЦМАС, что позволит уменьшить расслоение смесей в зависимости от времени сбережения в бункере и времени транспортирования.

Вытеканием вяжущего называется процесс отделения стекающих составляющих смеси от однородной массы смеси, который возникает при высокой температуре, когда битумное вяжущее имеет относительно низкую вязкость. Также процесс отделения битумного вяжущего или мастики называют сегрегацией ЦМА [6].

Для оценки стабильности и гомогенности смеси при смешивании, сбережении и транспортировании используют несколько видов тестов в разных странах использования ЦМА, среди таких: тест на вытекание вяжущего по Шелленбергу и фон дер Веппену, по американским нормам AASHTO T 305-97, по европейским нормам PN-EN 12697-18, по ZW-SMA-2001, по ДСТУ Б В.2.7–127 [5 – 7].

Суть метода определения показателя вытекания вяжущего по ДСТУ Б В.2.7–127 [5] заключается во взвешивании остатка битумного вяжущего после опрокидывания стакана со смесью, которая была выдержана в сушильном шкафу на протяжении 60 минут при температуре 170 °С. Мерой вытекания является масса остатков битума на стакане после удаления из него ЦМАС, выражена в процентном соотношении от массы ЦМАС.

$$B = \frac{g_3 - g_1}{g_2 - g_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где g_1 , g_2 , g_3 – масса стакана соответственно пустого, с ЦМАС и после ее удаления из стакана, г.

Для исследования влияния энергосберегающих добавок на повышение вероятности вытекания вяжущего и расслоения смеси были проведены лабораторные испытания: для определения зависимости показателя вытекания от времени сбережения в накопительном бункере и времени транспортирования.

Для исследования влияния энергосберегающих добавок на расслоение и вытекание вяжущего были использованы щебеночно-мастичные смеси типа ЦМА-20. Для приготовления смесей были использованы следующие минеральные материалы в соответствующих пропорциях:

- щебень гранитный фракции 10 – 20мм – 65%;
- щебень гранитный фракции 5 - 10 мм – 13%;
- песок с отсеков дробления изверженных горных пород фракции 0 - 5 мм – 10%;
- минеральный порошок – 11,6%.

Количество стабилизирующих добавок (Torcell) во всех смесях равнялось 0,4% от массы минерального заполнителя. Содержание вяжущего (битум нефтяной дорожный вязкий марки БНД 60/90) в выходном асфальтобетоне и асфальтобетоне с энергосберегающими добавками Sasobit, Iterlow-T, WarmMix и Rediset WMX составляло 6,5 % от массы минерального материала. Все

компоненты соответствуют украинским нормативным документам. [2, 3, 8, 9, 10, 11]

Приготовление асфальтобетонных смесей выполнялось с соблюдением стандартной последовательности технологических операций и рекомендаций согласно с нормативными документами. [2, 3, 12].

Для выяснения характера стекания вяжущего при сбережении в бункере были проведены испытания смеси согласно стандартной методике [5] с разным временем выдерживания смеси (30, 60, 120 минут) в сушильном шкафу.

Для исследования влияния динамических колебаний при транспортировании ЦМАС на расслоение смеси использовали стандартную методику определения показателя вытекания вяжущего по ДСТУ Б В.2.7–127 [5] с некоторыми усовершенствованиями, которые дают возможность имитировать вибрации схожие по своим амплитудно-частотным характеристикам колебания кузова автосамосвала. Для проведения испытаний было принято время транспортирования и соответственно время влияния динамических колебаний 30, 60 и 120 минут.

Усовершенствования методики заключаются в следующем: для имитации вибрации в кузове самосвала при транспортировании ЦМАС термостойкий стакан, предварительно теплоизолированный, поддавали вибрациям (соответственно 30, 60 и 120 минут) после чего стакан помещали в сушильный шкаф, нагретый до температуры испытания, и выдерживали на протяжении заданного времени. Потом определяли показатель вытекания согласно стандартной методике [5].

Внешний вид стаканов после определения показателя стекания приведен на рис 1. Данные по результатам определения показателя вытекания отображены на рис 2 в виде графической зависимости показателя вытекания от времени выдерживания смеси и времени транспортирования.

Проведения стандартных испытаний для определения показателя вытекания вяжущего показало, что при использовании исходного битума показатель вытекания при стандартных параметрах испытания вписывается в требования (0,2) [5], а при выдерживании смеси вдвое дольше – немного превышает нормативные требования. Применение разных энергосберегающих добавок, за исключением WarmMix, показали схожий характер поведения и близкие между собою значение показателя вытекания вяжущего.

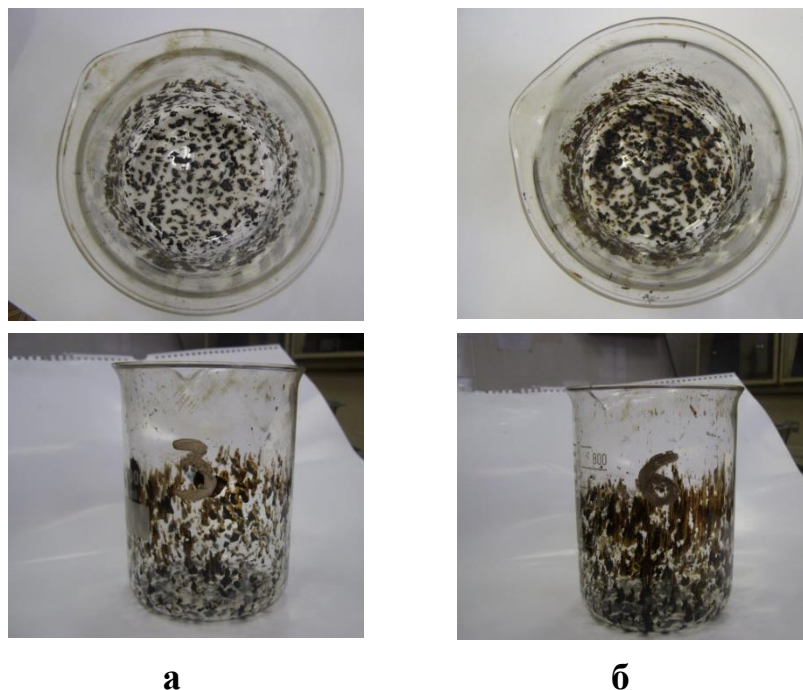


Рисунок 1 – Общий вид стаканов после испытания для определения показателя вытекания: а – выдерживание стакана на протяжении 120 минут по стандартной методике, б – динамическое влияние на стакан на протяжении 60 минут

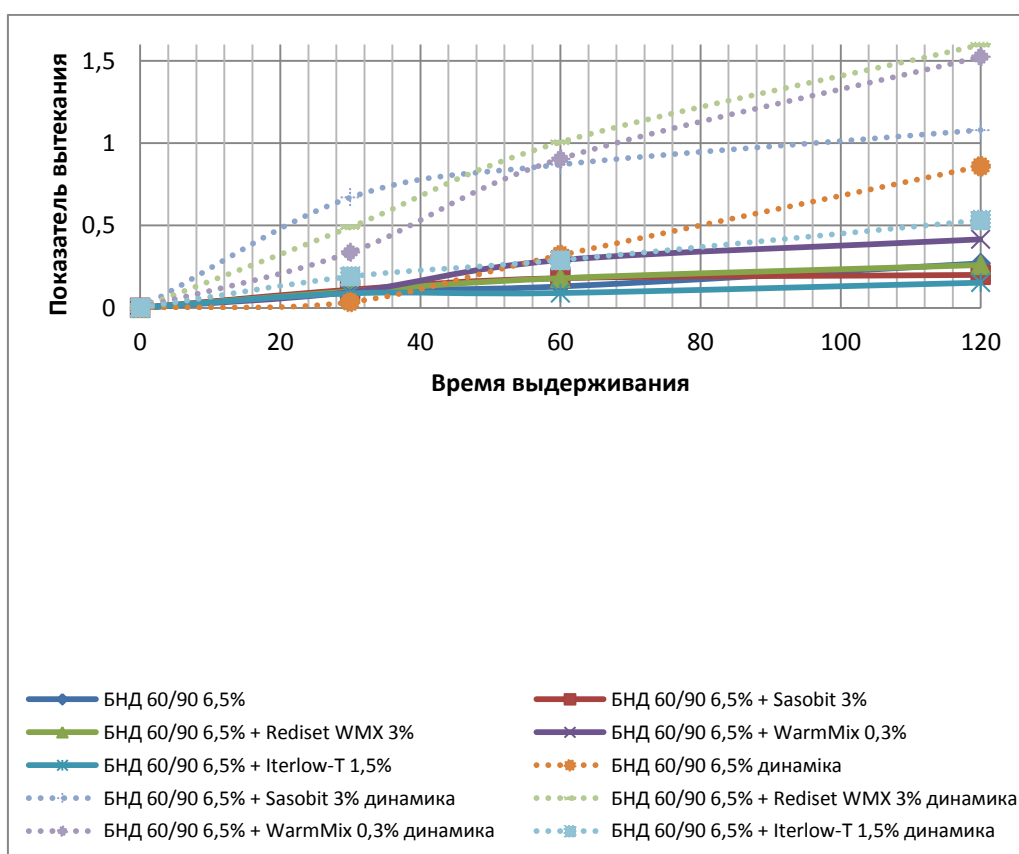


Рисунок 2 – Графическая зависимость показателя вытекания от времени выдерживания в бункере и времени транспортирования ЦМАС на чистом битуме и с энергосберегающими добавками

Результаты испытаний при определении показателя вытекания вяжущего при воздействии динамического влияния, в общем, показали качественно иной характер. Смеси с добавками Rediset WMX и WarmMix показали интенсивный рост показателя вытекания в зависимости от времени динамического воздействия.

Испытуемые энергосберегающие добавки показали несколько разный характер воздействия на вязкость битума и соответственно на показатель вытекания.

Выводы

На показатель вытекания существенно влияет время транспортирования ЩМАС, поскольку при транспортировании на большие дистанции ЩМАС поддается влиянию вибраций и встряхиваний от автомобиля самосвала. Вследствии при транспортировании некоторая часть мастичной части перемещается в нижнюю часть смеси, этим самым образуя неоднородную смесь по количеству вяжущего, что может привести к образованию локальных мест с битумными пятнами на поверхности покрытия. Анализируя данные результаты можно сделать заключение, что основная масса битума вытекает за 30 - 60 минут при стандартном способе проведения испытания, а потом скорость изменения стекания по времени значительно уменьшается.

Также с полученных результатов видно, что время транспортирования влияет более существенно на показатель вытекания, чем время выдерживания. Поэтому при транспортировании на большие дистанции нужно устанавливать более жесткие требования к показателю вытекания.

Использование энергосберегающих добавок Sasobit, Rediset WMX, WarmMix влияет на увеличение показателя вытекания ЩМАС при высоких рабочих температурах, поэтому такие добавки можно использовать без вреда для свойств асфальтобетона при условии уточнения экспериментальным путем технологических температур приготовления и транспортирования. А добавка Iterlow-T существенно не влияет на изменение показателя стекания ЩМАС и может использоваться как для расширения строительного сезона, опуская рабочие температуры, так и для улучшения удобоукладываемости смеси, достижения лучшего уплотнения, улучшения характеристик асфальтобетона.

Данная методика была использована для имитации более жестких и неблагоприятных условий транспортирования для смеси. Соответственно если смесь при подборе будет отвечать более жестким требованиям, то вероятно, что

эта смесь после транспортирования будет отвечать нормативным требованиям по показателю вытекания. Это в свою очередь обеспечит необходимый уровень качества покрытия.

Результаты данных исследований не могут быть использованы для однозначного выбора той или иной энергосберегающей добавки для ЩМА. Данные исследования были проведены с целью проверки влияния энергосберегающих добавок в ЩМА лишь по одному показателю – вытеканию вяжущего. Поэтому для окончательного выбора энергосберегающей добавки для использования в щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесях в целях расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода на мостах необходимо проводить испытания по всему ряду показателей соответственно с нормативными документами [1, 5, 12].

Литература

1. ГБН В.2.3-218-547:2010 «Устройство асфальтобетонных слоев дорожной одежды при низких температурах» - К.:2010.
2. СОУ 45.2-00018112-068:2011 Будівельні матеріали. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками на основі синтетичних восків. Технічні умови – К.:2011/
3. Р В.2.7-218-02071168-740:2008 Рекомендації по використанню в бітумних в'язучих енергозберігаючих добавок для виготовлення та ущільнення асфальтобетонних сумішей. – К.:2008.
4. Радовский Б.С. Прогресс технологий производства теплого асфальтобетона в США// Автомоб. дороги. - 2011. - №8. - С. 29-39.
5. ДСТУ Б В.2.7-127:2006 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебеночно-мастичные. Технические условия» - К.:2006.
6. Blazejowski K. SMA. Teoria i praktyka. Rettenmaier Polska sp. z o.o. – Warszawa, 2007, 620 p.
7. The asphalt handbook. MS-4 7th edition, Asphalt institute, Lexington, 2007, 788 p.
8. ДСТУ Б В.2.7-75-98 «Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови» - К.:1998.
9. ДСТУ Б В.2.7-32-95 «Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови» - К.:1995.
10. ДСТУ Б В 2.7-121-2003 «Будівельні матеріали. Споруди транспорту. Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови» - К.:2003.
11. ДСТУ 4044-2001 «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови» - К.:2001.
12. ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801) «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний» - К.:1999.

Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В.

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОЕКТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ЗАДАНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ

Анотація. В роботі наведено методи розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу та метод розрахунку на накопичення залишкових деформацій нежорсткого дорожнього одягу. Оцінка температурної тріщиностійкості виходить з двох різних підходів, що використовуються на практиці при експлуатації дорожнього покриття, а моделювання накопичення залишкових деформацій полягає в обробці колії кожного шару конструкції дорожнього одягу.

Ключові слова: нежорсткий дорожній одяг, асфальтобетонні шари, температурна тріщиностійкість, навантаження, деформація, залишкові деформації, міра пошкодження.

Анотация. В работе приведены методы расчета на трещиностойкость асфальтобетонных слоев нежестких дорожных одежд и метод расчета на накопление остаточных деформаций нежесткой дорожной одежды. Оценка температурной трещиностойкости исходит из двух различных подходов, используемых на практике при эксплуатации дорожного покрытия, а моделирование накоплению остаточных деформаций заключается в обработке пути каждого слоя конструкции дорожной одежды.

Ключевые слова: нежесткая дорожная одежда, асфальтобетонные слои, температурная трещиностойкость, нагрузки, деформация, остаточные деформации, степень повреждения..

Annotation. In this paper the calculation methods for crack asphalt layers of non-rigid pavement and the method of calculation of the accumulation of residual deformation of non-rigid pavement. Evaluation of thermal fracture based on two different approaches used in practice in the operation of road surface, and modeling the accumulation of residual strain gauge is finishing construction of each layer of pavement.

Keywords: non rigid pavements, asphalt layers, temperature crack resistance, load, strain, residual strain measure damage.

Вступ

Сучасні методи розрахунку асфальтобетонних шарів дорожнього одягу ґрунтуються на розрахунковій схемі шаруватого пружного напівпростору. Це дозволяє застосовувати теорію пружності для розрахунку конструкції дорожнього одягу на міцність та деформативність. Однак, матеріали, що містять органічне в'язуче характеризуються не тільки пружними властивостями але і пластичністю та в'язкістю. Тому для одержання більш достовірних результатів необхідно удосконалення розрахункової схеми дорожнього одягу на основі врахування як можна більшого числа властивостей, що присутні дорожньо-будівельним матеріалам [1, 2].

Для збереження суцільності асфальтобетонних шарів нежорсткого типу, де проявляють в'язко-пружні властивості (повзучість релаксація), недостатньо традиційного для пружних матеріалів вимоги про те, щоб напруги в будь-який даний момент було менше межі міцності матеріалу, а слід ще врахувати закономірності попередньої зміни напружень. Крім того, як відомо, саме граничний опір в'язко-пружного матеріалу покриття залежить від режиму навантаження (швидкості навантаження або деформування, тривалості напруженого стану) і від температури покриття, яка в часі змінюється [2-7].

Тому для вирішення питання про температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів, окрім залежностей для визначення температурних напружень, необхідно розташовувати умовою міцності, що враховує часовий характер руйнування при змінненні в часі напруження і температури, так званим умовою тривалої міцності.

Методи розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів дорожнього одягу

Для більш загальної поведінки асфальтобетонних шарів дорожнього одягу в широкому інтервалі температур, напружень і тривалості їх дії доцільно розглянути комбінацію цих залежностей в різних поєднаннях. Вибір того чи іншого виду залежності ґрунтується на оцінці адекватності їхнього застосування для конкретних складів дорожнього покриття [2, 3].

Спираючись на ці залежності, види, параметри яких знаходяться з експериментів на довговічність при постійному напруженні і постійній

температурі (або інших контрольованих режимах) формулюються критерії умови тривалої міцності, що дозволяють знайти час до руйнування t_p при змінному в часі напруженні $\sigma(t)$ і змінної температурі $T(t)$.

Найбільше визнання до теперішнього часу набули критерії тривалої міцності, запропоновані Бейлі і А.А. Ільюшиним [2, 3]:

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{t * (\sigma(t), T(t))} = 1 \quad (1)$$

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{\sigma * (\sigma(t_p - t), T(t))} = 1 \quad (2)$$

Як видно з (1), (2), передумови, закладені в критеріях Бейлі (1) і Ільюшина (2), в деякому розумінні протилежні.

Розглядаючи критерій Бейлі, припустимо, що напруження σ і температура T довільно змінюються у часі. Тоді при малому проміжку часу dt від t до $(t + dt)$ можна вважати напруження рівним $\sigma(t)$, а температуру $T(t)$. Якби до зразка було прикладено від початкового моменту до повного руйнування постійне напруження $\sigma = \sigma(t)$ при постійній температурі $T = T(t)$, то його довговічність до руйнування згідно відомої з випробування на довговічність становила б $t^*(\sigma(t), T(t))$. Тому відносне зменшення довговічності зразка внаслідок дії на нього напруження при температурі $T(t)$ протягом dt характеризує зміну міри пошкодженості і вона дорівнює $dt/t^*(\sigma(t), T(t))$. Сумарна міра пошкодженості по Бейлі M_{t1}^B за час t_1 зміни напружень і температури, відповідно, буде рівна:

$$M_{t1}^B = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t \cdot (\sigma(t), T(t))} = 1. \quad (3)$$

Під мірою пошкодженості для асфальтобетонних шарів мається на увазі формальне кінетичне поняття необоротних розривів пошкоджень зв'язків у матеріалі, що накопичуються в часі при певному характері впливу якого або з аналізованих факторів. Міра пошкодженості - відносний параметр, який також характеризує ступінь (частку) пошкодження (руйнування) структури дорожнього покриття при впливі руйнуючого фактору в порівнянні з максимально можливим значенням пошкодження [2 – 5].

Умова А.А. Ільюшина відображає здатність до відновлення зруйнованих зв'язків, що є його якісною перевагою перед умовою Бейлі стосовно дорожнього одягу, котрий виявляє таку здатність. Однак у цій умові не має параметрів, що дозволяють «управляти» проявом «пам'яті» в залежності від особливості даного матеріалу і від градієнта зміни напружень [2-5].

Тому, беручи до уваги простоту критерію Бейлі, а також той факт, що для режиму зміни напруг при охолодженні покриття умова (1) дає запас міцності в порівнянні з (2), нижче при оцінці температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів використовується умова тривалої міцності Бейлі (1) у разі експериментально доведеної адекватності її застосування.

В інших випадках з метою більш загального обліку зазначених вище характерних особливостей ушкодження асфальтобетонних шарів («пам'ять» щодо історії зміни температури і напруги, «відпочинок» за відсутності напружень, «заліковування» (відновлення) в часі пошкоджених зв'язків та ін.) був використаний підхід, застосовуваний в кінетичної теорії міцності твердих тіл з використанням понять функцій пошкодженості і функцій впливу [2, 3, 6, 7]. Виконані в даному випадку прийоми, наведені в роботі Мозгового В.В. [2].

Маючи тепер рішення для визначення температурних напружень в покритті, умова тривалої міцності і вираз для функції довговічності, можна приступити до побудови методики оцінки температурної тріщиностійкості та розрахунку асфальтобетонних шарів на температурну тріщиностійкість.

Оцінка температурної тріщиностійкості виходить з двох різних підходів, що використовуються на практиці при експлуатації дорожнього одягу.

В даній роботі наведений варіант, коли не допускається утворення температурних тріщин за заданий термін служби.

В цьому випадку в якості показника тріщиностійкості використовується міра пошкодження температурних тріщин M_{TP} і зіставляли її з гранично-допустимим значенням [2, 3].

В цьому випадку граничний стан асфальтобетонних шарів можна записати у вигляді:

$$M_{TP} = [M_T + M_{Тран} + M_{Зч.ш.} + M_{Клав.ефекту}] - [M_{Відновлення}] \leq [C_{TP}] K_{Сегрегації} \quad (4)$$

В даному випадку під пошкодженістю розуміють формальне кінетичне поняття незворотних розривів ушкоджень зв'язків у матеріалі, що накопичуються в часі при визначеному характері впливу основних факторів (в даному випадку під дією температури, транспорту, зчеплення між шарами, клавійного ефекту, сегрегації та відновлення). Міра пошкодженості в нашому випадку відносний параметр, що характеризує ступінь ушкодження структури матеріалу при впливі руйнівних факторів, у порівнянні з максимально можливим значенням пошкодження (в даному випадку руйнування).

Показник M_{TP} визначається як міра пошкодження від дії температурних напружень за один рік служби з найсприятливішим протягом періоду експлуатації температурним режимом для даного регіону. Граничний стан асфальтобетонних шарів можна записати у наступному вигляді:

$$M(\sigma_{Tp}, t, B_t)^b = M(\sigma_T, t, A_t)^a + M(\sigma_{Тран}, t, C_t)^c + M(\tau_{зч.ш.}, t, J_t)^j + \\ + M(\tau_{Клав.еф.}, t, R_t)^r - M(\sigma_{згин}, t, Q_t)^q \leq [C_{TP}] K_{Сегрегації}, \quad (5)$$

$M_{TP} = \int_0^{t_{зч.ш.}} \frac{\sigma_{Tp}(t)^{b(t,T)}}{B_t(t,T)} dt$ — граничне значення показника тріщиностійкості асфальтобетонних шарів;

σ_{Tp} — граничне напруження показника тріщиностійкості асфальтобетонних шарів наведені за аналітичною залежністю в роботі [2];

$M_T = \int_0^{t_{зч.ш.}} \frac{\sigma_T(t)^{a(t,T)}}{A_t(t,T)} dt$ — міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від дії температури;

σ_T — граничне напруження асфальтобетонних шарів від дії температури наведені за аналітичною залежністю в роботах [2], [12];

$M_{Тран} = \int_0^{t_{зч.ш.}} \frac{\sigma_{Тран}(t)^{c(t,T)}}{C_t(t,T)} dt$ — міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від дії транспорту;

$\sigma_{Тран}$ — граничне напруження асфальтобетонних шарів від дії транспорту наведені за аналітичною залежністю в роботах [10] та [12];

$M_{зч.ш.} = \int_0^{t_{зч.ш.}} \frac{\tau_{зч.ш.}(t)^{j(t,T)}}{J_t(t,T)} dt$ — міра пошкодженості асфальтобетонних шарів на зчеплення між шарами;

$\tau_{\text{зип.шар}}$ – граничне дотичне напруження асфальтобетонних шарів на зчеплення між шарами наведена за аналітичною залежністю в роботі [13];

$$M_{\text{Клав.еф.}} = \int_0^{t_2} \frac{\tau_{\text{Клав.еф.}}(t)^{r(t,T)}}{R_t(t,T)} dt - \text{міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від дії}$$

клавішного ефекту;

$\tau_{\text{Клав.еф.}}$ – граничне дотичне напруження асфальтобетонних шарів за від дії клавішного ефекту наведені за аналітичною залежністю в роботі [14] ;

$$M_{\text{Відновлення}} = \int_0^{t_2} \frac{\sigma_{\text{зип}}(t)^{q(t,T)}}{Q_t(t,T)} dt - \text{міра пошкодженості асфальтобетонних шарів від}$$

дії відновлення;

$\sigma_{\text{зип}}$ – напруження асфальтобетонних шарів від дії відновлення наведені за аналітичною залежністю в роботі [11] ;

$K_{\text{Сегрегації}}$ – коефіцієнт сегрегації асфальтобетонних шарів встановлюється експериментально;

$C_{\text{ТР}}$ – допустиме визначення показника тріщиностійкості.

Відомо, що крім дії температурних напружень на міцність і тріщиностійкість асфальтобетонних шарів, як встановлено багатьма дослідниками [2 – 7] та [10 – 12], можуть чинити відчутний вплив такі чинники, як водонасичення і заморожування-відтавання води в порах (вода - і морозостійкість), механічна втома від дії транспортних засобів, особливості і якість технології влаштування шарів. Тому при визначенні допустимого значення показника тріщиностійкості $C_{\text{ТР}}$ передбачено враховувати вплив на весь передбачуваний період експлуатації перерахованих вище факторів на зменшення нормативного показника тріщиностійкості $C_{\text{ТР}}$ (він дорівнює граничному значенню міри пошкодження, $C_{\text{ТР}} = 1$) на підставі відомих результатів дослідження.

Метод розрахунку на накопичення залишкових деформацій нежорсткого дорожнього одягу

Структурно-механічні властивості можна найповніше охарактеризувати наступними, незалежними один від одного константами матеріалу: модуль пружності (умовно миттєвий або початковий модуль пружності, модуль еластичності, рівноважний модуль), в'язкість (найбільша гранична в'язкість, найменша в'язкість, ефективна в'язкість, пластична в'язкість і в'язкість пружної післядії), межа текучості для монолітних шарів, час релаксації напруги.

Моделювання накопичення залишкових деформацій полягає в обробці колії кожного шару конструкції дорожнього одягу [8]. В даному підході кожен шар j ділиться на i підшари і колію доведену на поверхні, обчислюють накопичення залишкової деформації $\omega_{зал}$ у кожному шарі з глибиною відповідно за:

$$\omega_{зал} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \cdot \omega_{зал\ ij}^{шар}(t) \cdot \Delta h_{ij}, \quad (6)$$

де $\omega_{зал\ ij}^{шар}$ та Δh_{ij} середня залишкова деформація і товщина i -го підшару шару j , відповідно, n повне число шарів і j повне число підшарів кожного шару; час

t – функція числа прикладних повторних навантажень.

Для асфальтобетонних шарів дорожнього одягу, модель залежна від температури і числа прикладених циклів навантаження [9], має вигляд:

$$\frac{\omega_{зал}^{a/b}(N)}{\Delta \omega_{\Pi}} = k_1 \cdot T^{k_2} \cdot N^{k_3}, \quad (7)$$

де ω_{Π} – пружна деформація; Δ – приріст протягом одного циклу навантаження; N – кількість прикладених навантажень і T температура випробування [8] та k_1 , k_2 та k_3 – параметри матеріалів, визначаються в лабораторії (базовий склад).

Для незв'язних шарів використовуємо модель постійного накопичення залишкової деформації, найбільш наближену модель – метод накопичення повторних зсувів незв'язних матеріалів від вантажу, що здійснюється в лабораторних умовах:

$$\omega_{зал}^{н/м}(N) = f(N) \cdot g(p_{\max}, q_{\max}), \quad (8)$$

де $f(N)$ – функція, заснована на кривій тестових даних (лабораторні дослідження), і $g(p_{\max}, q_{\max})$ функція, що має відношення до фактичного режиму тиску, від вантажу на поверхні покриття відповідно до критеріїв Мора – Кулона незв'язних матеріалів, і $p_{\max}$ і $q_{\max}$ представляє пікові значення із середнього нормального стану і зміни втоми, підкреслюють протягом циклу вантажу, відповідно.

Для оцінки залишкових деформацій основи дорожньої конструкції скористаємося моделлю [8]:

$$\frac{\omega_{\text{зали}}^{\text{основа}}(N)}{\Delta\omega_{\text{П}}} = \omega_0 \cdot e^{-\left(\frac{\rho}{N}\right)^{\beta}}, \quad (9)$$

де ω_0 , ρ і β матеріал залежний від регресійних параметрів.

Висновок

В останні роки виконано ряд досліджень з метою встановлення найбільш характерних причин передчасного руйнування асфальтобетонних шарів. Було вивчено відповідності конструкцій дорожнього одягу умовам руху транспорту та дії природно – кліматичних факторів, вивчення умов будівництва та експлуатації доріг, якості дорожньо-будівельних матеріалів, що застосовуються, технології будівництва і ремонту доріг, а також інших факторів, що впливають на міцність і довговічність дорожнього одягу.

Таким чином, для здійснення розрахунку асфальтобетонного покриття на тріщиностійкість та колієстійкість можна скористатися граничним станом асфальтобетонних шарів використовуючи критерій Бейлі. Час дії, частота і послідовність навантаження з урахуванням термо-реологічних властивостей асфальтобетону можуть бути враховані при застосуванні кінетичної теорії міцності твердих тіл та теорії термо-в'язко-пружності.

Наведені в роботі методи розрахунку на тріщиностійкість асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу та метод розрахунку на накопичення залишкових деформацій нежорсткого дорожнього одягу необхідно використовувати при проектуванні асфальтобетонних шарів для підвищення довговічності дорожнього одягу.

Література

1. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів// Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2012. – № 43. – С. 201–205.

2. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11. – К., 1996 – 406 с.
3. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок.-Дис. докт. техн. наук. – Киев, 1983. – 552 с.
4. Богуславский А.М. Дорожные асфальтобетонные покрытия. – М.: Высшая школа, 1965. – 115 с.
5. Бируля А.К. Конструирование и расчет нежестких одежд автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1964. – 167 с.
6. Казарновская Э.А. Реологические свойства асфальтобетона при отрицательных температурах // Тр. Союздорнии. – 1969. – Вып.11.
7. Руденский А.В., Руденская И.М. Реологические свойства битумоминеральных материалов. – М.: Высшая школа, 1971. – 131 с.
8. Гаркуша М.В. Прогнозування накопичення залишкових деформацій в конструкції нежорсткого дорожнього одягу //Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів». – Харків, 2012. – С. 88–94.
9. ВБН В-2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
- 10.Онищенко А.М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів: дис. ... канд. тех. наук: 05.22.11. – Київ., 2008. – 229 с.
- 11.Смолянець В.В. Удосконалення проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу в умовах міст. Автореферат Дис. канд. техн. наук: : 05.22.11. – К., 2005. – 18 с.
- 12.Жуков О.О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг. Дис. ... канд. техн. наук: : 05.22.11. – К., 2011. – 177 с.
- 13.М 218-02071168-681:2011 Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість .
- 14.A.N. de Bondt Anti-reflective cracking design of (reinforced) asphaltic overlays. – Netherlands, N., 1999. – 365 p.

УДК 625.7/.8

Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Роман С.В., канд. техн. наук, Петрович І.В.

АРМУВАННЯ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ У м. ДНІПРОПЕТРОВСЬК

Анотація. У статті розглядається актуальність застосування геосинтетичних матеріалів для армування асфальтобетонних покриттів.

Ключові слова: армування, асфальтобетонні покриття, геосинтетичні матеріали.

Аннотация. В статье рассматривается актуальность применения геосинтетических материалов для армирования асфальтобетонных покрытий.

Ключевые слова: армирование, асфальтобетонные покрытия, геосинтетические материалы.

Annotation. The article considers the relevance of applying geosynthetic materials for asphalt reinforcement.

Keywords: reinforcement, asphalt coating, geosynthetic materials.

Постановка проблеми. Серед країн Європи, саме Україна володіє найбільшим транзитним потенціалом через її вигідне географічне положення між Заходом і Сходом, між Балтикою та Чорним морем, тому питання створення сучасної і якісної системи автомобільних доріг повинне стати одним з пріоритетних завдань державної політики.

Мірою відображення прирощування промислових і торгівельних зв'язків між країнами світу та в межах держав є інтенсивність руху автомобільного транспорту на автомобільних дорогах. Щорічно на автошляхах з'являються тисячі нових автомобілів, при цьому змінюється не тільки їх кількість, але й склад автомобільних потоків, вдосконалюються технічні характеристики, збільшується швидкість та вантажопідйомність. Як показує досвід, саме ці фактори найбільше впливають на транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг. До того ж, якщо враховувати, що більшість доріг нашої країни були збудовані в 50-60-х роках минулого століття за старими нормативами, не розрахованими на сучасні навантаження, то зрозумілою стає важливість вирішення питань з утримання та покращення транспортно-експлуатаційного стану характеристик існуючих автомобільних доріг.

Велику увагу слід приділяти саме стану дорожнього одягу, який працює у найбільш несприятливих умовах через одночасний вплив на нього кліматичних та автомобільних навантажень. Його стан характеризується коефіцієнтом фактичної міцності, показником рівності та коефіцієнтом зчіпних якостей, значення яких повинні відповідати нормативним вимогам [1, 2].

У зв'язку з вище перерахованими факторами, виникає потреба в розширенні мережі доріг, будівництві об'їзних доріг вищих категорій з капітальними покриттями та реконструкції існуючих автомагістралей. Нажаль, сучасне фінансування будівництва автомобільних доріг є недостатнім для впровадження в життя всіх нових проектів розвитку автомобільного господарства України. Саме тому зараз є необхідністю пошук нових методів досягнення якісних, довговічних, економічних, що відповідають усім вимогам сучасних норм проектування і експлуатації автомобільних доріг [3].

Одним із таких методів є реконструкція існуючих автомобільних доріг з підвищенням технічної категорії дороги.

Актуальність. Загальна довжина автодоріг в Україні становить близько 170 тис. км, в тому числі, з твердим покриттям – понад 97 %. Найбільшу довжину автодоріг мають Харківська, Вінницька, Дніпропетровська, Полтавська та Житомирська області. Найвищою щільністю автодоріг вирізняються Донецька, Луганська, Дніпропетровська, Львівська, Івано-Франківська, Київська області. Із загальної довжини автодоріг загального користування 5% припадає на міжнародні дороги, що входять до Європейської мережі, 3% - на національні, 4% - на регіональні. Разом довжина доріг

державного значення становить 21,1 тис.км. Саме вони відіграють важливу роль у розвитку в'їзного туризму. Лише 2,5 тис.км доріг державного значення побудовані за параметрами першої категорії, яка передбачає наявність чотирьох і більше смуг руху та пересування на високій швидкості. Найбільше доріг першої категорії в Київській області – 404 км, значно поступаються їй Дніпропетровська – 277 км, Донецька – 246 км, Житомирська – 232 км – області. 10,2% державних доріг мають чорне покриття, а 8,7% —цементобетонне. Довжина територіальних та районних доріг становить, відповідно, 30,6 тис.км (18% довжини усіх автодоріг України) та 86 тис. км (50,6% українських автодоріг). У переважній своїй більшості вони не відповідають сучасним вимогам як по технічному стану, так і по рівню облаштованості. Дорожніми організаціями Укравтодору постійно здійснюються роботи з утримання мережі автомобільних доріг загального користування протяжністю 169,5 тис. км.

На сучасному етапі на території Дніпропетровської області функціонує 9194,2 км автодоріг (табл. 1) і за протяжністю доріг з твердим покриттям (9187,4 км) регіон посідає друге місце в Україні. Доля мережі доріг області у загальній мережі доріг України складає 5,4%; забезпеченість дорогами на 1000 кв. км території по області становить 287,8 км при середньому показнику по Україні 280,5 км. У господарстві 937,4 км доріг державного значення і 8242,1 км місцевого; 277,0 км - I категорії, 690,7 км –II; 1046,5 км – III; 7042,7 км – IV та 123 км V - категорії.

Дорогами I категорії з'єднаний Дніпропетровськ з Дніпродзержинськом, Новомосковськом, Запоріжжям, Харковом. Найбільшу питому вагу в структурі мережі доріг області займають дороги IV категорії з шириною проїзної частини 6 м, що значно обмежує їх пропускну спроможність. У зв'язку з цим у дорожників Дніпропетровщини багато актуальних завдань, які потрібно виконати, аби змінити ситуацію на краще. Нині в області нараховується 417,1 км міжнародних, 444,2 км національних та 78,5 км регіональних автодоріг. Згідно з програмою розвитку регіону, розробленою на 2010-2014 роки, у Дніпропетровській області передбачається щорічно вводити в експлуатацію не менше 1000 км автодоріг.

**Протяжність і характеристика автомобільних
доріг загального користування на території Дніпропетровської області**

Таблиця 1

Найменування областей і значення автомобільних доріг	Всього доріг, км	Всього твердого покриття, км	В тому числі по типах покриття (км)					% твердого покриття	Грунтові, км	Розподілення доріг з твердим покриттям по категоріях (км)					Середньо зважене значення категорій ності	Мости				Труби, шт.
			цементо- бетонні	асфальто- бетонні	чорні шосе	білі щебеневі, гравійні	бруківки			I	II	III	IV	V		Всього мостів		в тому числі дерев'яних		
																шт.	пог.м	шт.	пог.м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Дніпропетровська	9148	9141	179	3691	5118	137	16	99,9	7	277	676	1061	7003	124	3,66	658	20540	0	0	5780
у тому числі:																				
державного значення	940	940	33	885	22	0	0	100,0	0	247	571	117	5	0	1,87	137	6448	0	0	443
із них: міжнародні	417	417	17	378	22	0	0	100,0	0	132	257	28	0	0	1,75	80	3548			173
національні	444	444	16	428	0	0	0	100,0	0	94	262	83	5	0	2,00	45	2234			251
регіональні	79	79	0	79	0	0	0	100,0	0	21	52	6	0	0	1,81	12	666			19
місцевого значення	8208	8201	146	2806	5096	137	16	99,9	7	30	105	944	6998	124	3,86	521	14092	0	0	5337
із них: територіальні	1904	1904	41	1078	782	3	0	100,0	0	30	89	788	997	0	3,45	201	6487			948
обласні	2685	2678	40	895	1728	9	6	99,7	7	0	3	150	2478	47	3,96	190	4376			1650
районні	3619	3619	65	833	2586	125	10	100,0	0	0	13	6	3523	77	4,01	130	3229			2739

Аналіз досліджень. Найбільш поширеним видом дефектів дорожнього одягу є тріщини. Вони зароджуються там, де нормальні розтягуючі напруги в шарі покриття, або дорожньому одязі перевищують межу міцності на розтяг матеріалу відповідного шару. Основна частина тріщин, що виникають по смугах накату від дії навантаження, є результатом втомного руйнування шару дорожнього одягу. Хоча розтягуючі напруги при проході одного автомобіля значно менші критичних, через неоднорідність матеріалу локальні напруги можуть істотно відхилятися від середнього значення. У місцях, де вони перевищують межу пружності плівок бітуму, зв'язки руйнуються. Повторне навантаження призводить до накопичення розірваних зв'язків. В результаті через певне число циклів прикладання навантажень в нижній частині покриття на смугах накату виникають поздовжні волосяні тріщини, які об'єднуються потім у великі, утворюється сітка тріщин. Тріщини ростуть одночасно в двох напрямках: вгору і по довжині. При подальших навантаженнях тріщина проходить крізь покриття і стає видимою на його поверхні. Інша частина зароджується на поверхні покриття або іншого шару і розвивається зверху вниз. Це температурні тріщини і тріщини, які виникають в зоні опуклого вигину покриття під дією коліс автомобілів. Велику частку тріщин на поверхні покриття складають відображені тріщини. Це тріщини старого покриття, на якому покладений новий шар асфальтобетону [4-12].

В умовах континентального клімату першими, як правило, з'являються взимку температурні поперечні тріщини на відстані 40-50 м одна від одної. Вони можуть з'являтися вже в перший рік служби дорожнього одягу або покриття. Поздовжні тріщини, тріщини по смугах накату і тріщини довільного напрямку виникають звичайно через 4 роки і більше на новому покритті. Відбиті тріщини можуть з'явитися через 1-2 роки після улаштування нового шару, а через 5-7 років можуть повністю повторитися на новому покритті.

Рішення про вид ремонту залежить від оцінки експлуатаційного стану покриття. Момент проведення капітального ремонту покриття часто вибирають з урахуванням категорії дороги: для доріг вищої категорії - від 55 до 60, для артеріальних доріг - від 50 до 55, для колекторних - від 45 до 50 і для місцевих - від 40 до 45.

У середньому стан доріг в округах США підтримують на рівні середньої оцінки близько 70, відзначаючи, що якщо не витратити коштів на ремонтні заходи протягом 5 років, то середня оцінка понизиться до 55. Ефективність

ремонту суттєво залежить від моменту його проведення. Так, вважається, що 1 долар, витрачений на ремонт при стані покриття з оцінкою вище 60, економить 4-5 доларів на ремонт при оцінці 30.

В останній час найбільш широке застосування отримали армуючі прошарки у верхніх шарах дорожнього одягу. Метою застосування синтетичних матеріалів в якості армування асфальтобетонних шарів є перерозподіл горизонтальних сил та зниження напружень в асфальтобетонному шарі в результаті не допущення утворення тріщин.

Під час спільної роботи “системи” (асфальтобетонний шар – армуючий синтетичний прошарок – асфальтобетонний шар) в асфальтобетонному шарі нижче нейтральної осі від дії зовнішнього навантаження виникають розтягуючі напруження, які частково передаються і сприймаються армуючим прошарком та намагаються його розтягнути. При цьому в прошарку виникають реактивні зусилля, обумовлені порушенням стану рівноваги в результаті дії навантаження.

Мета досліджень. Підвищення властивостей покриття автомобільних доріг у м. Дніпропетровськ шляхом армування синтетичними матеріалами верхнього шару дорожнього одягу.

Основний матеріал. Для виконання поставленої мети був виконаний аналіз застосування різних типів асфальтобетонних покриттів і армуючих матеріалів. В якості армованого прошарку було прийнято три види геотекстильних матеріалів з різними характеристиками міцності: сітка Armatex RSR і Armatex RSM та геосинтетичний матеріал армування дорожніх покриттів Polifelt PGM – 14. Цими матеріалами було заармовано чотири види асфальтобетону товщина якого, при виконанні розрахунку змінювалась від 4 до 9 см. Аналіз розрахунків дав змогу зайвий раз переконатися в тому, що армування дорожнього одягу істотно підвищує всі технічні параметри автодоріг. Результати виконаних досліджень представлені на рис. 1, 2.

Висновок

Аналізуючи дані розрахунку економічної ефективності, можна стверджувати, що улаштування армованого дорожнього одягу буде приблизно на 40% дешевше, ніж улаштування неармованого шару. Це пояснюється тим, що для виконання умови міцності при використанні армованого шару достатня товщина 4см, а при неармованому посиленні 6...7см. За рахунок цієї різниці отримуємо здешевлення улаштування підсиленого шару армованого

синтетичним матеріалом. При цьому міцнісні і деформаційні характеристики армованого асфальтобетону кращі і довговічність такої автодороги значно підвищується.

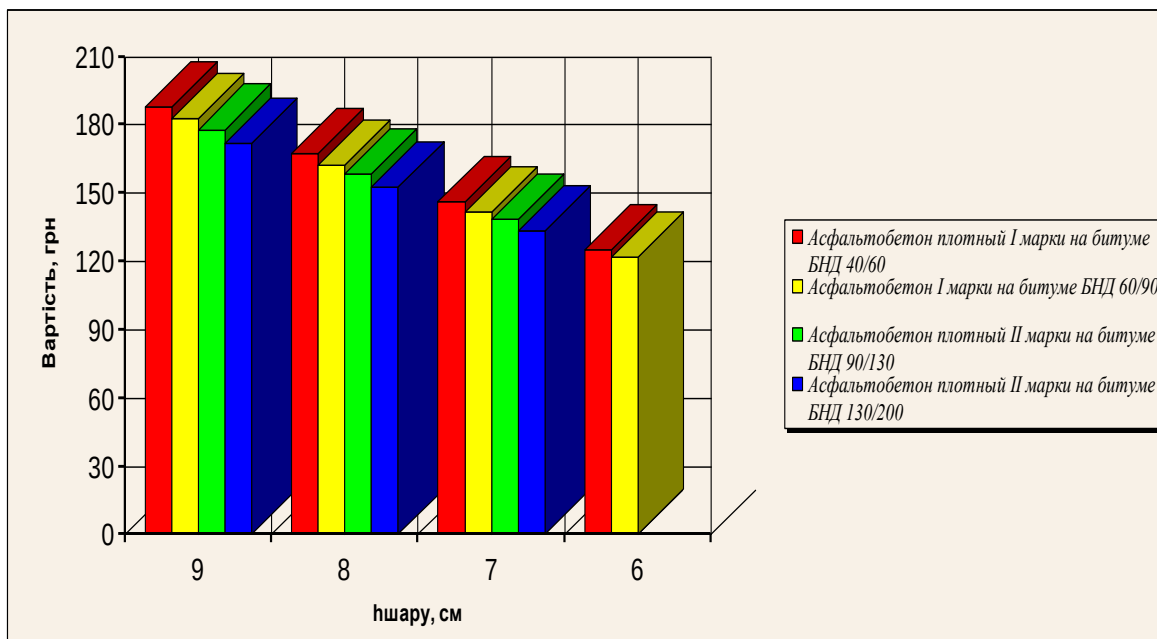


Рисунок 1 – Діаграма вартості матеріалу по розрахунку неармованого асфальтобетону

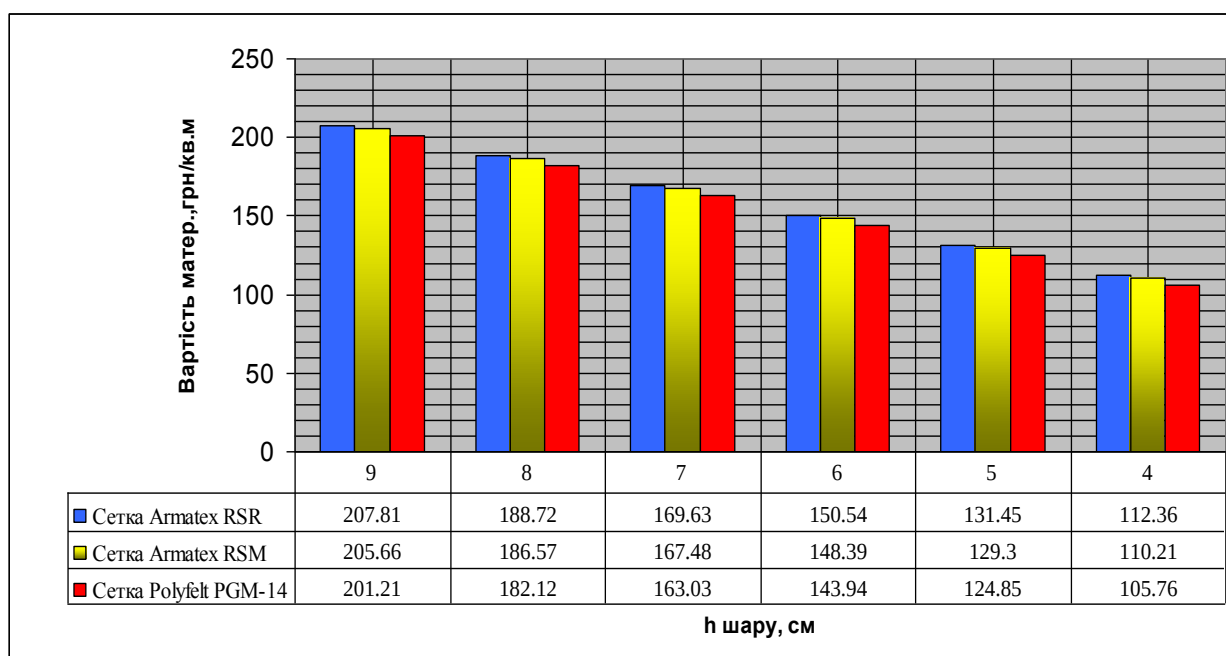


Рисунок 2 – Діаграма вартості матеріалів по розрахунку

Література

1. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. Офіційне видання. – Київ: Укравтодор, 2004. – 180 с.
2. ВБН Г.1-218-182:2006. Класифікація робіт з ремонтів автомобільних доріг загального користування Офіційне видання. – К.: Укравтодор, 2006.
3. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Офіційне видання. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2007.
4. ГСТУ 218.02070915-102-2003. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх покриттів. – К.: 2003. – 42 с.
5. ВБН Г 1-218-050-2001. Організаційно-методичні, економічні і технічні нормативи. Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування . – К.: Укравтодор 2001. – 11 с.
6. ВБН В.3.2-218-177-2004. Експлуатація, ремонт, реставрація та реконструкція. Ямковий ремонт асфальтобетонного покриття автомобільних доріг струменевим методом із застосуванням бітумних емульсій . – Київ: 2004. - 20 с.
7. МР-218-02070915-232-2003. Методика розрахунку нежорстких дорожніх одягів з армуючими прошарками. –К.: 2003.
8. ТУ У В.2.7-24.1-03450778-092-2002. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови. – К.: 2002.
9. ВБН В.2.3-218-010-97. Споруди транспорту. Влаштування шорстких поверхневих обробок покриттів автомобільних доріг. – К.: 1997.
10. ТУ У В.2.7-45.2-00018112-239:2005. Суміші органо-мінеральні холодні та гарячі дорожні. - К.: 2005.
11. ВБН В.2.3-218-178-2004. Споруди транспорту. Влаштування поверхневих обробок покриття автомобільних доріг на основі бітумних емульсій . – К.: 2004. – 25 с.
12. ТУ У 45.2-В.2.7-03450778-204-2002. Суміші асфальтобетонні щебенево-мастичні дорожні та асфальтобетон. Технічні умови . – К.: 2002. – 13 с.

Кіянко І.В., канд. техн. наук, Пархоменко О.Ю.

КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ВЛАШТУВАННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ШАРІВ В АЕРОПОРТУ м. ХАРКОВА НЕРУЙНІВНИМ ЕКСПРЕС-МЕТОДОМ

Анотація. запропоновано неруйнівний експрес-метод контролю якості влаштування цементобетонних шарів аеродромних та дорожніх одягів. Наведено результати проведення робіт щодо контролю якості влаштування обочини руліжної доріжки та перону з монолітного цементного бетону в аеропорту м. Харкова.

Ключові слова: цементний бетон, неруйнівний контроль якості, модуль пружності, хвиля Релея.

Аннотация. предложен неразрушающий экспресс-метод для контроля качества устройства цементобетонных слоев на аэродромных и дорожных одеждах. Приведены результаты проведения работ по контролю качества устройства обочины рулѐжной дорожки и перрона из монолитного цементного бетона в аэропорту г. Харькова.

Ключевые слова: цементный бетон, неразрушающий контроль качества, модуль упругости, волна Релея.

Annotation. nondestructive method for quality control testing of Portland cement concrete road and runway pavements is caused. Theoretical aspects of Phase Vibroacoustic Method using are given. The results about quality control works of building Portland cement concrete elements at the airport in Kharkov are considered.

Keywords: Portland Cement Concrete, Nondestructive Testing, Elasticity Modulus, Rayleigh Wave

У будівельній галузі на всіх етапах зведення конструкцій з цементного бетону перспективним завданням є застосування прогресивних методів контролю якості виконуваних робіт. При цьому, оперативність отримання інформації з високою точністю, відсутність необхідності залучення

спеціалізованих лабораторій, бажання використовувати відносно недороге по вартості обладнання обумовлює актуальність розвитку і впровадження неруйнівних методів контролю якості бетонних виробів.

По даному напрямку наукових досліджень широке застосування знайшла акустична група методів [1]. Розвиток приладового забезпечення, а також впровадження автоматизованих засобів обробки інформації зумовило використання методу спектрального аналізу параметрів розповсюдження поверхневих хвиль (SASW – Spectral Analysis of Surface Waves) [2].

Відповідність фактичних значень модуля пружності щойно укладеного шару з цементного бетону проектним значенням, є необхідною умовою для забезпечення нормативного терміну служби всієї конструкції. На практиці, основним критерієм оцінки фізико-механічних параметрів цементного бетону стала міцність на стиск. Даний параметр контролюється в лабораторних умовах при пробних замісах запроектованої суміші, в основному, на етапі будівництва. Положеннями нормативних документів регламентується співвідношення розрахункового модуля пружності і міцності на стиск в залежності від класу бетону. Цей факт дозволяє використовувати метод спектрального аналізу розповсюдження поверхневих хвиль для контролю якості влаштування цементобетонних шарів неруйнівним способом.

Співробітниками кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету виготовлено обладнання для реєстрації параметрів розповсюдження поверхневих хвиль Релея, яке складається з комплексу сейсмодатчиків, блоку живлення, аналогово-цифрового перетворювача і персонального комп'ютера (рис. 1).



Рисунок 1 – Устаткування для реєстрації та обробки параметрів розповсюдження поверхневих хвиль Релея

Дане обладнання було використано для контролю якості влаштування узбіч стернової доріжки та перону з цементного бетону в аеропорту м. Харкова. За програмою випробувань, в лабораторних умовах для визначення параметрів набору міцності матеріалу, з цементобетонної суміші було виготовлено стандартні зразки-куби з розміром ребра 150 мм. Міцність на стиск зразків визначалася руйнівним способом (рис. 2).



Рисунок 2 – Визначення міцності бетону на стиск руйнівним методом

Перед визначенням міцності на стиск руйнівним методом визначалася швидкість розповсюдження хвилі стиску (Р-хвилі) з використанням ультразвукового дефектоскопа УКБ-1М шляхом наскрізного прозвучування зразків (рис. 3).

Таким чином, після серії випробувань в різні періоди наростання міцності бетону (3, 7, 14, 28 добу), була побудована тарувальна залежність між швидкістю поширення хвилі стиску і міцністю бетону на стиск. Дана крива була використана в подальших польових випробуваннях. Результати проведення лабораторних випробувань по визначенню фізико-механічних

параметрів цементного бетону та цементобетонної суміші наведені в таблиці 1.



Рисунок 3 – Визначення швидкості розповсюдження хвилі стиску на контрольних зразках-кубах з цементного бетону

Таблиця 1 – Результати проведення лабораторних випробувань по визначенню фізико-механічних показників цементного бетону та склад цементобетонної суміші

Показник	Важкий цементний бетон
Цемент (М 500), кг/м ³	400
Пісок, кг/м ³	580
Щебінь фракцій, кг/м ³ :	} 780
5-10 мм	
10-20 мм	
20-40 мм	560
Вода, кг/м ³	150
Добавки, кг/м ³	
FM-21	2,7
Lp-71	0,5
Середня щільність бетону на 28 добу, кг/м ³	2420
Міцність бетону на стиск на 28 добу, МПа	39,4
Швидкість розповсюдження хвилі стиску, м/с	4471

У польових умовах здійснювався контроль якості будівництва узбіччя стернової доріжки та перону в аеропорту м. Харкова з використанням неруйнівного експрес-методу спектрального аналізу параметрів розповсюдження поверхневих хвиль (рис. 4).

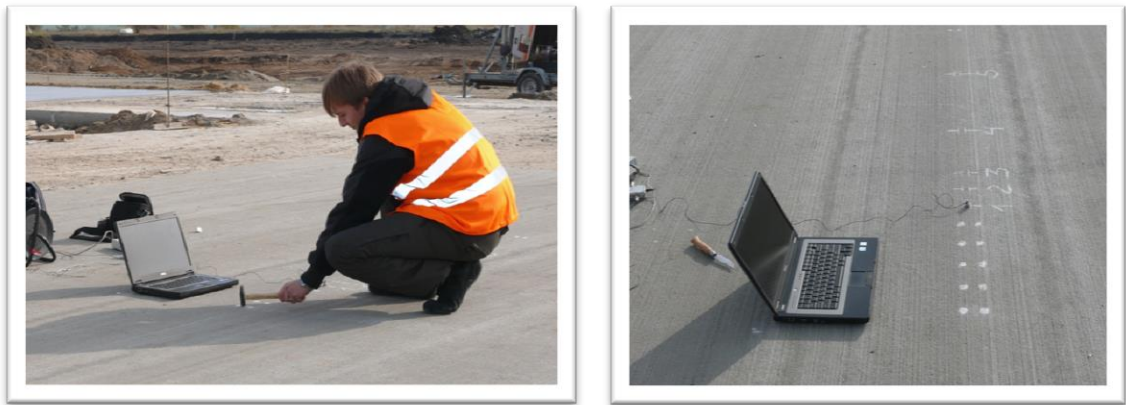


Рисунок 4 – Регистрaция параметров распространения поверхностных волн на обочине рулёжной дорожки

Основне завдання, яке необхідно було вирішити це визначення товщини і міцності матеріалу на стиск цементобетонного шару на підставі отриманих даних за параметрами поширення поверхневих хвиль, використовуючи побудовану раніше в лабораторних умовах тарувального залежність між цими показниками. Дані випробування проводилися спільно із співробітниками лабораторії організації-підрядника публічного акціонерного товариства «СУ № 813». Результати випробувань і розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати визначення фізико-механічних параметрів і товщини цементобетонних шарів методом спектрального аналізу поверхневих хвиль

Показники		Місце проведення випробувань	
		Обочина руліжної доріжки	Перон аеродрому
Середнє значення швидкості розповсюдження хвилі Релея, м/с		2501	2497
Середнє значення швидкості розповсюдження хвилі стиску (для коефіцієнта Пуассона 0,2), м/с		4482	4475
Міцність бетону на стиск на 28 добу, МПа	За даними лабораторії (фактична)	39,4	39,4
	Отримана запропонованим методом	41,2	40,6
	Похибка, %	4,6	3,0
Товщина шару, см	За даними лабораторії (фактична)	40	30
	Отримана запропонованим методом	41,2	30,8
	Похибка, %	3,0	2,7

Аналізуючи отримані дані, можна відзначити, що похибка визначення товщини та фізико-механічних параметрів цементобетонних шарів не перевищила 5%, що є досить високим результатом для використання неруйнівних методів непрямих вимірів. Разом з цим, оперативність проведення випробувань без залучення спеціалізованої лабораторії, можливість використання запропонованого методу з недорогим обладнанням, як в лабораторних, так і в польових умовах на різних етапах будівництва та експлуатації аеродромних і дорожніх одягів робить даний метод перспективним серед існуючих методів неруйнівної діагностики.

Література

1. Кіяшко І.В. Особливості використання віброакустичних методів неруйнівного контролю якості дорожнього одягу жорсткого типу. / І.В. Кіяшко, О.Ю. Пархоменко, Д.М. Новаковський. // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник / Відпов. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2011. – Вип. 40. У 2 ч. Ч. 1. – С. 445- 453.
2. Кунщиков Б.К. Общий Курс геофизических методов разведки/ Кунщиков Б.К., Кунщикова М.К. – М.: Недра, 1976. – 429 с.
3. Филоненко-Бородич М.М. Теория упругости/ Филоненко-Бородич М.М. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 364 с.
4. S. Nazarian, D. Yuan, K. Smith, F. Ansari, C. Gonzalez. Acceptance Criteria of Airfield Concrete Pavement Using Seismic and Maturity Concepts: Appendices. Report IPRF-01-G-002-02-2. Programs Management Office 5420 Old Orchard Road Skokie, IL 60077. May, 2006. – 98 p.
5. ВБН В.2.3-218-008-97. Проектування і будівництво жорстких таз жорсткими прошарками дорожніх одягів. Відомчі будівельні норми України. - К.: 1997р. Видання офіційне.
6. Richart F.E. Jr, Wood R.D., Hall J.R. Jr (1970) “Vibration of soils and foundations”, Prentice-Hall, New Jersey.
7. Foti S. Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves, PhD Dissertation, Politecnico di Torino. – Italy, 2000. – 229 с.

Колісник О. П., Коц І. В., канд. техн. наук

ВИКОРИСТАННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО НАГРІВАННЯ ПРИ ТЕПЛОВОЛОГІСНІЙ ОБРОБЦІ БЕТОННИХ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. У статті розглянуто тепловий баланс при тепловологісній обробці бетонних дорожніх конструкцій в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу. Наведено схему технологічного процесу виготовлення бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання.

Ключові слова: тепловологісна обробка, пропарювальна камера, аеродинамічний нагрівач роторного типу, автомобільна дорога, технологічні режими, бетонні дорожні конструкції.

Аннотация. В статье рассмотрен тепловой баланс при тепловлажностной обработке бетонных дорожных конструкций в пропарочной камере с аэродинамическим нагревателем роторного типа. Приведена схема технологического процесса изготовления бетонных изделий с использованием аэродинамического нагрева.

Ключевые слова: тепловлажностной обработки, пропарочная камера, аэродинамический нагреватель роторного типа, автомобильная дорога, технологические режимы, бетонные дорожные конструкции.

Annotation. The paper considers the heat balance in the treatment of thermal and humidity of concrete road construction in curing chamber with aerodynamic rotor type heater. Shows a diagram of the process of manufacturing concrete products using aerodynamic heating.

Keywords: thermal and humidity treatment, curing chamber, heater aerodynamic rotor type, road, technology modes, concrete road construction.

Вступ

З розвитком технічного прогресу, збільшенням транспортного вантажопотоку і створенням розгалуженої дорожньої мережі, необхідні ще

більш досконалі матеріали і вироби для спорудження доріг. Дорожнє полотно, а також його складові бетонні дорожні конструкції, не повинні руйнуватися протягом тривалого часу і при цьому мати велику пропускну спроможність та витримувати великі навантаження. Максимально наближеними до вимог висунутих до дорожнього полотна є бетонні дорожні плити, які широко застосовуються для будівництва доріг під автотранспорт з великою тоннажністю. Бетонні дорожні плити, камені бетонні і залізобетонні бортові, мостові конструктивні елементи виготовляються з важкого бетону з використанням арматури, як напруженої, так і без напруження. Такі вироби повинні бути достатньо міцними і мати тривалий термін експлуатації, що досягається завдяки тепловологісній обробці, а також використанню спеціальних добавок, які покращують їх фізико-механічні властивості [1]. Комплексне використання на підприємствах нової енергозберігаючої автономної системи та відповідного устаткування для тепловологісної обробки бетонних виробів із аеродинамічним нагрівачем роторного типу дозволяє підвищити якість бетонних дорожніх конструкцій, а також оптимізувати, або повністю відмовитись від малоефективних і високовартісних технологічних мереж, виключити тепловтрати під час транспортування теплоносія, покращити екологію виробництва.

Метою роботи є дослідження процесу тепловологісної обробки бетонних дорожніх конструкцій в пропарювальній камері з використанням аеродинамічного нагрівання на основі порівняння енергетичних балансів існуючого обладнання для теплової та тепловологісної обробки бетонних виробів.

Основна частина

Зміна стану пароповітряного середовища при тепловологісній обробці відбувається при тепловій або механічній чи при сумарній тепловій і механічній дії. Теплова дія відбувається при передачі теплоти пароповітряному середовищу, механічна – при здійсненні даним об'ємом деякої роботи або в наданні йому зовнішньої роботи. Відомо, що кількість теплоти Q , Дж, отриманої від витраченої роботи A , Дж, чисельно дорівнює цій роботі. Згідно першого закону термодинаміки [2] теплота ΔQ передана пароповітряному середовищу витратиметься, частково, на підвищення його температури, тобто на збільшення внутрішньої енергії ΔU пароповітряного середовища та, частково, на здійснення зовнішньої роботи A ,

$$\Delta Q = \Delta U + A. \quad (1)$$

Під час переміщення пароповітряного середовища частина теплоти витрачається на зміну кінетичної енергії, тоді рівняння балансу енергії, згідно [1], матиме наступний вигляд:

$$\Delta Q = \Delta U + A + \Delta(v^2/2), \quad (2)$$

де $\Delta(v^2/2)$ – зміна кінетичної енергії пароповітряного середовища.

Загальна формула теплового балансу при тепловологісній обробці бетону виробів в камерах періодичної дії [1]:

$$Q = K(Q_{\bar{o}} + Q_m + Q_{np}), \quad (3)$$

де Q – витрата теплової енергії, МДж/м³;

K – коефіцієнт, враховуючий втрати теплоти з конденсатом;

$Q_{\bar{o}}$ – витрата теплової енергії на розігрівання бетону виробів з врахуванням тепловиділення, МДж/м³;

Q_m – витрата теплової енергії на розігрівання металу форм, МДж/м³;

Q_{np} – витрата теплової енергії на розігрівання елементів камери, МДж/м³.

$$Q_{np} = (q_1 F_1 + q_2 F_2 + q_3 F_3 + q_4 F_4 + q_5 F_5) / V_{\bar{o}}, \quad (4)$$

де F_1 – площа поверхні зовнішніх стін блоку камери вище нульової відмітки підлоги, м²;

F_2 – площа поверхні зовнішніх стін блоку камери нижче нульової відмітки підлоги, м²;

F_3 – площа поверхні днища, м²;

F_4 – площа поверхні кришки, м²;

F_5 – площа поверхні перегородок, м²;

$V_{\bar{o}}$ – об'єм бетону прогріваних виробів, м³;

$q_1 - q_5$ – питомі втрати теплової енергії 1 м² поверхні окремих огорожень при різних температурах розігрівання виробів, МДж/м².

В загальному випадку повна енергія газу складається з його внутрішньої енергії (ентальпії) та роботи, яка здійснюється зі зміною його об'єму. Оскільки, вільний об'єм камери практично залишається незмінним під час

ТВО, тому зміна повної внутрішньої енергії пароповітряної суміші в камері буде приблизно дорівнювати зміні її ентальпії [3, 4, 6].

Таким чином, баланс енергії для пароповітряного об'єму ямної пропарювальної камери можна записати в наступному вигляді:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = Q^{III} + Q^{PK} + Q^{3T} - Q^{y,1} - Q^{y,2} - Q_{zag}^{\Phi} - Q_{zag}^B - Q_{zag}^K - Q_{zag}^{KL}, \tau > 0 \quad (5)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

де h_0^y , M_0^y – початкове значення, відповідно, ентальпії та маси пароповітряної суміші у вільному об'ємі установки;

$Q^{III} = G^{III} h^{III}$ – тепло, яке надходить в камеру за одиницю часу з технологічною парою через паропровід, Дж/с;

$Q^{PK} = G^{PK} h^{\Pi}$, $Q^{3T} = G^{3T} h^{\Pi}$ – тепло, яке надходить за одиницю часу з повітрям відповідно з припливного каналу і зворотної труби, Дж/с;

$Q^{y,1} = G^{y,1} h^y$, $Q^{y,2} = G^{y,2} h^y$ – тепло, яке втрачається за одиницю часу з потоками пароповітряної суміші, відповідно, з припливного каналу і зворотної труби, Дж/с;

$Q_{zag}^{\Phi} = S^{\Phi} q_{zag}^{\Phi}$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу формам виробів, Дж/кг;

$Q_{zag}^B = Q_{zag}^{B\phi} + Q_{zag}^{Bn}$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу верхній і нижній поверхні виробу ($Q_{zag}^{B\phi} = S^{B\phi} q_{zag}^{B\phi}$, $Q_{zag}^{Bn} = S^{Bn} q_{zag}^{Bn}$), Дж/с;

$Q_{zag}^K = S^K q_{zag}^K$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу корпусу камери, Дж/кг;

$Q_{zag}^{KL} = G^{B\phi} h^{B\phi} + G^{Bn} h^{Bn} + G^{\Phi} h^{\Phi} + G^K h^K$ – загальна кількість тепла, яка передається за одиницю часу конденсату, Дж/кг;

h^{III} , h^{Π} , $h^{B\phi}$, h^{Bn} , h^{Φ} , h^K – питома ентальпія, відповідно, технологічної пари, повітря у виробничому приміщенні, а також конденсату який утворюється відповідно на верхній і нижній поверхні виробів, формах та корпусі камери, Дж/кг;

G^{III} – витрата технологічної пари, кг/с;

G^{PK} , G^{3T} – маса пари, яка надходить за одиницю часу, відповідно, з припливного каналу і зворотної труби, кг/с;

$G^{y,1}, G^{y,2}$ – кількість пари, яка втрачається з установки за одиницю часу, відповідно, через витяжний канал і зворотну трубу, кг/с;

$G^{B\phi}, G^{Bн}, G^{\phi}, G^K$ – маса пари, яка конденсується за одиницю часу, відповідно, на верхній і нижній поверхні виробів, формах і корпусі камери, кг/с;

$S^{\phi}, S^{B\phi}, S^{Bн}, S^K$ – площа теплосприймальної поверхні, відповідно, форм, верхньої і нижньої частини виробів, камери, м².

Після перетворень та з врахуванням вище викладеного рівняння (5) матиме вигляд:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = G^{III} h^{III} + (G^{PK} + G^{3T}) h^{II} - (G^{y,1} + G^{y,2}) h^y + (G^{B\phi} - G^{Bн}) h^{B\phi} - (G^{B\phi} h^{B\phi} + G^{Bн} h^{Bн} + G^{\phi} h^{\phi} + G^K h^K) - Q_{заг}^{\phi} - Q_{заг}^K, \tau > 0 \quad (6)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

Баланс енергії для пароповітряного об'єму пакетної установки можна записати в наступному вигляді [3]:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = Q^{III} - Q_{заг}^{\phi} - Q_{заг}^B - Q_{заг}^K - Q_{заг}^{KD}, \tau > 0 \quad (7)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

Після перетворень рівняння (7) матиме вигляд:

$$\frac{d(h^y M^y)}{d\tau} = G^{III} h^{III} + (G^{B\phi} - G^{Bн}) h^{B\phi} - (G^{B\phi} h^{B\phi} + G^{Bн} h^{Bн} + G^{\phi} h^{\phi} + G^K h^K) - Q_{заг}^{\phi} - Q_{заг}^K, \tau > 0 \quad (8)$$

$$h^y M^y = h_0^y M_0^y, \tau = 0$$

Для теплової обробки бетонних виробів значення корисної енергії визначається величиною енергії витраченої на розігрівання виробів в середині камери [3]:

$$Q_{кор} = m c (t_k - t_n) \quad (9)$$

де m – маса бетонних виробів, кг;

c – теплоємність бетону, Дж/кг °С;

t_k – температура теплової обробки бетону, °C;

t_n – початкова температура бетону, °C.

Проаналізувавши залежності (1 – 9) запишемо рівняння теплового балансу при тепловологісній обробці бетонних дорожніх конструкцій в пропарювальній камері з аеродинамічним нагріванням [11]:

$$Q_{АНРТ} + Q_B = Q_{\sigma} + Q_m + Q_{np} \quad (10)$$

де $Q_{АНРТ}$ – генерація теплової енергії аеродинамічним нагрівачем роторного типу, МДж/м³;

Q_B – кількість теплової енергії, що надходить разом з розпиленою водою над аеродинамічним нагрівачем роторного типу, МДж/м³;

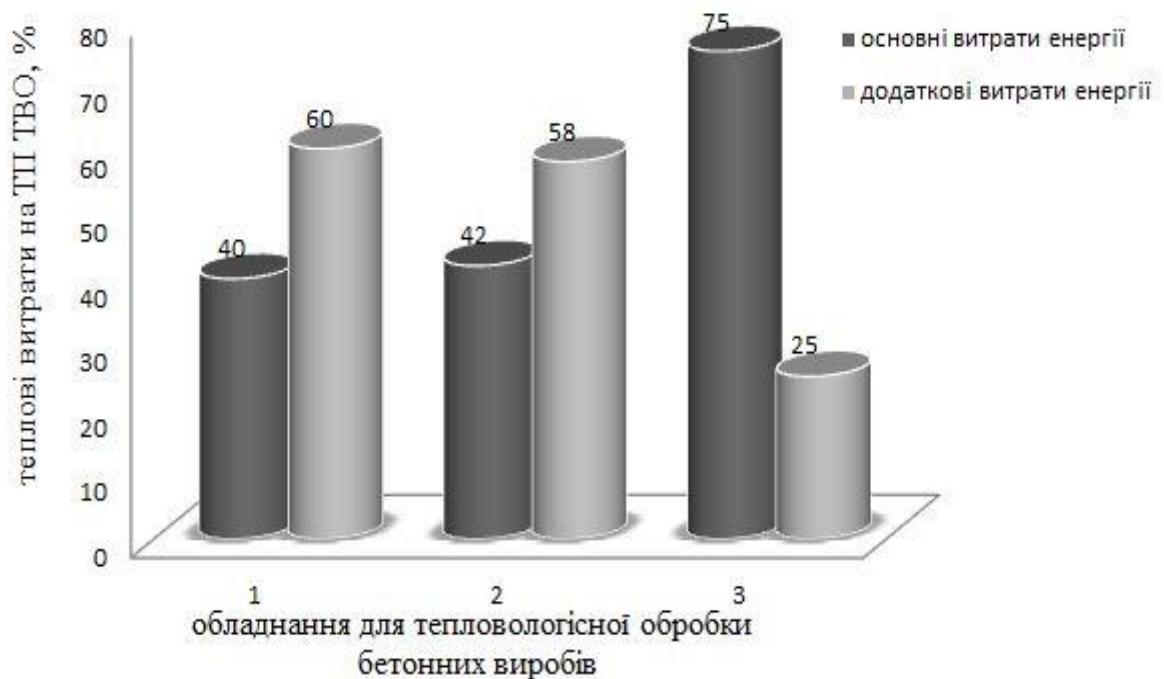
Величина загальних теплових витрат на реалізацію технологічного процесу тепловологісної обробки бетонних дорожніх конструкцій залежить від [8, 9]:

- основних витрат – кількості електроенергії необхідної для виготовлення 1 м³ бетону, не більше 80 кВт-год/м³;
- додаткових витрат:
- теплових витрат через огорожуючі конструкції пропарювальної камери, залежно від конструктивного виконання пропарювальної камери приймаємо близько 10%;
- механічні втрати – втрати в колесі ротора, приймаємо 5%;
- електричні втрати – втрати в двигуні, приймаємо 10%.

В результаті розрахунку витрат теплової енергії за наведеними тепловими балансами енергії для пароповітряного середовища залежності 5, 7, 10 отримано значення основних та додаткових витрат енергії рис. 1.

Переваги способу тепловологісної обробки бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагрівання у порівнянні з аналогами полягають в:

- скороченні непродуктивних витрат тепла в навколишнє середовище;
- значному економічному ефекті від економії енергоресурсів за рахунок розміщення джерела утворення пароповітряного середовища безпосередньо в пропарювальній камері.



1 – ямна пропарювальна камера, 2 – пакетна установка, 3 – пропарювальна камера з використанням аеродинамічного нагрівання

Рисунок 1 – Витрата теплової енергії на технологічний процес тепловологісної обробки бетонних виробів

Технологічний процес виробництва бетонних виробів з використанням аеродинамічного нагріву (рис. 2) здійснюється в наступній послідовності [8 – 10]:

1. Підготовка форм:
 - очищення металу форм від бруду;
 - змащення спеціальним маслом для полегшення розбирання форми після виготовлення виробу;
 - протягування дроту через форму для фіксації внутрішнього каркасу виробу;
 - збирання форм.
2. Приготування бетонної суміші:
 - доставка складових бетонної суміші (щебінь, пісок, цемент, вода);
 - підготовка складових бетонної суміші;
 - дозування матеріалів за допомогою вагових дозаторів;
 - змішування складових бетонної суміші.
3. Укладання бетонної суміші у форму.
4. Віброуцільнення бетонної суміші.

5. Встановлення форми в пропарювальну камеру.
6. Ввімкнення пропарювальної камери. Швидкість нагрівання 10-20°C/год до температури 80-85°C, тривалість 3 год; витримка при температурі 80-85°C, тривалість 6 год.; швидкість охолодження 10-20°C/год до температури 40°C, тривалість 3 год. Загальна тривалість процесу 12 год
7. Вимкнення пропарювальної камери та розпалублення виробів, перед розпалубленням різниця температури виробів і зовнішнього середовища не повинна перевищувати 20-40 °C.
8. Складування готових виробів.

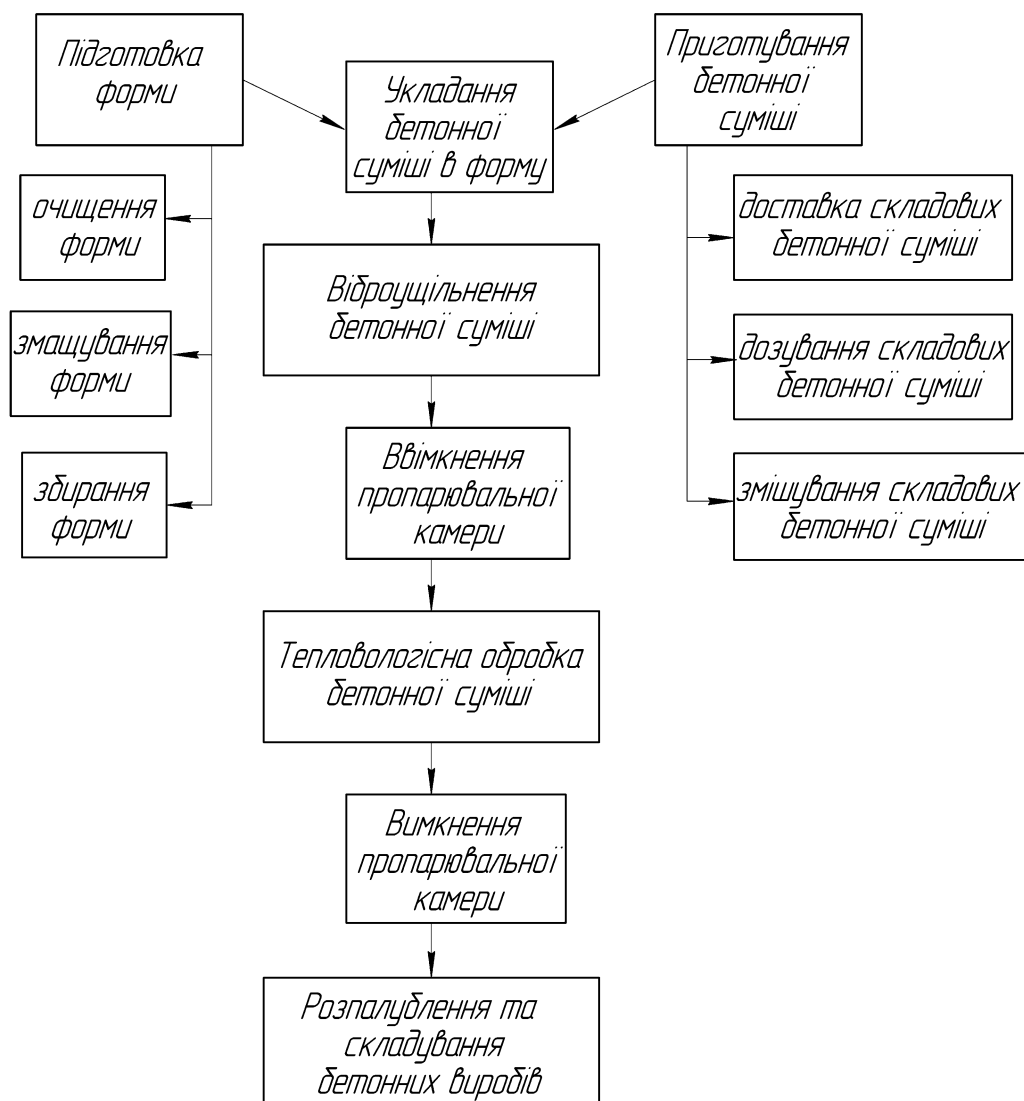


Рисунок 2 – Технологічна схема виготовлення бетонних виробів в пропарювальній камері з використанням аеродинамічного нагрівання

Висновок

В ході даної роботи було виконано порівняння енергетичних балансів пароповітряного середовища існуючого обладнання для виготовлення бетонних виробів і пропарювальної камери з використанням аеродинамічного нагрівання. Виконано порівняння основних та додаткових теплових витрат для досліджуваного обладнання для тепловологісної обробки. Складено баланс енергії пароповітряної суміші в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу, на підставі розв'язання систем рівнянь якого можливо встановити раціональні параметри і режими технологічного процесу, які забезпечуватимуть підтримання температури та вологості пароповітряної суміші, відповідно до технологічного регламенту, на кожному етапі технологічного процесу тепловологісної обробки бетонних виробів в пропарювальній камері з аеродинамічним нагрівачем роторного типу. Запропоновано технологічну схему виготовлення бетонних виробів в пропарювальній камері з використанням аеродинамічного нагрівання

Література

1. ДСТУ Б В.2.7.-237:2010. Камені бетонні та залізобетонні бортові. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
2. Пособие по тепловой обработке сборных железобетонных конструкций и изделий [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.complexdoc.ru/>
3. Перегудов В. В. Тепловые процессы и установки в технологии строительных изделий и деталей / М. И. Роговой, В. В. Перегудов // М. : Стройиздат, 1983. – 416 с.
4. Подгорнов Н. И. Термообработка бетона с использованием солнечной энергии: Научное издание. / Н. И. Подгорнов – М.: Издательство АСВ, 2010. – 328 с.
5. Романюк В. Н. Основы эффективного энергоиспользования на производственных предприятиях дорожной отрасли / В. Н. Романюк, В. Н. Радкевич, Я. Н. Ковалев. – Минск, 2001. – 287 с.
6. Малинина Л. А. Тепловлажностная обработка бетона / Л. А. Малинина – М.: Стройиздат, 1977. – 159 с.
7. Электронная библиотека: [Общие вопросы бетона](http://www.hydrobeton.ru) [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://www.hydrobeton.ru>.
8. Посібник до ДБН А.3.1-7-96. Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – К. : Держкоммістобудування України. 1998. – 141 с.
9. ДБН А.3.1-7-96 Виробництво бетонних та залізобетонних виробів. – Київ: Держкоммістобудування України, 1997. – 54 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-69-98. Будівельні матеріали. Добавки для бетонів. Методи визначення ефективності. – Київ: Укрархбудінформ. 1998 – 39 с.
11. Патент 40453. МПК C04B 40/00 Пропарювальна камера/ О. П. Колісник, І. В. Коц. – № u200812905; Заявлено 05.11.2008; Опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.

Смирнова Н.В., канд. тех. наук., Кияшко Д.И.

ВАРИАНТНОЕ ВЫРАВНИВАНИЕ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ С РАЧЕТОМ ОБЪЕМОВ ПО КАЖДОМУ ВАРИАНТУ В ПРОЕКТАХ РЕМОНТА И РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Анотація. Розроблено методику варіантного об'ємного багат шарового вирівнювання проїзної частини з розрахунком об'ємів по кожному варіанту в проектах ремонту і реконструкції автомобільних доріг. Методика забезпечує раціональність конструкції вирівнювання для аналізу варіантів проектних рішень.

Ключові слова: варіантне проектування, рівність проїзної частини, цифрова модель проїзної частини, конструювання варіантів шарів вирівнювання.

Аннотация. Разработана методика вариантного объемного многослойного выравнивания проезжей части с расчетом объемов по каждому варианту в проектах ремонта и реконструкции автомобильных дорог. Методика обеспечивает рациональность конструкции выравнивания для анализа вариантов проектных решений.

Ключевые слова: вариантное проектирование, ровность проезжей части, цифровая модель проезжей части, конструирование вариантов слоев выравнивания.

Annotation. The technique of alternative volume multilayered alignment of the carriageway with calculation of volumes for each option in projects of repair and reconstruction of highways is developed. The technique provides rationality of a design of alignment for the analysis of versions of design decisions.

Key words: alternative design, flatness of the carriageway, digital model of the carriageway, designing of options of layers of alignment.

Введение

Развитие автомобильных дорог Украины в настоящее время и на несколько десятилетий вперед будет идти по следующим стадиям по росту объемов работ: капитальный ремонт, реконструкция, новое строительство. Эта последовательность определяет направление исследований при поиске оптимальных проектных решений при реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог. Качество проектов ремонта и реконструкции на многие годы определяет основные транспортно - эксплуатационные характеристики автомобильной дороги. Одна из трудоемких и основных задач в вариантах проектов капитального ремонта и реконструкции - это выравнивание поверхности проезжей части с исправлением деформаций поперечного и продольного профиля. Актуальность задачи обусловлена возрастающими требованиями к транспортно - эксплуатационным качествам дорог. Для разработки вариантов проектов ремонта необходимо выполнить анализ неровностей дорожного покрытия. Такого рода анализ требует использования современных цифровых технологий обработки данных.

Основная часть

Задачами вариантного проектирования в области автомобильных дорог и оптимизацией проектных решений по отдельным критериям в свое время занимались такие исследователи, как Фёдоров В.И., Трескинский, Филиппов В.В., Величко Г.В., Бойков В.Н., Кондрашева Е.В., Кац А.В., Научные основы эксплуатации дорог заложены в трудах таких ученых как Г.Д. Дубелир и А.К.Бируля. Развитию этих основ посвящены работы профессоров Бабкова В.Ф., Сиденко В.М., Васильева Н.А., Некрасова В.К., Сильянова В.В., Калужского Я.А. и др. Особенностью указанных работ является использование логической структурной схемы обоснования и накопления данных об оценке транспортно-эксплуатационных качеств дорог. Исследованию процессов развития разрушений дорожных покрытий и контроля ровности посвящены работы А.К. Бируля, Н.Н. Иванова, А.П. Васильева, В.М. Сиденко, С.И. Миховича, М.С. Стороженко, В.Я. Савенко, Е.Д. Прусенко, С.С. Кизима и других исследователей. В исследованиях по выравниванию поверхности проезжей части при ремонте или реконструкции дорог

недостаточно изучены вопросы вариантного проектирования объемного многослойного выравнивания проезжей части.

Цель исследования заключается в разработке методики вариантного объемного многослойного выравнивания проезжей части с расчетом объемов по каждому варианту в проектах ремонта и реконструкции дорог. Методика обеспечивает удовлетворительные показатели значений ровности и плавности движения, а также позволяет варьировать вариантами конструкций выравнивания.

Начальной информацией для проектирования выравнивания проезжей части в проектах ремонта и реконструкции является цифровая модель поверхности проезжей части, построенная по координатам точек x , y , z .

Методика проектирования вариантов многослойного объемного выравнивания проезжей части с контролем начальной ровности состоит из следующих основных частей:

- построение цифровой модели проезжей части и трассирование по колеям,
- анализ неровностей существующей поверхности проезжей части по показателям толчкомера, IRI и плавности движения,
- проектирование вариантов поперечного и продольного выравнивания;
- проектирование продольного профиля;
- создание цифровой модели вариантов поверхности проектного покрытия;
- конструирование вариантов слоев выравнивания на цифровой модели с определением границ слоев дорожной одежды, выравниванием существующего покрытия, и расчетом объемов слоев выравнивания по каждому варианту,
- анализ ровности проектной поверхности каждого варианта конструкции проезжей части по показателям толчкомера и IRI и плавности движения.

Для минимизации расхода материалов на выравнивание проезжей части, необходима детальная геодезическая съемка ремонтируемого покрытия. Существующая нормативная методика исследований и съемки (через 50 м) покрытие [3, 4] и методика проектирования капитального ремонта [1, 6] не обеспечивают достаточной точности модели покрытия. По рекомендациям Харьковгипродора и Промтранспроекта для расчета деформаций покрытия необходима съемка с шагом не менее 10-20 м с 5-7 точками на каждом поперечном профиле: на оси дороги, на кромках дорожной одежды, на

расстоянии 1 м от кромки, на колеях. При съемке предпочтение следует отдавать электронным тахеометрам. Точность современных геодезических приборов обеспечивает построение цифровой модели с достоверностью 95 % при средневесовых погрешностях по высоте 0,003 м и определения разности уклонов, необходимых для моделирования колебаний автомобиля, со средневзвешенной погрешностью 0,3 ‰.

Цифровая модель поверхности проезжей части строится в системе автоматизированного проектирования дорог CREDO по данным геодезических измерений. Для построения цифровой модели поверхности покрытия данные съемки представляют в системе CREDO в виде файлов, которые содержат координаты и отметки точек по всем поперечникам и точки, связанные между собой кодами (ось, кромки, бровки и т.п.). Модель поверхности считают построенной, если она триангулирована, т.е. описанная упорядоченным множеством треугольных граней.

После окончания триангуляции, для анализа деформаций покрытия и проектирования вариантов объемного выравнивания проезжей части, необходимо отображать поверхность горизонталями с достаточно мелким шагом высот (от 1 до 5 см).

Методика анализа неровностей существующей поверхности включает следующие основные операции: построение на модели поверхности покрытия трасс по колеям движения. Для анализа неровности проезжей части строят в системе CREDO трассы по левой и по правой пути проезда автомобиля в прямом и обратном направлениях.

Следующим шагом является проектирование вариантов объемного выравнивания проезжей части. При многослойном выравнивании из-за существенных неровностей поперечного и продольного профиля в проекте ремонта дороги предусматривают в конструкции дорожной одежды не только слои усиления, но и выравнивающие слои для обеспечения проектных геометрических форм проезжей части и для повышения транспортно - эксплуатационных качеств дороги.

Поскольку на ремонтируемой поверхности проезжей части присутствуют деформации поперечного профиля не только ближе к кромкам, но и по оси, то при проектировании ремонта необходимо выполнить варианты и поперечного, и продольного выравнивания. Поскольку прочность существующей дорожной одежды и формы поперечного профиля меняются по

длине дороги, то в большинстве случаев толщина выравнивающего слоя на каждом поперечном профиле будет различна. Проектные отметки по минимуму усиления на каждом поперечном профиле служат опорными точками для проектирования продольного профиля. Проведенная через эти точки линия профиля ломаная и требует продольного выравнивания.

Проектирование вариантов объемного выравнивания (поперечного и продольного) сводится к следующим операциям.

1. Определение пикетов начала и конца участка принятого варианта выравнивания (без или с фрезерованием).

2. Известными методами конструируют усиление и определяют минимальную толщину слоя усиления над выровненной поверхностью.

3. На каждом снятом поперечнике выполняют поперечное выравнивание с исправлением деформации поперечного профиля. Для этого на существующий поперечник накладывается проектный поперечный профиль с заданными значениями ширины полос движения и их поперечными уклонами. По высоте проектный поперечник смещается так, чтобы расстояние по вертикали от любой точки существующего поперечника до проектной не превышала заданной толщины усиления.

4. На каждом поперечнике вычисляются отметки оси дороги, условно названные «коричневыми», определяющие образцовую конфигурацию продольного профиля, которую следует выровнять при помощи операций продольного выравнивания.

5. Выполняют продольное выравнивание так, чтобы ни одна точка проектного «красного профиля» не была ниже «коричневого». Проектирование выполняется с использованием программ CREDO. При этом параметры проектной линии профиля должны соответствовать нормативным требованиям по продольным уклонам, радиусам выпуклых и вогнутых кривых, расстояниям видимости поверхности проезжей части и встречного автомобиля в продольном профиле.

6. Проектирование вариантов объемного выравнивания сводится к накладке проектного поперечного профиля на запроектированный продольный профиль с построением тела объема выравнивания.

7. После построения тела объема выравнивания выполняют конструирование многослойного выравнивания с расчетом объемов по

варианту используемого материала слоев и построением границ укладки каждого слоя.

Конструирование вариантов многослойного выравнивания заключается в последовательном размещении новых слоев дорожной одежды. При этом выполняется расчет объема каждого из вариантов выравнивающего слоя и находятся границы этих слоев для обоснования варианта соответствующей технологии и производства работ.

Дорожную одежду на участках выравнивания конструируют, руководствуясь требованиями по прочности [7], восстановлению проектных геометрических форм и ресурсосбережения [5]. В соответствии с этими требованиями поперечный разрез любого варианта конструкции ремонтируемой дорожной одежды в общем случае включает (сверху вниз) следующие слои (пример), см. рис. 1.



Рисунок 1 – Разрез поверхности на ПК 27+00 с границами выравнивающих слоев

– слой 1 - минимальный слой усиления одежды $h_{аб}$ (асфальтобетон);- слой 2 - выравнивающий слой из материала, обработанного вяжущим, толщиной $h_{щ}$ (черный щебень от 0 до 6 см)

– слой 3 - выравнивающий слой толщиной $h_{щ}$ (щебень) от нижней поверхности слоя 2 к поверхности существующего покрытия; слой 3 устраивается, если расстояние от нового покрытия до поверхности существующего покрытия превышает 10 см.

Необходимую прочность ремонтируемой одежды обеспечивает слой 1, а слои 2 и 3 устраивают только для выравнивания и восстановления контура поперечного профиля.

Следовательно, на некоторых поперечных профилях слои 2 и 3 могут отсутствовать и поэтому, во-первых, расчеты объемов работ по этим материалам будут осложнены и во-вторых, конфигурация границ слоев 2 и 3 может быть различной. Решение этих двух задач и составляет сущность вариантного конструирования многослойного выравнивания. Границы укладки каждого слоя и его отметки устанавливают, снижая проектную поверхность покрытия на толщину каждого слоя и находят линии пересечения этих пониженных поверхностей с поверхностью существующего покрытия.

Для вынесения на чертеж границ распределения любого из вариантов слоев строится по структурным линиям контур ситуации и заполняется выбранным цветом или условным знаком. Для удобства строительных разбивочных чертежей линии спрямляют таким образом, чтобы был обеспечен необходимый минимум нужных размеров при вынесении в натуру границ раздела слоев на поверхности существующего покрытия (рис.2).

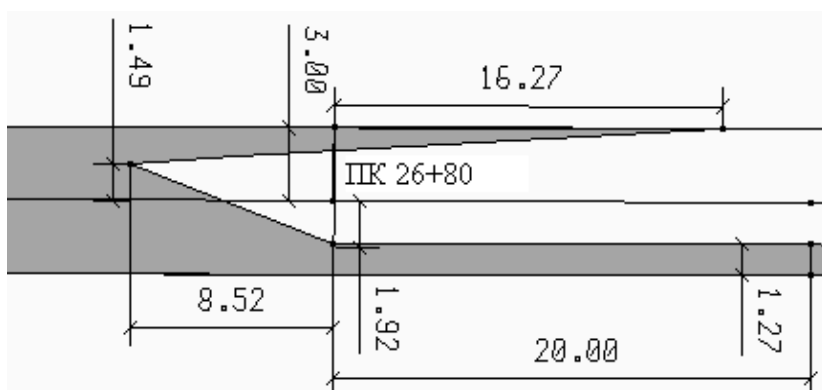


Рисунок 2 – Рабочая схема границ распределения щебня на ПК 26+80

Объем каждого из вариантов выравнивающих слоев определяется по контуру, ограниченном кромками проезжей части между двумя слоями: слоем с существующей поверхностью и по очереди с каждым из следующих слоев, объем которых нужно определить. В системе CREDO объем в контуре между двумя поверхностями вычисляется как сумма объемов призм с вертикальными гранями в этом контуре. Основаниями призм служат треугольники, полученные триангуляцией (система треугольников, которыми описывается в CREDO цифровая модель поверхности).

Общий объем выравнивания по каждому варианту конструкции выравнивания определяется как результат вычисления объема между

поверхностью существующего покрытия и слоем, сниженным на величину усиления.

Выводы

Исследование вариантов проектов ремонта показали, что экономия средств на устройстве вариантов выравнивающих слоев достигается выбором соответствующего материала слоя выравнивания, наращиванием дорожной одежды, и частичной разборкой (фрезерованием) отдельных участков покрытия, также проецируется на цифровых моделях.

Методика вариантного проектирования объемного многослойного выравнивания проезжей части в проектах ремонта и реконструкции автомобильных дорог успешно применяется в Украине, России, Беларуси, странах Прибалтики в проектных организациях.

Опыт использования в практике Укргипродора методики анализа неровностей дорожного покрытия средствами CREDO показал обоснованность методологии этого современного программного продукта и его эффективность при решении актуальных задач капитального ремонта автомобильных дорог и обеспечение повышения ровности проезжей части автомобильных дорог и уменьшения объемов по ее выравниванию.

Литература

1. Величко Г.В., Филиппов В.В. Забезпечення рівності автомобільних доріг // Автошляховик України. – 2003. – №2. – С. 40–43.
2. Sayers M.W., Karamihas S.M. The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. – 1998. – 100 p.
3. ДБН В.2.3-4-2000. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К.: Держбуд України, 2000. – 117 с.
4. ДСТУ Б В.2.3-3-2000 Державний стандарт України. Споруди транспорту. Дороги автомобільні та аеродроми. Методи вимірювання нерівностей основ і покриттів. – К.: Держбуд України, 2000. – 12 с.
5. Савенко В.Я., Дмитрієв М.М. Ліпський Г.Є., Петрович В.В. Прогресивні технології і енергозбереження в дорожньому будівництві // Вісник ТАУ та УТУ. №5. – К. : 2001. – С. 70–81.

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Павлюк В.В.,
Павлюк В.В., Лебедєв О.С., Гаврищук В.В., Іващенко А.П.,
Шур'яков М.В., Шуляк І.С.

РЕЗУЛЬТАТИ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ СТАНЦІЇ ДЛЯ ШТАМПОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ І ЇХ ШАРІВ

Анотація. Висвітлено результати приймальних випробувань станції для штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів, яка реалізує статичний метод випробувань. Описано конструкція станції, а також наведено методику перевірки точності визначення зусилля і переміщень, що створюються станцією, в лабораторних і польових умовах.

Ключові слова: автомобільна дорога, станція для штампових випробувань, статичні штампові випробування, дорожня конструкція.

Аннотация. Освещены результаты приемочных испытаний станции для штамповых испытаний дорожных конструкций и их слоев, которая реализует статический метод испытаний. Описана конструкция станции, а также приведена методика проверки точности определения усилия и перемещений, создаваемых станцией, в лабораторных и полевых условиях.

Ключевые слова: автомобильная дорога, станция для штамповых испытаний, статические штамповые испытания, дорожная конструкция.

Annotation. This article deals with the results of the acceptance tests of the road constructions and their layers' plate-bearing tests, which implement the static testing method. The structure of the station is described and the test procedure of the effort and shift evaluation precision, created by the station, in laboratory testing and in-situ testing is given in this article.

Keywords: road, station for plate-bearing tests, the static plate-bearing tests, road construction.

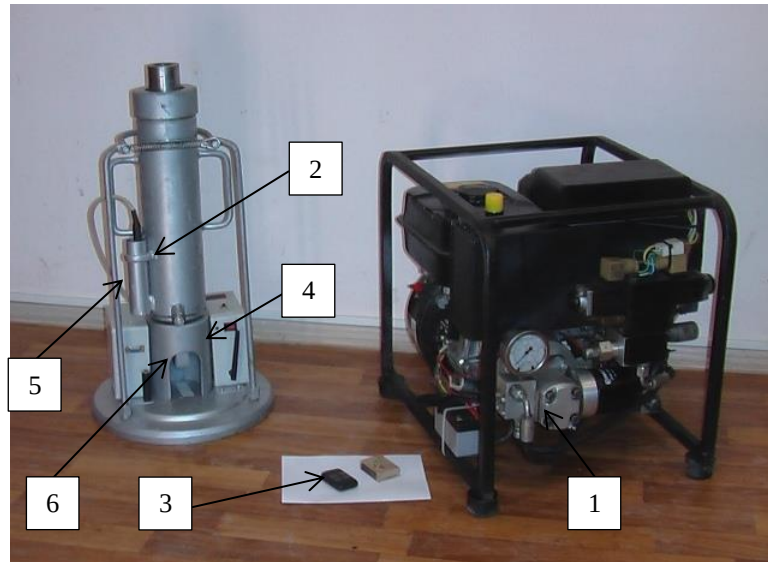
Використання для оцінки щільності ґрунтів земляного полотна та шарів дорожніх конструкцій коефіцієнта ущільнення передбачено діючим нормативним документом [1]. Коефіцієнт ущільнення показує, наскільки щільність матеріалу шару близька до максимальної, але у багатьох випадках не дає об'єктивної оцінки несучої здатності шару і його придатності до вкладання верхніх шарів. Ущільнення щебеневих основ і покриттів контролюється лише шляхом візуального спостереження за проходами котка з гладкими вальцями масою 8-13 тон [1]. Перед переднім вальцем не повинна утворюватися хвиля, а за заднім – не повинно залишатися сліду. Контрольна щебінка, кинута під валець котка, повинна бути роздавлена. Такий спосіб теж не є об'єктивним, морально застарів та не має кількісної визначеності.

Одним з найбільш об'єктивних методів оцінки стану дорожніх конструкцій та їх шарів є штампові випробування, при яких навантаження передається через жорсткий штамп, і згідно з діючими нормативними документами [2,3] вимірюється пружній прогин після зняття навантаження. За визначеним пружнім прогином знаходиться загальний модуль пружності конструкції, що і є показником деформативності шару чи дорожнього одягу в цілому. Недоліки відомих засобів, які реалізують цей метод, наведені в роботах [4,5]. В ряді випадків була присутня похибка вимірювань до 30 %.

Враховуючи вищезгадані обставини та з метою підвищення якості будівництва дорожніх одягів, фахівцями Національного транспортного університету на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор» був розроблений експериментальний зразок станції для статичних штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів, яка реалізує статичний метод випробувань з мінімальними затратами часу і фізичних зусиль [6].

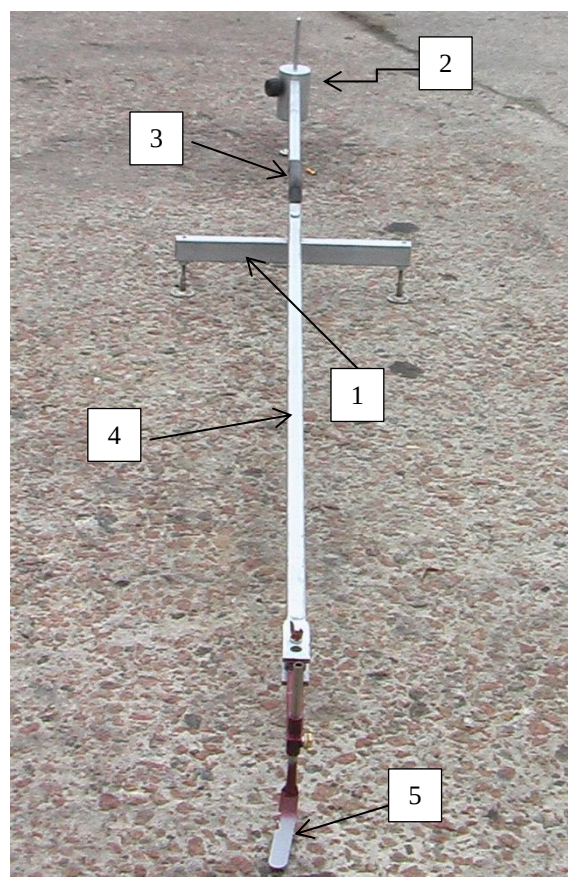
До складу станції входять (рис. 1):

- насосна станція;
- штамп з гідроциліндром, лазерним датчиком переміщення, датчиком зусилля, пристроями передачі результатів вимірювань;
- прогиномір (рис. 2);
- пульт дистанційного керування;
- персональний комп'ютер [6].



1 – насосна станція; 2 – штамп з гідроциліндром; 3 – пульт дистанційного керування; 4 – пристрої передачі результатів вимірювань; 5 – датчик тиску(навантаження); 6 – лазерний датчик переміщення

Рисунок 1 – Станція для статичних штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів



1 – задня опора; 2 – передня опора; 3 – ручка для транспортування; 4 – основна консоль; 5 - щуп

Рисунок 2 – Прогиномір

Для здійснення в режимі BlueTooth персональним комп'ютером реєстрації та обробки результатів вимірювань зусилля на штамп і його переміщення, розроблене спеціальне програмно-алгоритмічне забезпечення обробки вимірів «ЕРМ_010», головне вікно якого наведено на рис. 3.

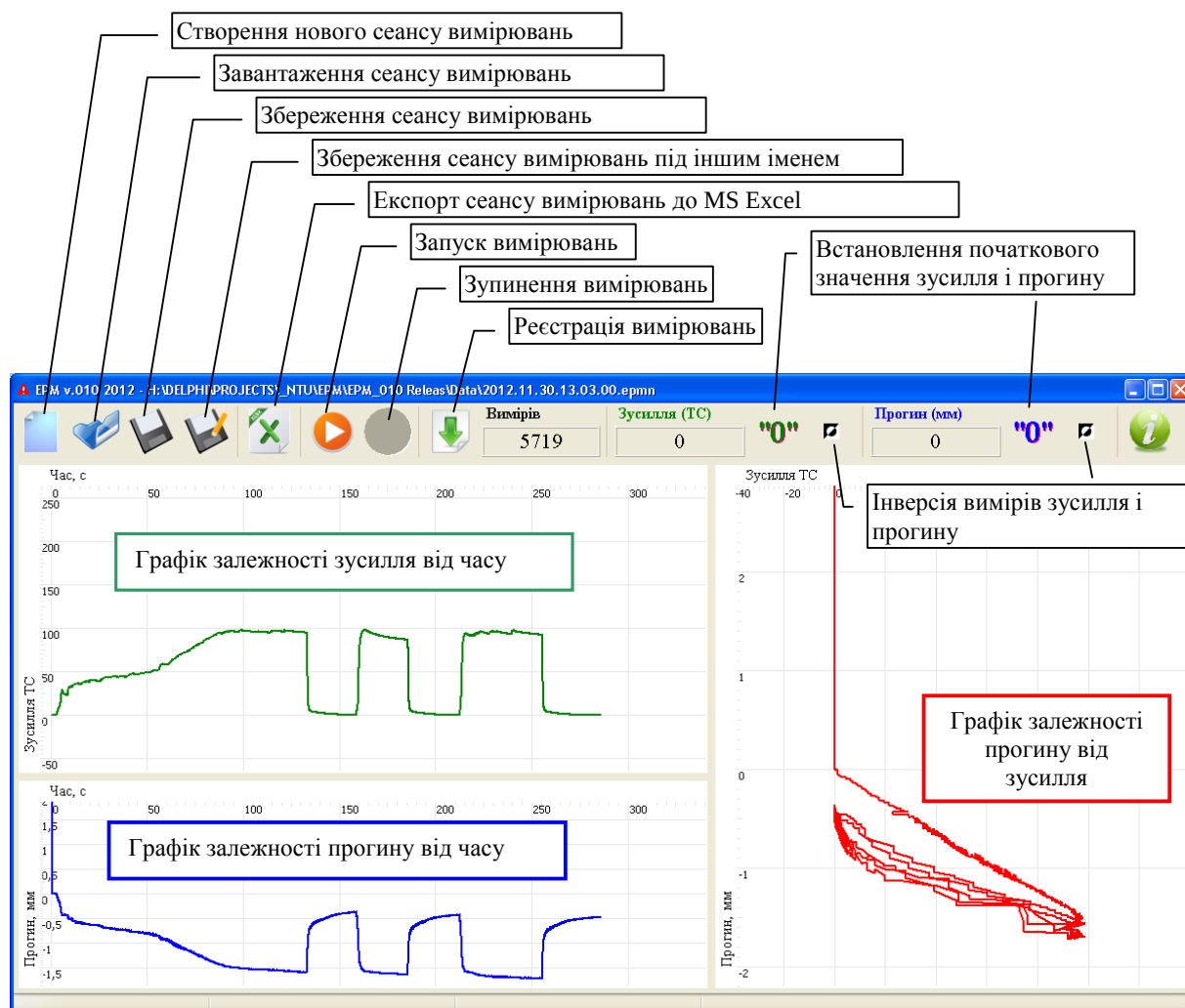


Рисунок 3 – Головне вікно програмно-алгоритмічного забезпечення обробки вимірів «ЕРМ_010»

В програмно-алгоритмічному забезпеченні «ЕРМ_010» встановленому на персональному комп'ютері оператора станції, передбачено гнучкий алгоритм його застосування та експлуатації. Головне вікно умовно поділене на чотири частини. Верхня частина являє собою кнопочке меню, до якого включені основні операції, такі як:

- 1) створення нового сеансу вимірювань;

- 2) завантаження сеансу вимірювань;
- 3) збереження сеансу вимірювань;
- 4) збереження сеансу вимірювань під іншим іменем;
- 5) експорт сеансу вимірювань до MS Excel;
- 6) запуск вимірювань;
- 7) зупинення вимірювань;
- 8) реєстрація вимірювань;
- 9) встановлення початкового значення зусилля і прогину;
- 10) інверсія вимірів зусилля і прогину.

У цій же частині головного вікна містяться поля для відображення поточних величин вимірів:

- 1) кількість зареєстрованих вимірів;
- 2) поточне значення зусилля;
- 3) поточне значення прогину.

Інші три частини являють собою поля для виведення результатів вимірювань у графічному вигляді:

- 1) графік залежності зусилля від часу;
- 2) графік залежності прогину від часу;
- 3) графік залежності прогину від зусилля.

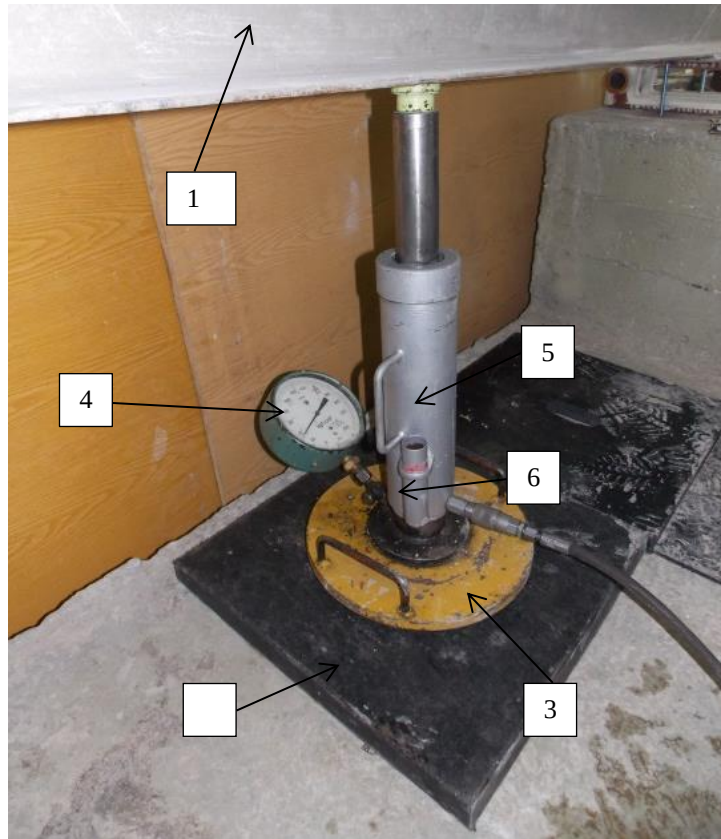
Після проведення вимірювань станцією, результати експортуються до MS Excel, в середовищі якого проводиться подальша обробка та візуалізація отриманих даних.

В грудні 2012 року комісією Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор» проводились приймальні випробування станції для штапових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів.

Метою приймальних випробувань була перевірка працездатності станції; перевірка точності визначення зусилля, що створюється станцією, шляхом порівняння показань станції з показаннями еталонної гідравлічної месдозы; перевірка точності визначення переміщень, що реєструються станцією, шляхом порівняння показань станції та показань еталонного датчика переміщень; перевірка виконання інших вимог, передбачених технічним завданням.

На першому етапі приймальних випробувань виконувалась перевірка точності визначення зусилля, що створюється станцією (рис. 5). При цьому

порівнювались показання станції з показаннями еталонної гідравлічної месдозы.



1 – металева балка протйвагы; 2 – гумова пластина; 3 – жорсткий штамп; 4 – еталонна гідравлічна месдоза; 5 – гідроциліндр; 6 – датчик зусилля

Рисунок 5 – Перевірка точності визначення зусилля, що створюється станцією

З цією метою, для імітації переміщення штампа у визначене місце під металеу балку протйвагы 1 розмістили гумову пластину 2 товщиною 30 мм, розміром 50×50 см. Встановили штамп 3 з еталонною гідравлічною месдозою 4 на вищезгадану гумову пластину. На штамп з еталонною гідравлічною месдозою встановили гідроциліндр 5 з датчиком зусилля 6. Створюючи тиск в гідравлічній системі станції, задавали ступінчате навантаження на штамп 0, 1, 2, 3, 4, 5 тс. Результати перевірки точності визначення зусилля, що створювалося станцією наведені в табл. 1.

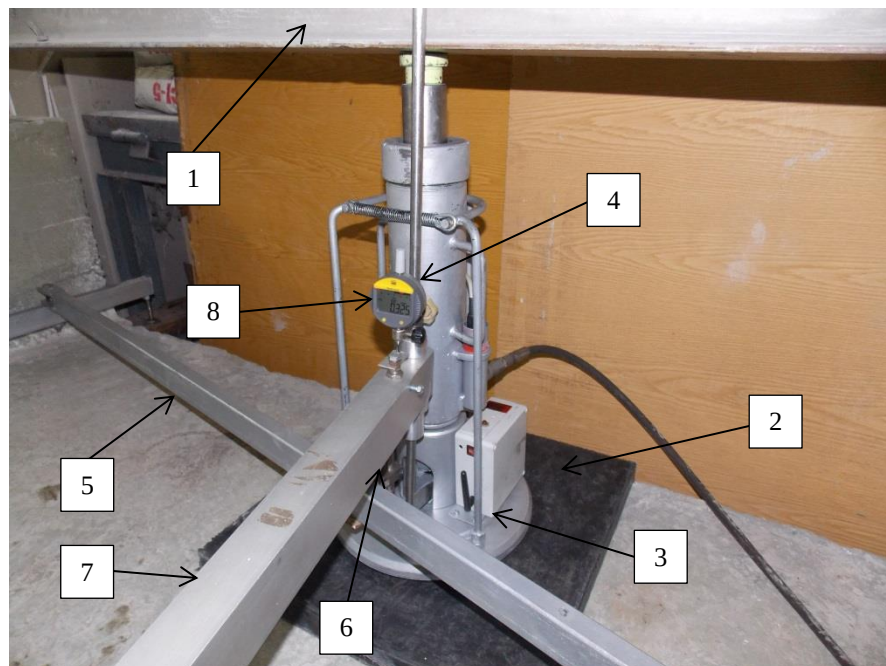
Як слідує з таблиці, відносна похибка δ_{zi} визначення зусилля, що створювалось станцією при кожному навантаженні, не перевищувала гранично допустимого значення 5 %.

На другому етапі приймальних випробувань виконувалась перевірка точності визначення переміщень, що реєструються станцією. При цьому

порівнювались показання станції з показаннями еталонного датчика переміщень (рис. 6).

Таблиця 1 - Результати перевірки точності визначення зусилля, що створюється станцією

№	Показання гідравлічної месдози при i – му навантаженні P_{mi} , тс	Показання Станції при i – му навантаженні P_{ci} , тс	Модуль абсолютної похибки Δ_{zi} , тс	Відносна похибка δ_{zi} , %
1	2	3	4	5
1	0	0	–	–
1	2	3	4	5
2	1	1,028	0,028	2,80
3	2	2,050	0,050	2,50
4	3	3,037	0,037	1,23
5	4	4,020	0,020	0,50
6	5	5,023	0,023	0,46



1 – металева балка протитваги; 2 – гумова пластина; 3 – жорсткий штамп; 4 – гідроциліндр; 5 – реперна балка; 6 – щуп; 7 – прогиномір; 8 – еталонний датчик переміщень «TESA»

Рисунок 6 – Перевірка точності визначення переміщень шляхом порівняння показань станції та показань електронного датчика переміщень

Для імітації переміщення штампа у визначене місце під металеву балку протиааи 1 розмістили гумову пластину 2 товщиною 30 мм, розміром 50 × 50 см. Встановили штамп 3 на вищезгадану гумову пластину під металеву балку протиааи. На штамп встановили гідроциліндр 4. Поряд встановили реперну балку 5, з щупом 6. Також встановили прогиномір 7 з еталонним датчиком переміщень «TESA» 8 в робоче положення, завчасно розмістивши щуп прогиноміра максимально близько до щупа реперної балки. Створюючи тиск в гідравлічній системі станції, задавали ступінчате навантаження на штамп 0, 1, 2, 3, 4, 5 тс. Результати перевірки точності визначення переміщень, що створювались станцією наведені в табл. 2.

Таблиця 2 -Результати перевірки точності визначення переміщень шляхом порівняння показань станції та показань електронного датчика переміщень

№	Показання електронного датчика переміщень S_{di} , мм	Показання Станції S_{ci} , мм	Модуль абсолютної похибки Δ_{ni} , мм	Відносна похибка δ_{ni} , %
1	0	0	-	-
2	4,31	4,44	0,13	3,02
3	7,04	7,23	0,19	2,70
4	8,68	8,89	0,21	2,42
5	9,71	9,96	0,25	2,57
6	10,64	10,86	0,22	2,07

Як слідує з таблиці, відносна похибка δ_{ni} визначення переміщень, що створювались станцією при кожному навантаженні не перевищувала 4 % , що значно менше гранично допустимого значення 10 %.

Висновки

1. Розроблений експериментальний зразок станції для статичних штампових випробувань дорожніх конструкцій і їх шарів успішно пройшов приймальні випробування.

2. Відносна похибка δ_{zi} визначення зусилля, що створювалось станцією при кожному навантаженні, не перевищувала гранично допустимого значення 5 %.

3. Відносна похибка δ_{ni} визначення переміщень, що створювались станцією при кожному навантаженні не перевищувала 4 % , що значно менше гранично допустимого значення 10 %.

4. Комісія Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор» після успішних приймальних випробувань експериментального зразка станції рекомендувала НТУ продовжити розпочату роботу в напрямку виготовлення дослідного зразка станції, розробки технічного проекту та робочої конструкторської документації з метою серійного виробництва цього нового засобу випробувальної техніки для підвищення якості будівництва доріг.

Література

1. Автомобільні дороги. Споруди транспорту: ДБН В.2.3-4-2007, частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – [Чинний від 2007-30-10]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2007. – 91 с.
2. ВБН В.2.3–218–186–2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К. : Укравтодор, 2004. – 176 с.
3. СОУ 45.2-00018112-042:2009. Стандарт Укравтодору. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. – К.: Укравтодор, 2009. – 46 с.
4. Павлюк Д.О., Лебедев О.С., Кизима С.С., Булах Є.О., Глуховеря В.М. (НТУ), Іващенко А.П., Русин Р.М., Собачко С.М., Богданенко А. М. Кореляційні випробування засобів оцінки міцності дорожніх конструкцій // Автошляховик України. – 2008. – № 2. – С. 26–33.
5. Павлюк Д.О., Павлюк В.В., Лебедев О.С., Булах Є.О., Перістий О.О. Начіпне обладнання НТУ для оцінки міцності і деформативності дорожніх конструкцій та ґрунтових основ // Автошляховик України. – 2008. – № 3. – С. 33–36.
6. Павлюк Д.А., Павлюк В.В., Павлюк В.В., Лебедев А.С., Гаврищук В.В., Шурьяков М.В., Шуляк И.С. Станция для штамповых испытаний дорожных конструкций и их слоев // Автошляховик України. – 2013. – № 2. – С. 30–35.

Гамеляк І.П., д-р техн. наук., Карафізі Л.М.

ПОПЕРЕДЖЕННЯ РУЙНУВАНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ БРУКОВАНИХ ПОКРИТТІВ

Анотація. В статті розглянуто питання причин виникнення деформацій та руйнувань брукованих покриттів на етапі виготовлення, будівництва та експлуатації. Запропоновано шляхи попередження, усунення та ремонту брукованих покриттів. Наведено принципи контролю якості виготовлення елементів брукування та виконання робіт при будівництві.

Ключові слова: бетонні елементи брукування, деформація, руйнування, міцність, морозостійкість.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы причин возникновения деформаций и разрушений мощеных покрытий на этапе изготовления, строительства и эксплуатации. Предложены пути предупреждения, устранения и ремонта мощеных покрытий. Приведены принципы контроля качества изготовления элементов мощения и производства работ при строительстве.

Ключевые слова: бетонные элементы мощения, деформация, разрушение, прочность, морозостойкость.

Annotation. The paper deals with the causes of deformation and destruction of pavers pavements during manufacture, construction and operation. The ways of prevention, removal and repair of pavers pavements. The principles of quality control manufacturing elements of paving and works in construction.

Key words: concrete block pavers, deformation, destruction, strength, frost-resistance.

Мета роботи: встановлення причин виникнення дефектів та руйнувань брукованих покриттів та розробка заходів по їх попередженню на етапі виготовлення блоків, влаштування та експлуатації КДО.

Постановка завдання. Галузь виробництва елементів брукування та влаштування покриттів із них на сьогоднішній день динамічно розвивається.

Незначний досвід, котрий мають вітчизняні інженери призводять до частій появи деформацій та руйнувань як елементів покриття так і конструкції загалом. Виявлені дефекти та руйнування можна розділити на види в залежності від причин виникнення на: проектні (конструктивні), матеріалознавчі, будівельні та експлуатаційні [1]. На основі спостережень за станом покриттів виділяються такі причини руйнувань табл. 1.

Таблиця 1 – Причини дефектів та руйнувань.

Причини дефектів та руйнувань конструкцій з брукованих покриттів			
Проектні (конструктивні)	Матеріалознавчі	Будівельні (технологічні)	Експлуатаційні
- мала товщина блоків мощення; - невідповідна конструкція примикання до колодязів; - відсутність передачі навантаження між блоками; - мала товщина основи під блоками; - слабкі ґрунти.	- невідповідний склад суміші для блоків; - вміст пиловидних та глинистих фракцій в заповнювачі; - використання портландцементу низької якості; - метод виробництва елементів брукування; - невідповідна шорсткість блоків.	- недоуцільнення матеріалів шарів одягу; - невідповідність проектним товщинам шарів одягу; - невиконання вимоги влаштування відповідного похилу; - незабезпечення бокового упору каменів брукування.	- покриття повинне експлуатуватися під проектним навантаженням; - можлива необхідність обмеження навантаження в осінньо-весняні періоди, у зв'язку з надмірним зволоженням матеріалів конструкції; - незабезпечене водовідведення; - несвоєчасне виявлення і усунення дефектів, розвиток котрих значно прогресує в часі.

До конструктивних можна віднести руйнування, що наведені на рис. 1 та 2.



Рисунок 1 – Руйнування, що спровоковані малою товщиною елементів мощення

При незначній товщині елементів брукування виникають значні напруження розтягу, що призводять до їх розтріскування. Також в брукованих покриттях дуже важливим фактором є механізм защемлення (interlock mechanism). Суть якого полягає в тому, що при дії навантаження на один елемент, внаслідок тертя та зачеплення через бокові грані, зусилля передається на оточуючі камені. Але

при малій товщині каменів брукування, механізм защемлення зводиться до мінімуму (кожен елемент працює окремо). Рекомендовані товщини елементів брукування для класів навантаження за EN 1433 наступні: A15 (15 kN) ≥ 60 мм, B125 (125 kN) ≥ 80 мм, C250 (250 kN) ≥ 100 мм, D400 (400 kN) ≥ 120 мм, E600 (600 kN) ≥ 140 мм, F900 (900 kN) ≥ 160 мм. Потрібно враховувати що відношення найдовшої зі сторін блоку до його товщини повинне бути менше 4.



а)



б)

Рисунок 2 – Колодязі на брукованих покриттях: а) приклад підмоцнювання до люку колодязя; б) приклади руйнувань покриття викликаних невідповідністю конструкції спряження з колодязем.

При наявності колодязів біля них потрібно влаштовувати укріплені шари підмоцнення, так як це робили при влаштуванні мостових з природного каменю [2]. Підмоцнювання дозволяє забезпечити механізм защемлення. А також потрібно удосконалити конструкцію спряження покриття з колодязем. Оскільки матеріал підстиляючих шарів вимивається водою створюючи порожнечи, що провокує просідання всього покриття загалом.

До руйнувань, що пов'язані матеріалознавчими факторами, можна віднести розкришування елементів за рахунок низької морозостійкості (рис. 3), відшаровування лицевого шару (рис. 4), відколювання частин бетону з утворенням раковин (рис. 5), тріщини, що утворилися при порушенні температурного режиму тепловологісної обробки (рис. 6).

Масова поява такого виду руйнування в основному спровокована двома чинниками. Перший з них це те, що велика кількість бетонних елементів мощення виготовлялася за технологією вібролиття. При використанні даної технології використовуються суміші з високим водоцементним відношенням. Саме тому виготовлення бетонних каменів брукування все більш широко

виконується за методом вібропресування, що використовує жорсткі суміші з низьким значенням В/Ц.



Рисунок 3 – Руйнування, що спровоковане незадовільною морозостійкістю бетонних елементів брукування (розкришування)

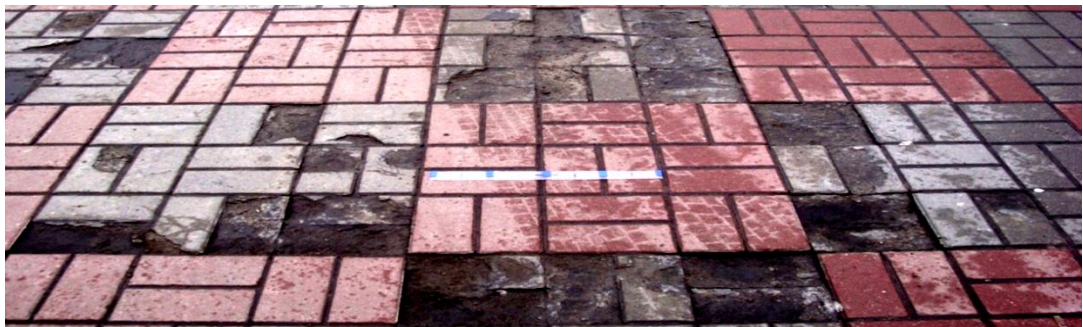


Рисунок 4 – Відшаровування лицевого шару



Рисунок 5 – Відколювання частин бетону з утворенням раковин



Рисунок 6 – Тріщини, що утворилися при порушенні температурного режиму тепловологісної обробки

Також до зниження якості та терміну служби елементів брукування призводить порушення процедури тепловологісної обробки. В результаті недотримання температурного режиму на поверхні бетонних елементів утворюються тріщини [11], котрі сприяють більш швидкому руйнуванню бетонних виробів та покриття загалом.

Також розкришування могло бути спровоковане тим, що при перших кроках впровадження даної технології випробування виробів на морозостійкість виконувалося за першим базовим методом [3, 4], який застосовується до всіх видів бетонів окрім бетонів дорожніх та аеродромних покриттів. Для бетонів дорожніх та аеродромних покриттів слід застосовувати другий базовий метод [3, 5]. Ця умова викликана тим, що дорожні покриття піддаються впливу протиожеледних реагентів. Очевидно, що покриття, які також піддаються впливу подібних речовин мають випробовуватися згідно ДСТУ Б В.2.7-49. Подібної помилки при впровадженні бетонних елементів брукування припустилися і в Польщі. В 2005 році за результатами поведінки зовнішньої поверхні каменів мощення, що контактують з протиожеледною сіллю в мороз, була висунута пропозиція змінити вимоги в D-05.03.23 «Покриття з бетонних каменів брукування» у відповідності з PN-EN 1338:2005 «Бетонні камені брукування - Вимоги та методи випробувань», що був затверджений рішенням президента польського комітету з стандартизації від 8 березня 2005 року [6, 7].

Вібропресовані елементи можуть випускатися одношаровими та двошаровими. В двошарових виробках нижній шар виготовляється із важкого бетону, а верхній шар (лицева поверхня) – із дрібнозернистого зносостійкого звичайного (сірого) або кольорового бетону [8, 9]. Відокремлення лицевого шару бетонних елементів мощення очевидно спровоковане малою товщиною цього шару. Під час приймального контролю важче оцінити відповідність товщини верхнього шару бетонних каменів брукування, що мають звичайний колір бетону.

Результати можна спостерігати на рис. 4, де видно, що руйнування має місце лише на каменях сірого кольору. Згідно з EN 1338:2003 «Concrete paving blocks. Requirements and test methods», якщо бетонна бруківка виготовляється із лицевим шаром, то цей шар, повинен мати мінімальну товщину, що становить не менше 6 мм на усій поверхні, що декларується виробником як видима поверхня. Окремі зерна заповнювача, що входять до складу лицевого

шару і мають розмір більше 6 мм, не слід враховувати. Лицевий шар має бути складовою частиною бруківки [10]. Проте клімат західної Європи є м'якшим ніж в Україні, а ще важливіше температурні коливання в усіх регіонах України часто переходять через позначку в 0 °С. Тому доцільно обґрунтувати мінімальне значення товщини лицевої поверхні бетонних каменів бруківки.

Руйнування, що характеризується відколюванням частин бетону з утворенням раковин, ймовірно спровоковане наявністю в піщаному заповнювачі для бетону грудок глини. Грудки глини під час замішування бетонної суміші мають міцність, що дозволяє їм не розпадатися. Але під час експлуатації пілувато-глинисті частки та глина в грудках накопичують в собі вологу, котра при замерзанні відколює значні частини бетонних елементів бруківки (рис. 5).

Будівельні дефекти переважно представлені просіданнями покриття (рис. 7).



Рисунок 7 – Просідання брукованих покриттів

З технологічних причин під шаром бруківки влаштовується вирівнюючий (монтажний) шар, переважно в якості матеріалу використовується пісок. Проте занадто велика товщина вирівнюючого шару поверх основи, модуль пружності якої вищий за модуль пружності піщаного шару, призводить до зниження загального модуля конструкції. Тому товщини вирівнюючих шарів зводять до мінімальних. Зазвичай їхня потужність не повинна перевищувати 5 см. Для прикладу, вирівнюючий шар під бруківкою в Міжнародному аеропорту Гонконгу становить 20 мм, в міжнародному контейнерному терміналі Янт'янь, Китай, – 25 мм, прилегла територія НСК «Олімпійський» – 50 мм, під бруківкою на Андріївському узвозі в деяких місцях досягає до 150 мм. Однак при малих товщинах піщаних шарів виникає проблема перевірки ущільнення даного шару стандартним

методом, котрий використовується (метод ріжучого кільця). Тому вже в перший рік експлуатації спостерігаються чисельні деформації покриттів. Отже необхідно розробити метод, що дозволить виконувати операційний контроль при влаштуванні вирівнюючого піщаного шару.

Більш значні просідання викликані незадовільною несучою здатністю основи. Причиною цього можуть бути недоуцільнення шарів одягу, недотримання проектних товщин шарів, недотримані похили підстилаючих шарів викликають застій води в конструкції, проникання піщаних шарів в щебеневі. Перед влаштуванням верхніх шарів основи під вирівнюючим шаром необхідно перевірити несучу здатність на поверхні додаткової основи. Контроль ущільнення матеріалів основи здійснюється шляхом вимірювання модуля пружності на поверхні ущільненої основи з використанням приладів для статичного та динамічного вимірювання прогинів та експрес-методами [1] через відрізки розміром не менше 100 м у трьох точках поперечного перерізу. Модуль пружності на поверхні ущільненої основи повинен відповідати вимогам проекту. У випадку якщо вимога до модуля пружності в проекті відсутня, значення модуля повинне становити ≥ 170 МПа.

Модуль пружності на поверхні стабілізованого шару визначається через кожні 100 м у трьох точках поперечного перерізу. Мінімальне значення модуля пружності в зазначених точках шару, вік якого становить 7 днів, повинен відповідати вимогам проекту.

У випадку якщо вимога в проекті відсутня, значення модуля не повинне бути менше, ніж:

- 200 МПа на поверхні шару, стабілізованого з використанням бітуму,
- 230 МПа на поверхні шару, стабілізованого з використанням цементу й комплексного в'язучого.

Руйнування покриття, що викликане відсутністю бокового упору для каменів брукування (рис. 8), можна віднести до будівельного та експлуатаційного виду. Можна перерахувати наступні причини виникнення руйнувань: незадовільна фіксація бордюрних каменів, в місцях примикання покриття до них; не виконане підмоцнення до каналізаційних та комунікаційних люків, опор; не вкладені елементи розміри котрих підганяються до необхідних за допомогою розрізання цілих каменів;

просідання покриття з наступним горизонтальним переміщенням елементів брукування.



Рисунок 8 – Руйнування покриття, що викликане відсутністю бокового упору для каменів брукування

Для зменшення ймовірності виникнення наведених вище дефектів та руйнувань потрібно виконувати суворий контроль якості на всіх етапах виготовлення елементів мощення та виконання будівельних робіт.

Загальні принципи контролю якості елементів брукування наведені в [10]. До бетонних елементів брукування висуваються вимоги щодо зовнішнього вигляду (табл. 2), форми і розмірів (табл. 3), стійкості до стираності (табл. 4), міцності бетону виробів на стиск, розтяг при згині та розколювання, водопоглинання, морозостійкості та шорсткості.

Стираність бруківки, яка визначається згідно з ДСТУ Б В.2.7-212, повинна бути не більше $0,7 \text{ г/см}^2$. Вимоги, що стосуються стійкості до стираності, яка визначається методами широкого абразивного диску та диску Беме наведені в таблиці 4.

Таблиця 2 – Допустимі дефекти зовнішнього вигляду бетонних каменів мощення

Властивості	Вимоги	
	Гатунок 1	Гатунок 2
Стан лицевої поверхні - текстура - подряпини і тріщини - колір по каталогу виробника - забарвлення - плями, забруднення, що не змиваються водою - вапняні нальоти (білі плями)	однорідна в даній партії не допускається рівномірний для даної партії допускається неконтрастне забарвлення на одному камені не допускається допускається	однорідна в даній партії не допускається допускаються варіації відтінків того ж кольору допускається контрастне забарвлення того самого кольору на одному камені не допускається допускається
Пошкодження бічних поверхностей: - допустимо на одному камені - допустимі розміри (довж. і шир.)	2 30 мм × 10 мм	2 50 мм × 20 мм
Сколи і пошкодження країв і кутів	не допускається	не допускається
Пошкодження вертикальних ребер - допустима кі-сть на один камінь - допустимі розміри (довж. і шир.)	2 20 мм × 6 мм	2 30 мм × 10 мм

Таблиця 3 – Відхилення номінальних розмірів, що допускаються

Відхили для бруківки товщиною, мм	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4
Різниця між двома вимірами товщини однієї і тієї ж бруківки повинна складати ≤ 3 мм.			

Таблиця 4 – Класи стійкості до стираності

Маркування	Вимоги	
	Вимір, проведений за допомогою методу широкого абразивного диску	Вимір, проведений за допомогою диску Беме
F	не визначається	не визначається
H	≤ 23 мм	≤ 20 000 мм ³ /5 000 м ²
I	≤ 20 мм	≤ 18 000 мм ³ /5 000 м ²

Характерна міцність на розколювання T не має бути менше 3,6 МПа. Міцність бетону виробу на стиск повинна бути не менше B30, на розтяг при згині – не менше Bbtb 3,6.

Водопоглинання, яке визначається згідно з ДСТУ Б В.2.7-170, повинно бути не більше 6% за масою.

Стійкість до замерзання/відтавання визначається в присутності протиожеледних солей ($NaCl$). Середнє значення втрати маси після випробування на замерзання/відтавання, має бути $\leq 1,0 \text{ кг/м}^2$ при цьому повна відсутність окремих результатів $> 1,5 \text{ кг/м}^2$. Морозостійкість бруківки, яка визначається згідно з ДСТУ Б В.2.7-47, ДСТУ Б В.2.7-48, ДСТУ Б В.2.7-49 повинна бути не нижче F200. Вміст втягнутого повітря для дорожніх бетонів 5-7 %.

Загальні принципи контролю якості робіт по влаштуванню покриттів з елементів брукування можуть бути сформовані відповідно до ДБН В.2.3-4 [13] з доповненнями, які зведено в табл.5.

Виконання наведених рекомендацій дозволяє використовувати бруковані покриття, котрі мають усі переваги цементобетонних дорожніх одягів і можуть легко бути відновлені при появі руйнувань чи необхідності аварійних ремонтів інженерних мереж. Крім того даний вид покриття дозволяє добитися архітектурної виразності об'єктів інфраструктури. Тому на заміну традиційних ремонтів існуючих монолітних асфальтобетонних та цементобетонних покриттів вулиць та площ ефективним буде посилення штучними елементами брукування рис. 9 з використанням геосинтетичних прошарків та влаштуванням системи водовідведення. Дане рішення є конкурентоздатним, ручним та дешевим.

Висновок

Обстеження експлуатаційного стану брукованих покриттів вказує на наявність значної кількості дефектів та руйнувань. Причиною цього є недостатній рівень знань та недоліки виготовлення блоків, проектування, будівництва та експлуатації покриттів. Для забезпечення надійності конструкцій з бетонними елементами брукування необхідно розробити норми для проектування даних покриттів. Для полегшення прийняття проектних рішень треба створити каталоги конструкцій для конкретних умов експлуатації. Для підвищення морозостійкості та довговічності блоків мощення необхідно уточнити склади сумішей і технології виготовлення

блоків. Назріла потреба внести зміни в нормативні документи на виготовлення та контроль якості елементів брукування; впровадити механізацію влаштування покриттів; удосконалити методи операційного контролю в процесі виконання будівельних робіт. На етапі експлуатації потрібно ввести контроль допустимих навантажень для збереження покриттів від передчасних руйнувань.

Таблиця – 5. Частота та обсяг випробувань і вимірювань в процесі будівництва

Пункт випробування і вимірювання	Частота випробувань	Значення допусків
Перевірка ґрунту і корита	Згідно ДБН В.2.3-4	Згідно ДБН В.2.3-4
Перевірка основи	Згідно ДБН В.2.3-4	Згідно ДБН В.2.3-4
Перевірка контуру покриття:		
а) висотні відмітки	Не рідше 1 виміру на 100 м та в характерних точках	Не більше 10 % результатів вимірів можуть мати відхилення від проектних в межах до ± 25 мм, інші – до ± 10 мм
б) розміщення в плані	Те саме	Не більше 10 % результатів вимірів можуть мати відхилення від проектних значень в межах до ± 75 мм, інші до ± 50 мм.
Перевірка підсипки: товщина, особливості конструкції в порівнянні з проектом	Контролюється в 10 точках денної робочої ділянки	відхилення від проектної товщини ± 10 мм
Випробування покриття		
а) відповідність проектній документації	Послідовно на кожній робочій ділянці	-
б) положення осі в плані (перевірка геодезична)	Через 100 м і в усіх характерних точках	Зміщення від осі проектування до 20 мм.
в) висотні відмітки (інструментальне вимірювання)	Через 25 м по осі і по краям і в усіх характерних точках	Відхилення: +10, -20 мм
г) рівність поздовжнього профілю рейка трьохметрова	Те саме	Не більше 5 % вимірів можуть мати відхилення в межах 8 мм, решта до 5 мм.
д) рівність поперечного профілю	Те саме	Те саме
е) похил поперечний (виконується методом нівелювання)	Те саме	Відхилення від проектної документації до 0,3%
ж) ширина покриття (виконується лінійним заміром)	Те саме	Відхилення від проектної ширини ± 50 мм
з) ширина і глибина швів і деформаційних швів	В 20 характерних точок денної ділянки робіт	Згідно проекту
и) перевірка кольору каменів і рисунку їх вкладання	Візуальний контроль	Згідно проектної документації або рішення інженера

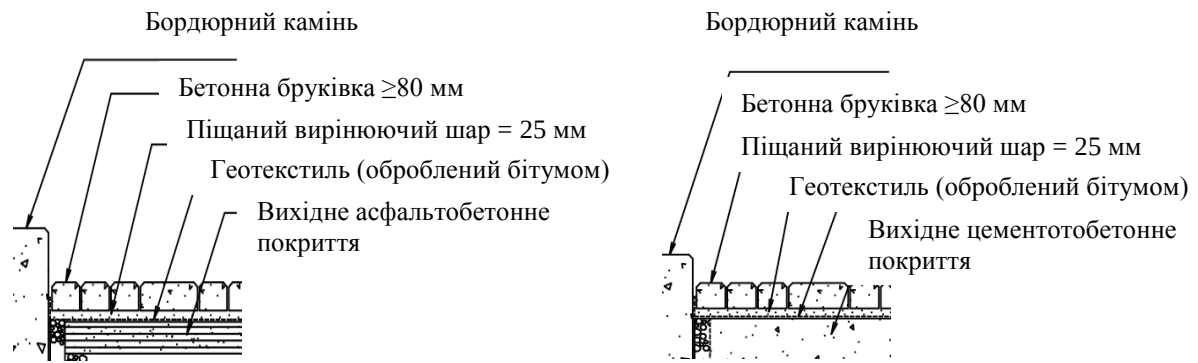


Рисунок 9 – Посилення існуючих покриттів штучними елементами мощення

Література

1. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Якименко Я.М., Райковський В.Ф. Надійність конструкцій дорожнього одягу. – К.: НТУ, 2012. – 216 с.
2. Иванов А.М. Моя профессия мостовщик. – Ленинград.: Стройиздат, 1970. – 88 с.
3. ДСТУ Б В.2.7-47. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги.
4. ДСТУ Б В.2.7-48. Бетони. Базовий (перший) метод визначення морозостійкості.
5. ДСТУ Б В.2.7-49. Бетони. Прискорені методи визначення морозостійкості при багаторазовому заморожуванні та відтаванні.
6. D - 05.03.23a. Nawierzchnia z betonowej kostki brukowej dla dróg i ulic lokalnych oraz placów i chodników.
7. PN EN 1338:2005. Concrete paving blocks - Requirements and test methods.
8. Костиков Ю.Б. Рекомендации по применению мощения при устройстве покрытий территорий жилой и общественной застройки. - Санкт-Петербург: 2011 – 66 с.
9. http://avenu.kovalska.com/files//Buklet_Avenu.pdf
10. EN 1338:2003. Concrete paving blocks. Requirements and test methods.
11. Баженов Ю.М., Алимов Л.А., Воронин В.В., Магдеев У.Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. – М.: Изд-во АСВ, 2004 – 256 с.
12. ДСТУ Б В.2.1-17. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей.
13. ДБН В.2.3-4:2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування Частина ІІ. Будівництво.

Скрипець А.В., канд. техн. наук (НАУ)

Краснов В.М., канд. техн. наук (НАУ)

Мельніков Д.Є., (НАУ)

Бойко В.І., (УДПТНДІ ЦА «Украеропроект»)

Сагідаєв Ю.М., канд. техн. наук (УДПТНДІ ЦА «Украеропроект»)

ПОБУДОВА ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МОБІЛЬНОГО АВТОМАТИЧНОГО ВИМІРЮВАЧА ПОХИЛІВ

Анотація. Розроблено малогабаритний пристрій на сучасній елементній базі, яка використовується для акселерометрів та гіроскопів з метою вимірювання похилів покриття.

Ключові слова: аеропорт, аеродром, злітно-посадкова смуга, похил.

Аннотация. Разработан малогабаритный устройство на современной элементной базе, которая используется для акселерометров и гироскопов с целью измерения уклонов покрытия.

Ключевые слова: аеропорт, аеродром, взлетно-посадочная полоса, уклон.

Annotation. A compact device for modern base used for accelerometers and gyroscopes to measure an inclined surface.

Key words: airport, airport, runway, gradient

Постановка проблеми

При будівництві ключового елемента аеропорту — злітно-посадкової смуги (ЗПС) — важливе значення має дотримання норм її проектування за кутами нахилу в поперечній і поздовжній площинах.

Так, згідно з вимогами будівельних норм і правил [1] поздовжній ухил ділянки штучної ЗПС повинен бути не більше 0,008, тобто не більше 28 кутових мінут. При цьому довжина кінцевих ділянок ЗПС (в даному випадку початкова ділянка) повинна дорівнювати 1/6 довжини ЗПС, тобто 416 м при довжині ЗПС рівній 2500 метрів, що має місце в «Міжнародному аеропорту

«Харків». На цій ділянці поздовжній ухил повинен бути одного напрямку (або висхідний, або низхідний).

Поперечний ухил для надійного стікання дощових і талих вод з поверхні штучної ЗПС повинен бути більше 0,015, тобто більше 52' (кутових мінут).

В даний час поздовжні і поперечні ухили ЗПС в геодезичній практиці вимірюються за допомогою далекоміра, нівеліра, вимірювальної рейки і рулетки з наступним визначенням ухилів розрахунковим шляхом. При довжині ЗПС від 2,5 до 4-х кілометрів крок вимірювань вибирається порядку 60 м, тобто в цьому проміжку, що дорівнює 8 плитам (розмір плити $7,5 \times 7,5 \text{ м}^2$), не контролюються ні ухили, ні нерівності кожної плити.

Величина ухилу між двома точками розраховується так:

$$\alpha = h/D, \quad (1)$$

де h – перевищення, яке визначається за допомогою нівеліра і рейки, яка встановлюється у точках вимірювання ухилів;

D – горизонтальне положення, яке обчислюється за виміряним перевищенням h і відстанню S між точками, виміряною рулеткою:

$$D = h^2/2S. \quad (2)$$

Вимірювання нерівностей геодезичними методами здійснювати важко. Нерівності вимірюють триметровою лінійкою за кожною плитою ЗПС шляхом вимірювання зазорів під лінійкою через кожні 10 см.

Таким чином, вимірювання ухилів і нерівностей є дуже трудомістким процесом, що вимагає великого відшкодування часу.

Інформаційний та патентний пошуки показують, що в цьому напрямку ведуться інтенсивні розробки пристроїв, які б дозволили механізувати і частково автоматизувати процес вимірювання ухилів.

До механічних пристроїв, які вимірюють ухили, можна віднести «ватерпас» [2], що включає до себе вимірювальну рейку та вертикальну вішку, на яких нанесені сантиметрові поділки, причому на вимірювальній рейці встановлений рівень з можливістю переміщення у вертикальному напрямку і відліковий пристрій для приведення рейки в горизонтальне положення. Для

вимірювання ухилів ЗПС та відкосів вимірювальна рейка встановлюється вздовж напрямку вимірюваного ухилу на опори (п'ятки), розміщені на її кінцях, а бульбашка рівня приводиться механічно в горизонтальне положення його поворотним механізмом. При цьому відбувається розворот відлікового барабана відносно відлікового індексу і таким чином визначається величина вимірюваного ухилу.

До частково автоматичних пристроїв, що вимірюють ухили, можна віднести пристрої, розглянуті в патентах Росії [3, 4, 5]. Це пристрої, які або містять панель з підвішеним на ній маятником і шкалу, закріплену на панелі, або містять інерційну масу у вигляді сталеві кулі, яка знаходиться на гладкій основі, та фіксованої з боків майже вертикальними попередньо напруженими видолинками, на які наклеєні тензодатчики опору, або містять плоску вимірювальну поверхню, на якій розташований чутливий до її орієнтації елемент у вигляді датчика лінійних прискорень, електронну схему перетворення сигналу і засоби індикації на рідкому кристалі.

Їх загальним недоліком є мала надійність і недостатня оперативність вимірювання у зв'язку з неможливістю за одне встановлення визначити величину і напрям максимального кута нахилу досліджуваного об'єкта.

Відома також одновісна колісна транспортна платформа – вимірювач ухилів ОКТП-ВУ аеродромних покриттів, що є робототехнічною системою, яка теоретично розроблена в Московському авіаційному університеті. Подібні системи розробляються в Московському державному університеті ім. М.В. Ломоносова, в США, Японії і Канаді для завдань транспортування, охоронних і військових цілей [6].

В даний момент часу у різних країнах ведуться розробки пристроїв, які дозволяють частково механізувати процедуру вимірювання ухилів за допомогою механічних пристосувань, або автоматично вимірювати напрям та величину ухилу за однією координатою шляхом використання досягнень новітніх технологій. Мобільних пристроїв для автоматичного вимірювання ухилів та нерівностей як злітно-посадкових смуг, так і дорожніх покриттів одночасно за двома координатами в практичному дорожньому та аеродромному будівництвах, а також в експлуатаційних підрозділах аеропортів України не існує.

Основна частина

Авторами пропонується використовувати для вищезазначених цілей сучасні акселерометри і гіроскопи.

Вони є основними датчиками інерціальних навігаційних систем (ІНС), які надають інформацію про рух під дією активних сил. Застосовуються акселерометри, різноманітні як за принципом дії, так і за конструктивним виконанням. Зазвичай, використовуються акселерометри, які вимірюють лише одну складову прискорення уздовж осі обраної системи координат.

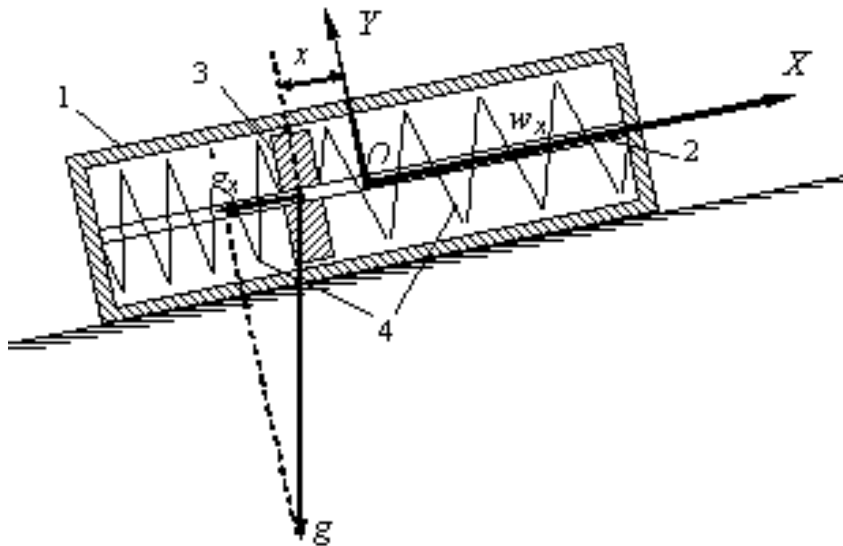
Обов'язковим елементом акселерометра є чутлива маса – деяке фізичне тіло, яке має певну масу. Цей елемент називається: тягарик, якір, інерційна маса, чутливий елемент тощо. Чутлива маса акселерометра, зазвичай, має правильну геометричну форму, наприклад форму циліндра, і пружно зв'язана за допомогою механічних пружин або «електричної пружини» компенсаційного типу з корпусом пристрою.

Залежно від характеру переміщення чутливого елемента відносно корпусу пристрою розрізняють акселерометри з лінійним переміщенням чутливого елемента відносно корпусу – це осьові акселерометри, і акселерометри з кутовим переміщенням чутливого елемента відносно корпусу – маятникові акселерометри [2].

За способом підвісу чутливого елемента відносно корпусу пристрою є багато конструктивних рішень, наприклад, акселерометри з механічним підвісом чутливого елемента на жорсткій опорі (на підшипниках, призмах, роликах тощо); з гнучким підвісом (на торсіонах); з гідростатичним або гідродинамічним підвісом чутливого елемента (поплавкові). Можливі також магнітні, електростатичні, кріогенні, а також комбіновані підвіси. В інерціальних системах, зазвичай, застосовують прецизійні поплавкові осьові та маятникові акселерометри з «електричною пружиною» компенсаційного типу.

З метою зручності сполучення акселерометра з цифровим обчислювачем сигнал на його виході повинен бути дискретним. Перетворення вихідного сигналу в дискретний може бути виконано або за допомогою спеціальних перетворювачів типу АЦП — аналого-цифрових перетворювачів, або безпосередньо за допомогою пристроїв, що вимірюють переміщення чутливої маси. За цією ознакою як осьові, так і маятникові акселерометри класифікуються як аналогові, аналогові з дискретними приставками та

На рис. 1 показана кінематична схема однокомпонентного осьового акселерометра.



У корпусі 1 по напрямній 2 може переміщуватися чутливий елемент 3, який зв'язаний з корпусом за допомогою пружини 4. Корпус пристрою заповнюють рідиною, яка забезпечує демпфірування коливань чутливого елемента відносно корпусу.

Описані вище компенсаційні схеми побудови пристроїв знаходять застосування в прецизійних високоточних акселерометрах. Але, окрім них все більшого поширення набуває застосування досить грубих, але мініатюрних датчиків первинної інформації. Достоїнство таких систем, насамперед, у їх надзвичайно малих розмірах, масі, енергоспоживанні.

Серед мікромеханічних датчиків особливо слід відзначити датчики, які виготовлені з використанням *MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)* - технологій. *MEMS* – фотолітографічна технологія, яка дозволяє виготовляти кремнієві мікросхеми з мініатюрними механічними елементами. Вона є перспективним напрямком розвитку мікроелектроніки, оскільки з її допомогою вдається побороти обмеження, які довгий час були перепорою з мікромініатюризації деяких компонентів, які утримують механічні деталі.

Прикладом таких датчиків може бути акселерометр об'ємної конструкції. Цей датчик (рис. 2) складається з кремнієвої рамки 1 і інерційної маси 2. Двома тонкими торсіонами 3 і 4 інерційна маса з'єднана з кремнієвою рамкою. Ця маса з'єднується з одного краю кремнієвої рамки механічно, а з іншого краю через пару імплантованих п'єзореzystорів 5 і 6, які створюють напівміст. Два напівмости з'єднуються в мостову схему. При впливі прискорення a (див. рис. 2) інерційна маса переміщується, згинаючи торсіони та викликаючи деформацію п'єзореzystорів. Таким чином, датчик і розташована поза кристалом електронна схема обробки сигналів через деформацію п'єзореzystорів, включених за схемою моста Уїтстона, створюють при впливі прискорення вихідний сигнал, який надходить до споживачів, зокрема в схему безплатформної ІНС.

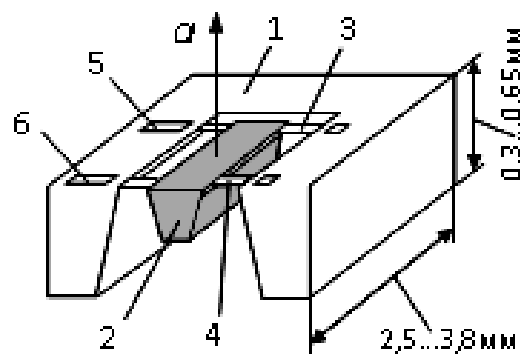


Рисунок 2 – Акселерометр об'ємної конструкції

Компанія *Analog Devices* виготовляє сім'ю акселерометрів *ADXL* поверхневої конструкції, виконаних на полікристалічному кремнії. Увесь кристал акселерометра розміром 3,05×3,05 мм зайнятий головним чином схемами формування сигналу, які оточують мініатюрний датчик прискорення розміром 1×1 мм, розташований у його центрі. Датчики виготовляються методом поверхневої обробки, яка передбачає осадження тонких плівок

певного матеріалу на основу кристала з наступним витравленням необхідної конструкції рухомої діафрагми. Нижче наведені схема (рис. 3, а), конструкція (рис. 3, б) і багаторазово збільшені елементи кристала акселерометра (рис. 3, в).

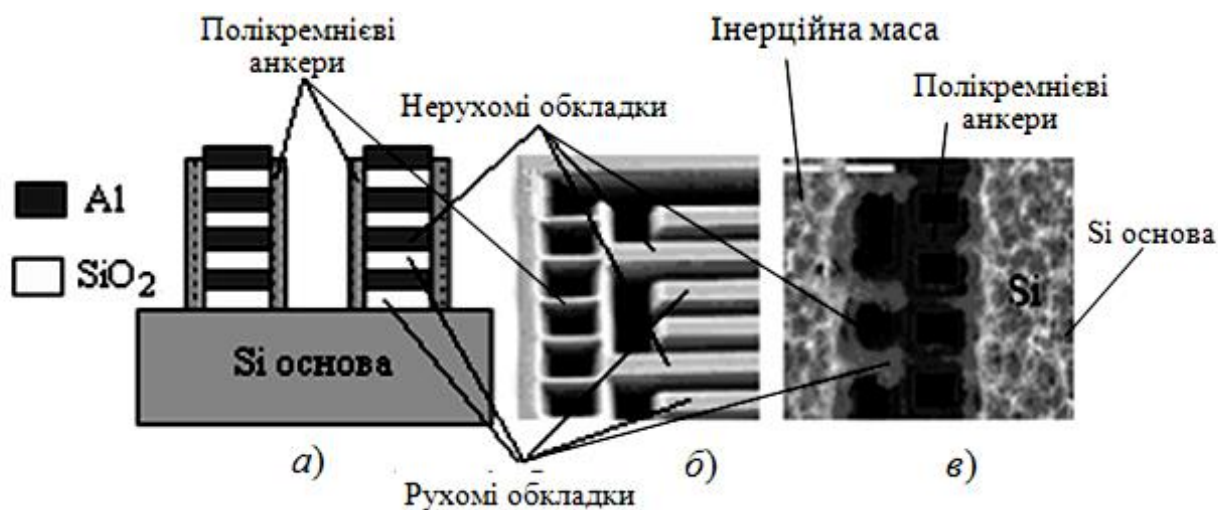


Рисунок 3 – Кристал акселерометра

Датчик вихідних сигналів акселерометра являє собою диференціальну конденсаторну структуру з повітряним діелектриком, обкладки якого витравлені із плоского елемента полікремнієвої плівки товщиною 2 мкм. Нерухомі обкладки цього конденсатора – це прості алюмінієві консольні стрижні, що розташовані на висоті 1 мкм від поверхні кристала в повітрі на полікремнієвих стовпчиках-анкерах, приварених до кристала на молекулярному рівні. Рухомі обкладки конденсатора утворюються пальцеподібними виступами інерційної маси.

На рис. 4 показаний конструктивний блок елементарної ємнісної комірки датчика. Фактично датчик має 54 елементарні комірки для вимірювання прискорення, але для простоти на рисунку показано тільки одну комірку. Інерційна маса 1 датчика прискорення при зміні швидкості переміщення кристала зміщується відносно основної частини кристала. Її пальцеподібні виступи 2 утворюють рухому обкладку конденсатора. З кожного кінця ця структура змінної ємності спирається на стовпчики-анкери 3, які аналогічні за конструкцією тримачам нерухомих обкладок 4 і 5. Розтяжки 6 по кінцях інерційної маси, що утримують її у висячому положенні, є як би механічними пружинами сталої пружності, які обмежують переміщення інерційної маси та забезпечують її повернення у вихідне положення.

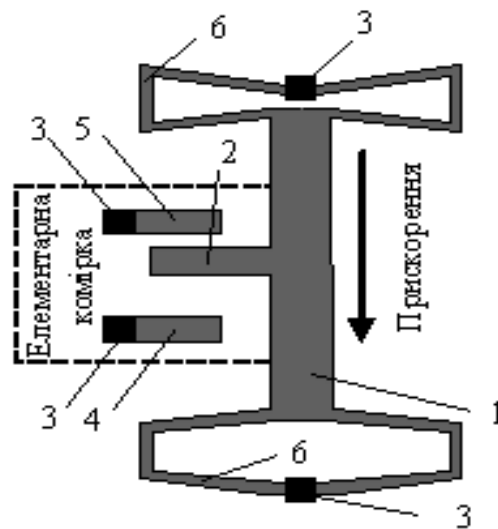


Рисунок 4 – Елементарна ємнісна комірка датчика

Оскільки переміщення інерційної маси повинно відбуватися в площині полікремнієвої плівки, то вісь чутливості датчика лежить у цій площині і вона паралельна площині друкованої плати, до якої припаюється датчик.

Кожен з наборів (54 набори) нерухомих обкладок конденсатора електрично з'єднаний паралельно усередині схемного кристала. В результаті створюється пара незалежних конденсаторів, рухома обкладка яких утворена всією сукупністю пальцеподібних виступів інерційної маси. Усередині кристала ці три обкладки підключені до вбудованих схем формування сигналу акселерометра. У спокійному стані (рух зі сталою швидкістю) усі «пальці» рухомої обкладки завдяки розтяжкам знаходяться на однаковій відстані від пар пальців нерухомих обкладок. При будь-якому прискоренні рухомі пальці наближаються до одного з наборів нерухомих пальців і віддаляються від іншого набору. В результаті цього відносного переміщення відповідні відстані стають неоднаковими і ємності між рухомою обкладкою і кожною з нерухомих обкладок змінюються, тобто змінна ємність є вихідним сигналом мініатюрного датчика прискорення. Оточуючі датчик мікросхеми формують вихідний сигнал акселерометра за схемою, що наведена на рис. 5.

Датчик акселерометра і схема формування сигналу являють собою замкнутий контур зі зворотним зв'язком для зрівноважування сил. Протифазні сигнали прямокутної форми частотою 1 МГц однакової амплітуди надходять від генератора відповідно на верхню і нижню нерухомі обкладки конденсатора датчика. Ємності між нерухомими і рухомими обкладками при відсутності прискорення однакові, тому сигнал з диференціального моста, у плечі якого

включені конденсатори датчика, дорівнює нулю. При дії прискорення змінюються ємності конденсаторів датчика і на виході диференціального моста з'являється сигнал, причому його амплітуда залежить від величини зміщення рухомої обкладки, тобто від різниці ємностей конденсаторів датчика, а фаза визначається знаком прискорення.

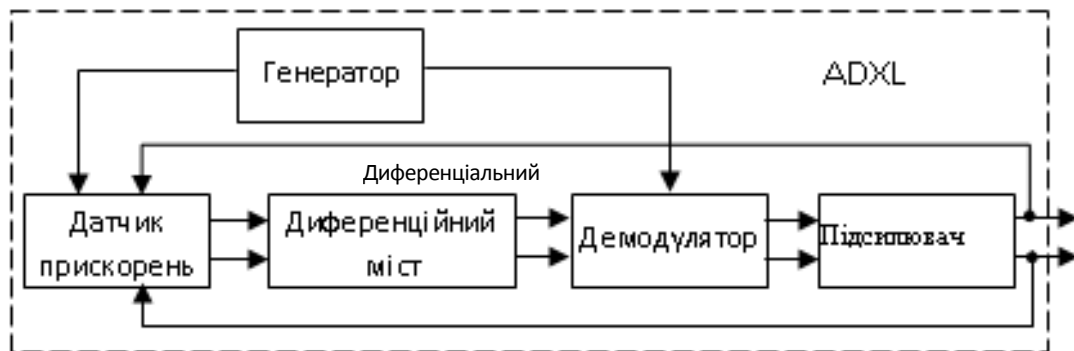


Рисунок 5 – Формування вихідного сигналу акселерометра

Фазочутливий демодулятор перетворює цей сигнал у низькочастотний (частотою від 0 до 1000 Гц), який характеризує величину і знак прискорення. Далі сигнал у вигляді напруги надходить на підсилювач, а з його виходу — на зовнішній вивід *ADXL*.

Щоб зменшити вплив температури навколишнього середовища, тимчасові зміни параметрів, знизити нелінійність перехідної характеристики акселерометра, розробники ввели негативний зворотний зв'язок за положенням інерційної маси. Для цього напруга з виходу підсилювача подається на рухомі обкладки датчика, створюючи електростатичні сили між рухомими і нерухомими обкладками, які прагнуть установити інерційну масу у вихідне положення. Оскільки в цьому випадку система стеження має високу надійність, інерційна маса ніколи не буде відхилятися від свого вихідного положення більш, ніж на 0,01 мкм.

До числа таких малогабаритних *MEMS*-датчиків слід віднести цифрові нанометрові кремнієві акселерометри, конструкція яких аналогічна вищенаведеним, і які вже використовуються як основні датчики прискорень, наприклад, у безплатформній курсовертикалі БКВ-95.

Цифровий кремнієвий датчик має дві основні складові: компактний акселерометр з маленькою інертною масою, підвішеною на мініатюрних

пружинах, який виготовлений за *MEMS*-технологією, і спеціальну керувальну мікросхему.

Три ортогональні компоненти створюють ядро цифрового тривісного датчика перевантаження.

Крім розглянутих варіантів, у даний час виготовляються мікромеханічні п'єзоплівкові акселерометри низької точності, п'єзоелектричні акселерометри підвищеної точності, а також інші менш розповсюджені конструкції.

Уперше в практиці геодезичного приладобудування розроблено двокоординатний мобільний автоматичний вимірювач ухилів, діючий макетний зразок якого [10] пройшов експериментальну апробацію при вимірюванні поздовжніх і поперечних ухилів, а також нерівностей на нещодавно побудованій штучній злітно-посадковій смузі в «Міжнародному аеропорту «Харків».

Пристрій розміщується на рухомій платформі, яка може бути виконана за двома варіантами. Перший варіант виконано на триколісній платформі з ручним приводом. Другий варіант може бути виконаний на гусеничному шасі з незалежним приводом на кожну гусеницю, він керується дистанційно по радіоканалу і фактично є робототехнічною системою.

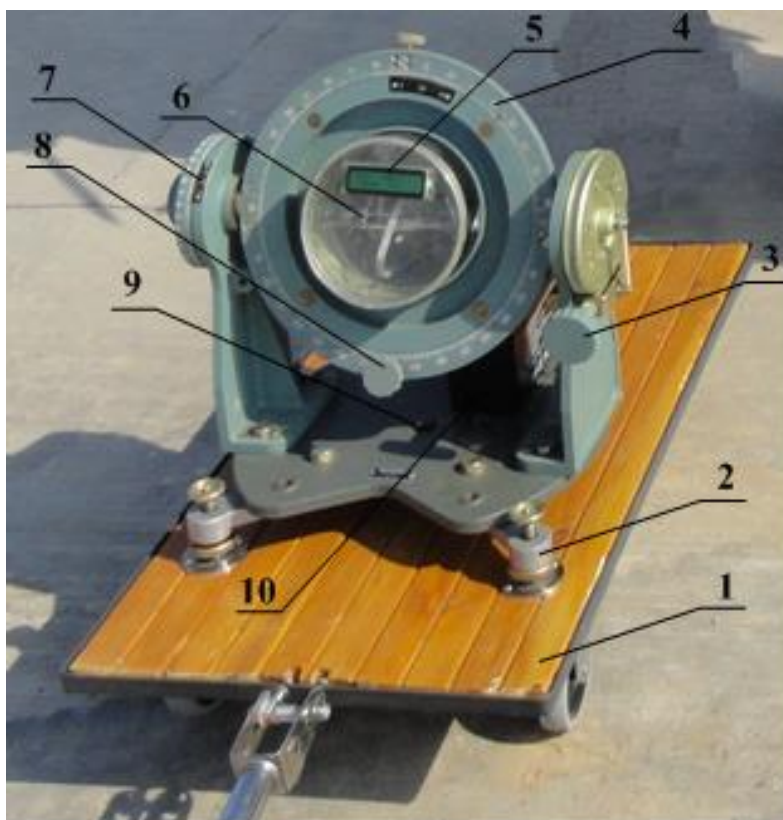
В діючому макеті використовується триколісна платформа, на якій встановлено спеціальний двовісний рухомий кронштейн. Платформа і кронштейн горизонтуються в двох площинах. Рухомий кронштейн виконує функцію калібрувального пристрою, за допомогою якого виставляються нульові значення у вихідній точці вимірювання. Зовнішній вигляд макету зображено на рис. 6.

В центрі кронштейна розміщена мікрогіроскопічна система з трикоординатним гіроскопом і акселерометрами. Інформація з мікроконтролера відображається на рідкокристалічному дисплеї у вигляді значень кутових мінут і градусів одночасно для поздовжнього і поперечного ухилів відносно основи платформи.

Кутові розузгодження визначаються за допомогою оригінального програмного забезпечення в мікроконтролері.

Діапазон вимірювання ухилів за кожною координатою — $\pm 45^\circ$ (кутових градусів). Ціна молодшого розряду — ± 3 (кутові мінути).

Габарити мобільного автоматичного вимірювача ухилів ВУ-01 — 710x420x600 мм. Маса вимірювача — 12 кг.



1 – основа, 2 – регульована опора, 3 – маховик по тангажу, 4 – лімб, 5 – LCD-індикатор, 6 – MEMS-датчики, 7 – лімб, 8 – маховик по крену, 9 – двокоординатний датчик горизонту, 10 – акумулятор

Рисунок 6 – Конструкція вимірювального модуля

Структурна схема пристрою наведена на рис. 7.

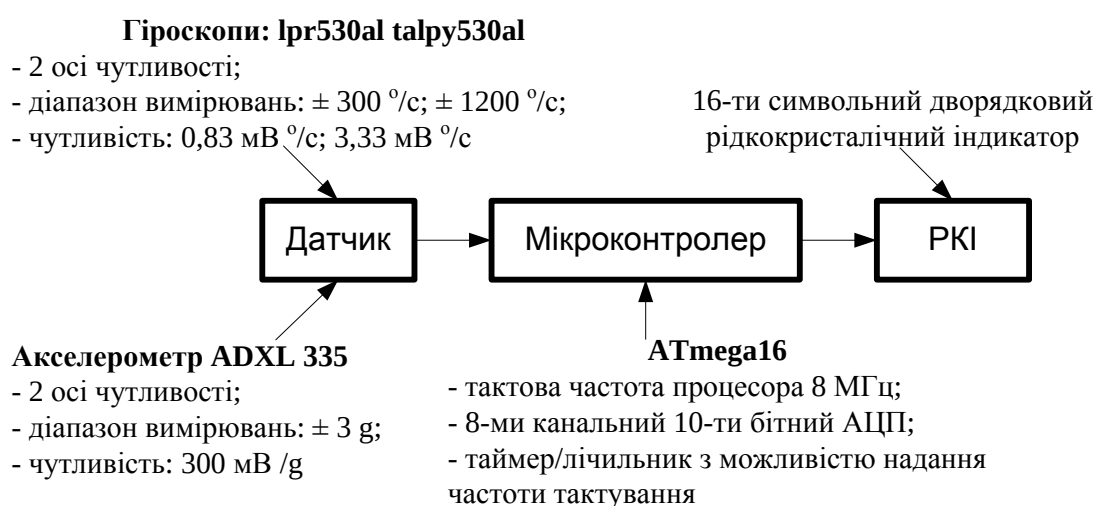


Рисунок 7 – Структурна схема пристрою

Пристрій вимірює поздовжній та поперечний кути ухилу (крену і тангажа) за допомогою мікроелектромеханічних датчиків – акселерометра та гіроскопа. Ці датчики при застосуванні певних алгоритмів фільтрації при обробці інформації від них забезпечують достатню точність в визначенні кутів [9].

Працездатність вимірювача ВУ-01 було апробовано в процесі вимірювання поздовжніх і поперечних ухилів на окремих фрагментах щойно збудованої ЗПС довжиною 2,5 км та шириною 45 м в «Міжнародному аеропорту «Харків».

Експериментально досліджувалися наступні фрагменти ЗПС:

- початкова ділянка ЗПС довжиною 660 м з метою визначення величини та знака поздовжнього ухилу з одного боку відносно осі ЗПС,
- нерівності плити, які були виявлені при вимірюванні традиційним методом (триметровою лінійкою з кроком вимірювання 10 см).

Дослідження проводилися одночасно з вимірюванням традиційними геодезичними методами шляхом нівелювання поверхні ЗПС. Крок нівелювання дорівнював 60 м, а за допомогою вимірювача ВУ-01 вимірювалися ухили кожної плити з кроком 7,5 м.

Дослідження поздовжнього похилу ЗПС

Дослідження вимірювачем ВУ-01 виконувалися наступним чином. У вихідній (нульовій) точці початкової ділянки ЗПС проведено горизонтування вимірювача, після чого проведено переміщення платформи вздовж першої плити не дійшовши одного метра до її стику з другою плитою, де були зняті перші вимірювання. Далі вимірювання проводилися на наступних плитах в аналогічних точках. Кожному вимірюванню передувала зупинка не більше 10 секунд для фіксації декількох результатів.

Таким чином, був пройдений шлях довжиною 660 м в одному напрямі по кожній плиті, а потім назад з розворотом вимірювача та вимірюваннями в тих же самих точках.

Результати вимірювання наведені на рис. 8, де пунктиром позначена межа $\pm 28'$ (кутових мінут), а позначками Δ — значення ухилів при переміщенні «вперед» і $\square$ — при переміщенні «назад».

Зв'язок між дискретними значеннями ухилів по плитах виконано за методом лінійної апроксимації.

З наведених графіків видно, що поздовжній ухил на відстані 660 м не перевищує 0,08, тобто 28'(кутових мінут), а поздовжній ухил на початковій ділянці ЗПС в межах 416 м має в своїй більшості один напрям.

Дослідження ремонтного фрагмента ЗПС

Традиційно нерівності плит вимірюються лінійкою довжиною 3 м, під якою через 10 см вимірюють зазори. При зазорах більше 0,5 см ця ділянка плити вирізається і знову бетонується. Ремонтна ділянка дорівнювала площі 30 м² (6×5 м). Провести нівелювання на такій ділянці можна, але досить трудомістко.

Ремонтний фрагмент мав інтерес для вимірювання нерівномірностей ухилів за двома координатами. Пристрій ВУ-01 переміщувався всередині прямокутника на відстані 1 м від кожного краю фрагмента (рис. 9).

На рис. 10 наведені результати вимірювань поперечних, а на рис. 11 — поздовжніх ухилів ремонтного фрагмента. Графіки виконані методом лінійної апроксимації.

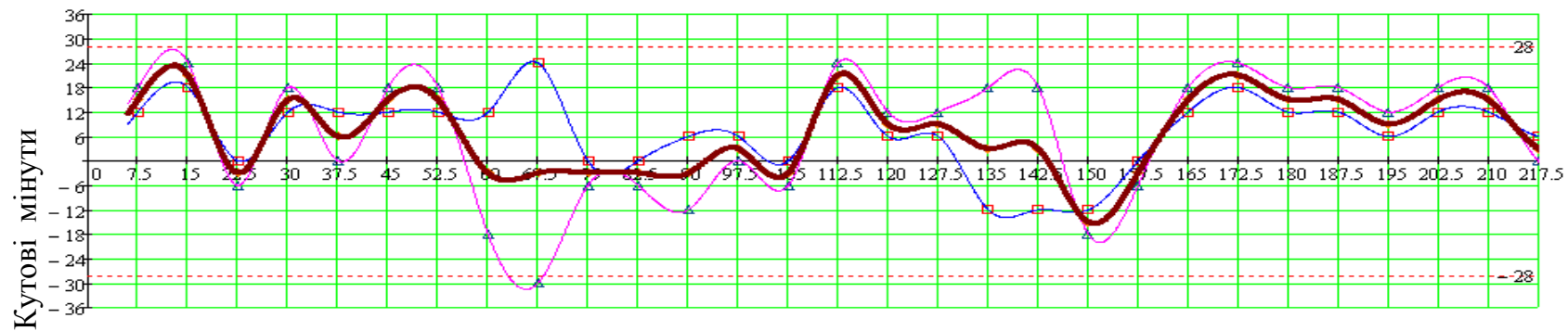
Вимірювання проводилися переміщенням модуля за стрілкою годинника. В кутах прямокутника модуль розвертався на дев'яносто градусів.

Результати вимірювань

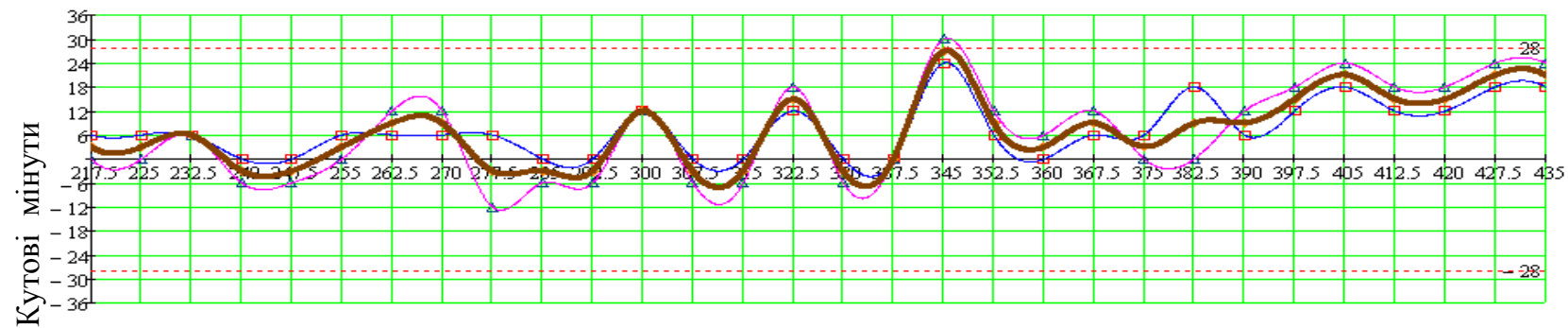
Поздовжні ухили ремонтного фрагмента не перевищують 0,008, тобто 28' (кутових мінут), та відповідають вимогам СНіП.

Поперечні ухили виконані більше 0,015, тобто 52' (кутових мінут), та знаходяться в діапазоні 1,2–0,75° (кутових градусів).

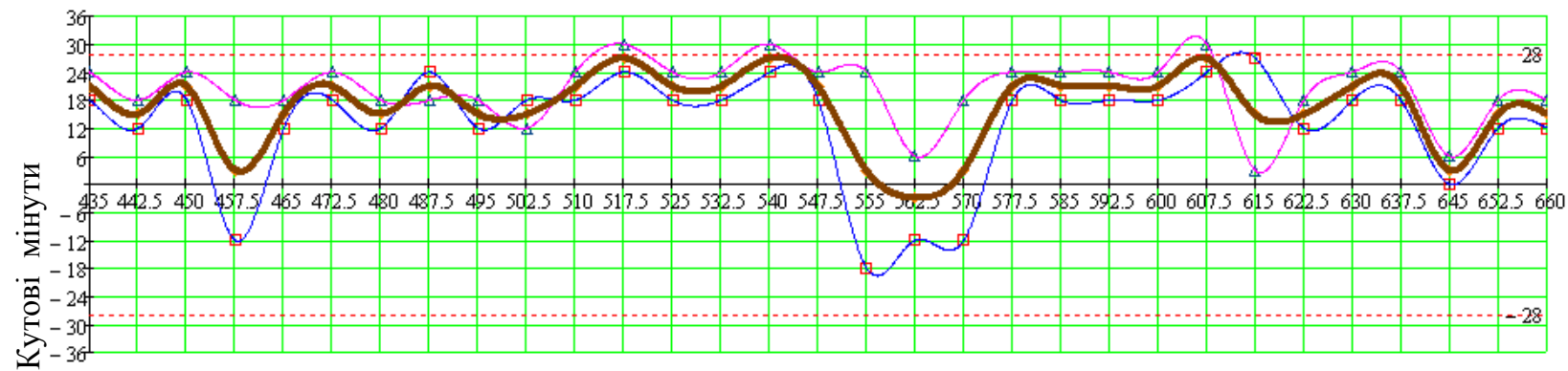
При вимірюванні зліва виявлена одна точка 0,75° (кутових градусів), яка на 6' (кутових мінут) менша допуску.



а)



б)



в)

а) на ділянці від 0 до 217 м; б) на ділянці від 217 м до 435 м; в) на ділянці від 435 м до 660 м

Рисунок 8 – Результати вимірювання

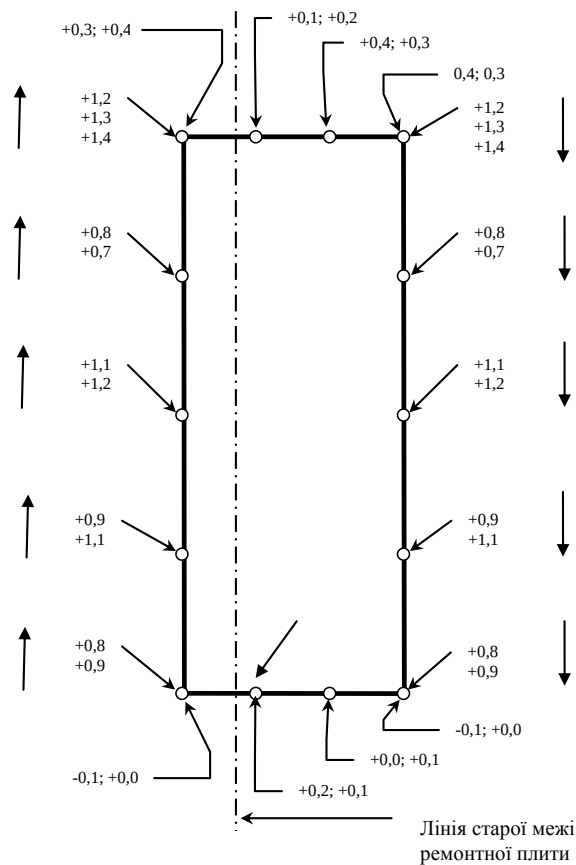
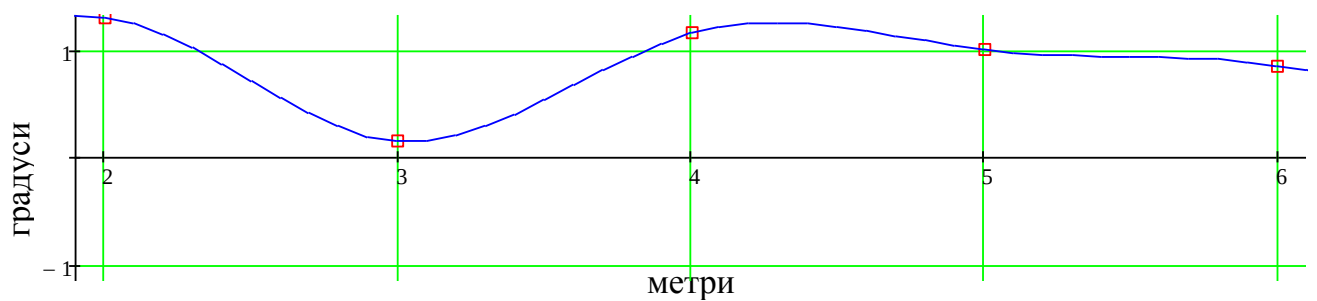
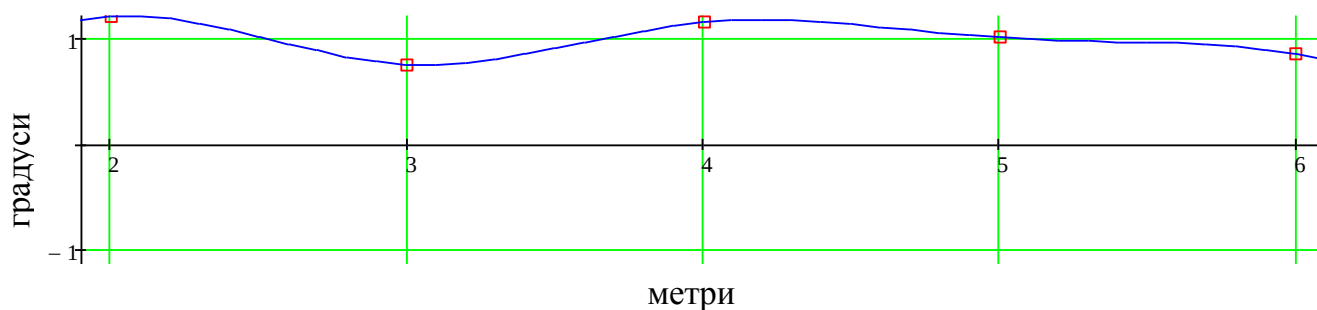


Рисунок 9 – Схема дослідження ремонтного фрагмента ЗПС



а)



б)

Рисунок 10 – Результати вимірювань поперечних ухилів: а) – права сторона; б) – ліва сторона

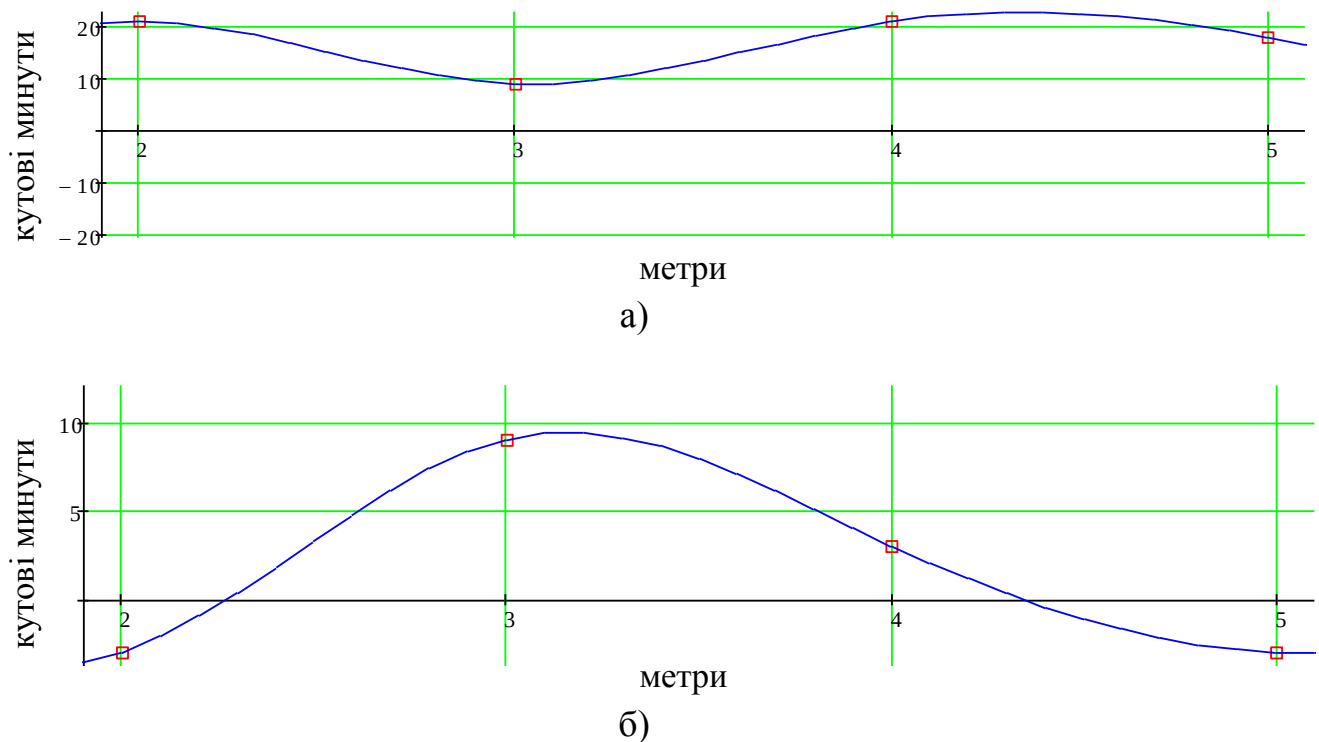


Рисунок 11 – Результати вимірювань поздовжніх ухилів: а) – верх; б) – низ

Висновки

1. Розроблено малогабаритний пристрій на сучасній елементній базі, яка використовується для акселерометрів та гіроскопів.
2. Обробка інформації з виходу пристрою за допомогою мікроконтролера та оригінального програмного забезпечення дозволила отримати інформацію одночасно за двома координатами в діапазоні $\pm 45^\circ$ (кутових градусів) з ціною молодшого розряду $\pm 3'$ (кутові мінуты).
3. Проведені дослідження фрагментів ЗПС в «Міжнародному аеропорту «Харків» показали, що за допомогою пристрою ВУ-01 можна оперативно та достовірно проводити вимірювання ухилів і нерівностей як кожної плити, так і окремих її фрагментів без використання геодезичних приладів та лінійки, що значно зменшує трудомісткість вимірювань.
4. Експериментальні дослідження також показали, що початкова ділянка нової ЗПС в «Міжнародному аеропорту «Харків» виконана в межах допуску, тобто з ухилом не більше 0,008 (28') і має практично один знак ухилу, але кожна плита має невеликі кутові відхилення одна від одної. Дослідженнями також визначено декілька нерівностей на окремих плитах в діапазоні 0-28' (кутових мінут).

5. Розроблена макетна конструкція пристрою показала, що на основі макету можливо розробляти конструкторську документацію мобільного двокоординатного вимірювача ухилів для виготовлення дослідної партії пристроїв, які можна використовувати як для дослідження якості ЗПС, так і сучасних дорожніх покриттів, залізничних колій, тунелів, гірських виробок, стічних колекторів тощо.

6. Проведені також певні дослідження з розробки малогабаритного мобільного вимірювача-робота, який може сам за програмою або по каналу радіокерування виконувати вимірювання в тих місцях, де людині-оператору важко або зовсім неможливо пересуватися.

Література

1. СНиП 2.05.08.85. Аэродромы /Госстрой СССР. – М.:ЦИТП Госстроя СССР,1985. – 59 с.
2. Патент України №22079 А МПК G 01 B 3/02, G 01 C 9/00, 2006.
3. Патент РФ № 2142613, МКИ G 01 C 9/00, 1998.
4. Авт. свид. СССР № 187324, МКИ G 01 C 9/16, 1966.
5. Свидетельство РФ на полезную модель № 12607, МКИ G 01 З 9 / 06, 20.01.2000.
6. Щилова М.А., Черноморский А.И. Одноосная колесная платформа-измеритель уклонов аэродромных покрытий. Проектно-конструкторские и производственные вопросы создания перспективной авиационной техники / Под ред. проф. Ю.Ю. Комарова. – М.: Изд-во МАИ, 2009. – 424 с.
7. Філяшкін М. К., Рогожин В. О., Скрипець А. В., Лукінова Т. І. Інерціально-супутникові навігаційні системи: навч. посіб. – К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 272 с.
8. Мельніков Д. Є., Кіреєв М. Е., Смолич Д. В. Пристрій для визначення кутового положення літака в просторі на основі MEMS-акселерометра та гіроскопа. – Наука і молодь. Прикладна серія: збірник наукових праць/ МОН; Національний авіаційний університет. —К.: 2010. – Вип. 10. – С. 27-30.
9. Мельніков Д. Є., Кіреєв М. Е., Смолич Д. В., Волков О. Є., Волошенюк Д. О., Самокіша Т. В., Черноус Т. М. Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір № 38841 – Комп'ютерна програма «Комплексування інформації, отриманої від MEMS - акселерометрів та гіроскопів для визначення кутового положення літака в просторі на основі оптимального рекурсивного фільтра Калмана». – 2011.
10. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка діючого модуля для визначення поздовжніх та поперечних ухилів та рівності поверхні аеродромних покриттів. Проведення замірів ухилів та рівності на новій злітно-посадковій смугі в міжнародному аеропорті «Харків» (Основа)» (Договір про створення (передачу) науково-технічної продукції між Українським державним проектно-технологічним, науково-дослідним інститутом цивільної авіації «Украеропроект» і Національним авіаційним університетом від 23.06.2011 р. № 753-ХІІ).

УДК 625.7/.8:338

Ігнатюк В.В.

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГРАМИ РЕМОНТІВ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

Анотація. У статті розглянута можлива математична модель програми ремонтів автомобільних доріг для досягнення заданого стану дорожнього одягу на мережі доріг за задану кількість років.

Ключові слова: математична модель, дорожній одяг, методи оптимізації, програма робіт, стан доріг.

Аннотация. В статье рассмотрена возможная математическая модель программы ремонтов автомобильных дорог для достижения заданного состояния дорожной одежды на сети дорог за заданное количество лет.

Ключевые слова: математическая модель, дорожная одежда, методы оптимизации, программа работ, состояние дорог.

Annotation. In the article possibility of the mathematical model of the program of roads repairs work to achieve a given condition of pavement on the road network for a specified number of years.

Keywords: mathematical model, pavement, optimization techniques, programme of repairs control, the conditions of roads.

Постановка проблеми. Ефективність експлуатації автомобільного транспорту та безпека руху в значній мірі залежить від стану автомобільних доріг. Особливістю експлуатації автомобільних доріг на сучасному етапі розвитку дорожнього господарства є гострий дефіцит фінансових ресурсів [1]. За таких умов задача удосконалення управління станом автомобільних доріг набуває особливої актуальності. Обґрунтування програми ремонтів дорожніх одягів за допомогою математичних методів оптимізації актуальне, але являє собою складну техніко-економічну задачу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Програма робіт з ремонту доріг найчастіше розглядається як програма робіт з ремонту дорожнього одягу.

Систематичний оптимізаційний підхід в управлінні дорожнім одягом розвивається на протязі останніх кількох десятиріч у зв'язку з розробкою систем управління дорожнім одягом (англ. Pavement Management System – PMS, укр. Системи управління станом дорожнього покриття). Фундаментом для цих підходів є використання методів математичного програмування, які дозволяють, при виконанні певних умов, знайти найкраще (оптимальне) рішення.

Golabi та ін. (1982) розробили комбіновану модель, яка включає прогнозування стану дорожнього одягу за допомогою ланцюгів Маркова та мінімізацію загальних витрат методом лінійного програмування (ЛП). Використання в цій моделі змінних «частка мережі» призводило до втрати інформації про місцезнаходження ділянок ремонту. Цей підхід був розширений і використаний Wang із співавторами (1993, 1994, 1995) та Liu (1996). Крім того він був застосований в системах управління дорожнім одягом в штатах Аляска, Канзас та в Португалії (Alviti із співавторами, 1994, Golabi, 2002). Grivas із співавторами (1993) запропонували модель ЛП для розподілу бюджетних коштів по періодах на мережевому рівні управління станом дорожнього одягу. Ця модель була розроблена з урахуванням ефективної взаємодії економічних і технічних факторів [2].

Враховуючи той факт, що ремонт необхідний лише у певні моменти, можна дискретизувати плановий горизонт і сформулювати проблему ремонту як частково - цілочисельну математичну модель [2].

Jacobs спростив проблему частково - цілочисельного лінійного програмування, приймаючи інтенсивність капітальних ремонтів, як константу

і криву деградації як кусочно-лінійну функцію. Проте, не лінійності мають місце і в деградації дорожнього одягу і в ефективності капітальних ремонтів [3]. Для розв'язання повністю цілочисельних та частково-цілочисельних задач використовується метод гілок та границь, запропонований в 1960 році А. Land та G. Doig [4].

Для багатокритеріальної оптимізації програм ремонтів використовується метод цільового програмування, вперше запропонований Charnes та ін. (1955) та застосований відносно доріг Sinha (1981), Ravirala та Grivas (1995). Метод використовує поняття мінімальної відстані від кращого випадку, це означає, що ідеальним рішенням було б мінімізувати зважену суму відхилень всіх цільових функцій від своїх цілей. Головним недоліком цієї технології є (Zeleny 1982; Lee і Olson 1999): глобальна збіжність оптимальності не гарантується в деяких випадках; зважене цільове програмування може зробити неможливою оптимізацію рішень за Pareto.

В Україні для обґрунтування програм капітальних і поточних ремонтів дорожніх одягів на основі мінімізації приведених дорожньо-транспортних затрат використовується Система управління станом покриття (СУСП), теоретичні основи якої було розроблено в роботах Кизими С.С., виконаних з 1970-х років до останнього часу [5]. Оптимізація програм ремонтів в СУСП здійснюється за критерієм мінімізації дорожньо-транспортних витрат на основі евристичного алгоритму. Алгоритм ґрунтується на пріоритетах ділянок доріг: в першу чергу, в програму ремонтів вибираються такі ділянки доріг, які мають найвищий коефіцієнт ефективності капітального ремонту, рівний відношенню різниці сумарних приведених середньорічних дорожньо-транспортних витрат так званої нульової стратегії (без подальших поточних відновлювальних ремонтів) і таких же витрат при різних можливих стратегіях подальших поточних ремонтів до витрат на ремонтні роботи. Методи оптимального програмування для управління станом автомобільних доріг були розроблені в роботі Демішкана В.Ф. [1].

Виклад основного матеріалу. Процес управління транспортно-експлуатаційним станом автомобільних доріг є складовою частиною взаємодії більш складної (ієрархічної) за структурою автомобільно-дорожньої системи, головними елементами якої є на вході: параметри автомобілів, елементи доріг, вимоги з боку учасників руху, ресурси на ремонт і утримання, а кінцевим продуктом їх взаємодії є зручність і безпека руху, продуктивність

транспортних засобів, пропускна і провізна спроможність доріг, собівартість перевезень (рис.1).

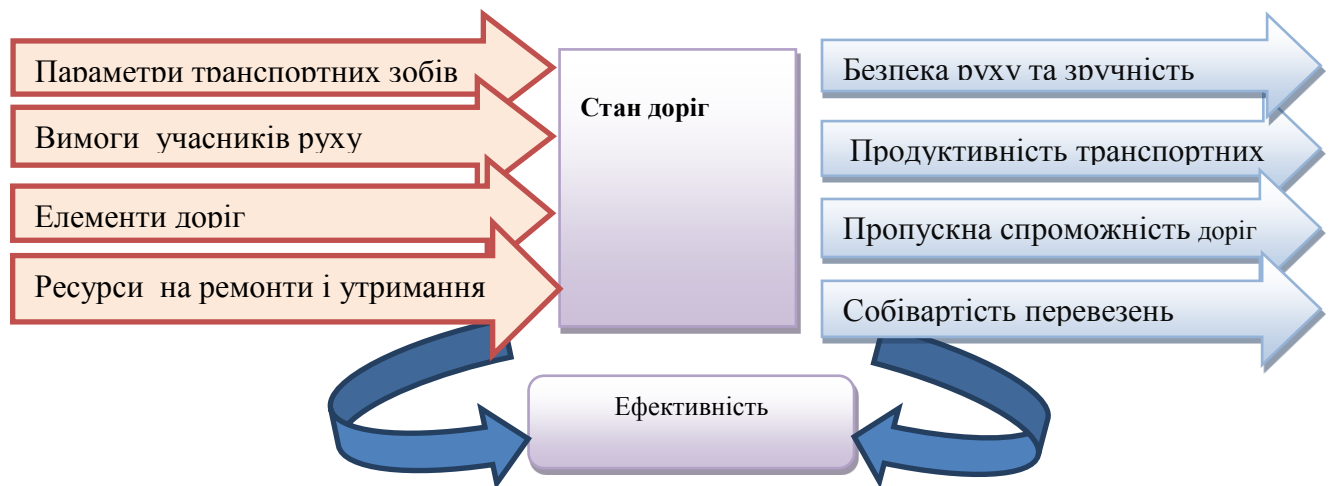


Рисунок 1 – Головні елементи автомобільно-дорожньої системи

У процесі функціонування автомобільно-дорожньої системи є широкі можливості переведення її з одного стану в інший при використанні відповідних управляючих впливів на окремі елементи (наприклад, на транспортно-експлуатаційний стан доріг, на розподіл транспортних потоків по мережі доріг, на інтенсивність і склад транспортного потоку) або одночасно на сукупність елементів системи. У всіх випадках одним з основних критеріїв вибору керуючого впливу на систему і прийняття керуючого рішення є економічна ефективність функціонування автомобільно-дорожньої системи, яка робить вирішальний вплив на собівартість автомобільних перевезень.

Особливостями функціонування автомобільно-дорожньої системи є її випадковий характер і децентралізація взаємодії елементів системи; система включає численні самостійно діючі елементи, що піддаються керуючим рішенням і діям, прийнятим ізольовано один від одного. Випадковий характер функціонування системи обумовлений, зокрема, значним несприятливим впливом імовірнісних факторів клімату на дорожні умови і ймовірнісної природою формування і руху транспортних потоків.

Фактичний експлуатаційний стан дороги, являє собою результат двох протилежних процесів :

- процесу розвитку пошкоджень елементів доріг;
- процесу ліквідації пошкоджень шляхом виконання робіт з ремонту та утримання доріг.

Проблему довготривалої оптимізації можна сформулювати як багатовимірну задачу дискретної оптимізації.

Нехай I - це кількість секцій (ділянок) дорожнього одягу, T – тривалість планового періоду (років), J – кількість альтернатив робіт, які необхідно провести в кожній секції у визначені проміжки часу. Нехай E_{ijt} - ефективність альтернативи j для секції i в проміжок часу t ; c_{ijt} - вартість альтернативи j для секції i в період t ; B_t – бюджет в періоді t ; N_{ij} – максимальна кількість разів використання альтернативи j протягом періоду планування; PQ_{iT} – рівень якості дорожнього одягу в секції i на кінець планового періоду T ; Δp_j – відновлювальний ефект альтернативи j ; s – рівень якості одягу, за якого секція дорожнього покриття вважається такою, що не потребує ремонту протягом даного періоду t ; m , M – мінімальний та максимальний рівні якості дорожнього одягу. Значення змінної рішення X_{ijt} дорівнює 1, якщо альтернатива j для секції i в проміжок часу t призначена, і 0 якщо альтернатива j не призначена. A – сума секцій з потрібним рівнем стану на кінець планового періоду.

Проблема узгодження взаємопов'язаних стратегій в рамках фіксованого планового періоду і максимізації загального рівня якості дорожнього одягу, з умови не перевищення наявного бюджету в кожному періоді, не перевищення допустимої частоти робіт в рамках планового періоду з припущенням, що невикористані частини бюджету в певному періоді переходять в наступні періоди, може бути сформульована як багатовимірна 0-1 задача про ранець з альтернативним відбором та з пріоритетом техніко-економічних обмежень:

$$\max \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J E_{ijt} \times X_{ijt} \quad (1)$$

Повинні виконуватись умови:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ijt} X_{ijt} \leq B_t, \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T X_{ijt} \leq N_{ij}, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{ijt} = 1, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I i \geq A, \forall PQ_{iT} \geq m, \quad (5)$$

$$PQ_{it} \geq s \Rightarrow \sum_{j=2}^J X_{ijt} = 0, \quad (6)$$

$$PQ_{i,t-1} + \sum_{j=1}^J \Delta p_j X_{ijt} \leq M, \quad (7)$$

$$X_{ijt} \in \{0,1\}, \quad (8)$$

Функція цілі (1) максимізує загальну ефективність системи. Бюджетні обмеження (2) визначають, що витрати на вибрані альтернативи не можуть перевищувати бюджет в кожному періоді. Обмеження (3) забезпечують те, що певні альтернативи на певних секціях дорожнього покриття не можуть застосовуватися частіше ніж це допустимо з технологічних причин в рамках планового періоду. Обмеження (4) змушує вибирати одну і тільки одну альтернативу для кожної секції в будь-який проміжок часу. Обмеження (5) використовується для відкидання будь-якої стратегії, яка не забезпечує потрібний мінімальний рівень якості дорожнього покриття на кінець планового періоду. Обмеження (6) забезпечує те, що секція дорожнього покриття не вважається такою, що потребує ремонту, якщо її стан кращий, ніж зумовлений в даний період. Обмеження (7) робить альтернативи неможливими, коли стан якості відновленого дорожнього покриття штучно більший ніж максимально можливий, і набір обмежень (8) відображає можливі значення змінних рішень. Існує три види обмежень, пов'язаних з цією проблемою: ресурси, вибір альтернативи та пріоритет техніко-економічних обмежень. Обмеження ресурсів включає в себе обмеження (2) та (3). Обмеження (4) - це обмеження вибору альтернативи. Обмеження (5) задає той необхідний стан дорожнього одягу всієї мережі, який планується досягти. Обмеження (5), (6) та (7) стосуються пріоритетів техніко-економічних обмежень.

Для відновлення стану мережі автомобільних доріг до заданого стану застосуємо метод імітаційного моделювання, що полягає в розробці програмного алгоритму процесу функціонування мережі автомобільних доріг з ймовірністю потреби в ремонтах.

Імітаційне моделювання визначається як експериментування з моделлю реальної системи. Необхідність вирішення задачі шляхом експериментування стає очевидною, коли виникає потреба отримати про систему специфічну інформацію дослідницького характеру.

Алгоритми оптимізації стратегій ремонтів автомобільних доріг складаються з двох головних модулів – модулю деградації елементів дороги і модулю оптимізації стратегії ремонтів за одним або багатьма (звичайно двома) критеріями, причому в останньому випадку частіш за все знаходиться оптимальне за Парето рішення [10] за критерієм стану доріг і витрат на ремонти.

Для пошуку оптимального рішення задачі можна застосувати генетичний алгоритм [6-9] з детермінованими моделями деградації дорожнього одягу (за міцністю, рівністю та зчепленням), які використовуються в СУСП.

Погіршення якостей дорожнього одягу описується окремими коефіцієнтами, частина з яких є важко спостереженими. Інтенсивність руху і зміну природних умов з часом важко спрогнозувати. Це робить експлуатаційні якості або погіршення дорожнього одягу варіативним показником, що ґрунтується на наборі сумнівних або випадкових особливостей. До того ж невпевненість може бути результатом інспекції або процесу вимірювання факторів, щоб визначити кількість коефіцієнтів, які впливають на процес деградації, і моделювати істинний процес деградації матеріалів. Тому процес деградації дорожнього одягу є стохастичним. Більшість з запропонованих моделей імовірності засновані на моделюванні процесів на основі ланцюга Маркова - спеціального стохастичного процесу дискретного типу, де стан системи (наприклад стан дорожнього одягу) X_t в $t + 1$ часі залежить від стану системи X_t в якомусь попередньому t часі, але не залежить від того, який стан системи X_t був отриманий [10].

Одна з головних проблем, що зустрічаються в існуючих моделях вірогідності, - це складність в створенні матриць вірогідності переходу (TRMs). TRM є квадратною матрицею $s \times s$, де s є числом можливих станів в системі. Матриця містить вірогідність переходу від значення стану i до стану j , тобто, невелика вірогідність, що явище перебуватиме в одному стані, а потім перейде в інший через фіксований інтервал часу. TRM може створюватися, використовуючи історичні дані або суб'єктивні думки досвідчених інженерів через індивідуальні інтерв'ю і анкети, які займають багато часу і витрат.

Процес здійснення проектів програми – динамічний, стохастичний і невизначений по самій своїй природі, тобто ризикований. Наприклад, перспективна інтенсивність та склад руху залежать від багатьох факторів ризику – розвитку економіки, рівня автомобілізації та інших важко прогнозованих параметрів. Для оптимізації процесу виконання програми робіт та урахування дії на дорожній одяг випадкових факторів доцільно застосувати імітаційну модель з імітацією випадкових подій і величин методом Монте-Карло.

Висновки

У зв'язку з обмеженим фінансуванням дорожньої галузі проблема оптимізації програми приведення стану дорожнього одягу до нормативного рівня за певну кількість років є актуальною. Для урахування дії на дорожній одяг і процес виконання програми робіт невизначеності і випадкових факторів доцільно застосувати імітаційну модель з імітацією випадкових подій і величин методом Монте-Карло.

Література

1. Демишкан В.Ф. Усовершенствование управления состоянием автодорог в условиях ограниченных ресурсов : дис. канд. техн. наук: 05.22.11 / В.Ф. Демишкан; Харк. держ. автомоб.-дорож. техн. ун-т. — Х., 2000. — 168 с.
2. I.Y. Kim and O.L. de Weck .Adaptive weighted-sum method for bi-objective optimization: Pareto front generation,pp.149-153.
3. Chen, Xin, G. Claros, and W.R. Hudson (1992). Mixed-Integer Programming Model for AASHTO Flexible Pavement Design. Transportation Research Record, 1344, 139-147.
4. Хеми А. Таха. Введение в исследование операций. Седьмое издание. Издательский дом «Вильямс», 2005. – 428 с.
5. Кизима С.С. Наукові принципи та практичні напрямки управління станом автомобільних доріг / С.С. Кизима, О.П. Канін, М.М. Лихоступ // Сучасні проблеми та перспективи розвитку дорожньо-будівельного комплексу України. – К.: НТУ, 2004.
6. Fwa TF, Sinha KC and Reversion JDN Highway Routine Maintenance Programming at Networking Level / Journal of Transportation Engineering. ASCE 1988;114 (5):539-54.
7. Jaewook Yoo. Multi-period optimization of Pavement Management Systems / Jaewook Yoo - Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 2004 – 104 p.
8. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms / G. Morcous, Z. Lounis, Automation in Construction 14 (2005) 129– 142.
9. Review of Application of Genetic Algorithms in Optimization of Flexible Pavement Maintenance and Rehabilitation in Nigeria / Clarkson Uka CHIKEZIE, Adekunle Taiwo OLOWOSULU, Olugbenga Samuel ABEJIDE, Baba A. KOLO. World J of Engineering and Pure and Applied Sci. 2011;1(3), pp. 68-76.
10. Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms. // G. Morcous, Z. Lounis, Automation in Construction 14 (2005) 129– 142.

Овчинников И.Г., д-р техн. наук, Овчинников И.И., канд техн. наук

ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ КАФЕДРЫ «ТРАНСПОРТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»

Анотація: розглядається проблема більш ефективного використання інформаційних технологій для навчання студентів у сфері транспортного будівництва. Для вирішення пропонується створення віртуальної кафедри «Транспортне будівництво», що представляє собою Web-портал.

Ключові слова: інформаційні технології, навчання, віртуальна кафедра, транспортне будівництво.

Аннотация: рассматривается проблема более эффективного использования информационных технологий для обучения студентов в сфере транспортного строительства. Для решения предлагается создание виртуальной кафедры «Транспортное строительство», представляющей собой Web-портал.

Ключевые слова: информационные технологии, обучение, виртуальная кафедра, транспортное строительство.

Annotation: The problem more effective use of information technology to educate students in the field of transportation construction is considered. To solve the proposed creation of a virtual department "Transport Construction", which is a Web-portal.

Keywords: information technology, training, virtual department, transport construction.

Ускоренное развитие техники и технологии на современном этапе требует соответствующих методологий подготовки инженерных кадров, владеющих современными компьютерными технологиями и эффективно использующих их в повседневной инженерной деятельности.

Область транспортного строительства отличается от других областей инженерной деятельности тем, что объекты транспортной сферы

распределены, разбросаны по территории страны и потому работающие на этих объектах специалисты не всегда имеют возможность использовать очное обучение и для получения высшего образования и для повышения своей квалификации.

Одним из возможных путей решения проблемы является развитие и широкое использование информационных технологий на основе виртуальной системы обучения.

Для того, чтобы информационные технологии были используемы, необходимо развитие нескольких основных составляющих:

- необходимы достаточно продвинутые пользователи, владеющие навыками использования современных компьютерных технологий для целей обучения. К сожалению, в настоящее время специалисты – пользователи и технически и психологически не всегда готовы использовать современные информационные технологии, а больше настроены на привычные педагогические приемы обучения и подготовки;

- необходима программно -аппаратная среда, то есть мультимедийное оборудование, компьютеры, компьютерные сети и так далее. Так сложилось, что в настоящее время эта составляющая процесса применения информационных технологий оказалась наиболее развита, причем настолько развита, что не только обучающиеся, но и обучающие (преподаватели) не всегда имеют достаточно продвинутый уровень знания этой техники и технологии, чтобы эффективно их использовать в процессе обучения.

- информационная среда, включающая разработанные и имеющиеся в открытом или платном доступе базы и банки данных, экспертные системы, сайты, Web-порталы. К сожалению в этой сфере ситуация также весьма далекая от необходимого уровня совершенства, так как практически отсутствуют специализированные, ориентированные на уровень обучаемых базы и банки данных, учебные экспертные системы, да и количество обучающих порталов весьма невелико. Мы имеем ввиду область транспортного строительства, но близкая ситуация наблюдается и в других областях. Причем все объясняется достаточно просто – для того, чтобы использовать какие-либо банки данных, экспертные системы, сайты, содержащие структурированную определенным образом информацию, нужно,

чтобы кто-то занялся структурированием этой информации, оформлением ее в надлежащем, удобном для применения виде, но эта работа никем не финансируется и если и выполняется, то только энтузиастами за свой собственный счет.

Интернет в определенной мере помогает разрешать возникающие вопросы по повышению уровня своего образования, но качество и надежность получаемой из Интернета информации никем не гарантируется и пользователь вынужден использовать ее на свой страх и риск. Даже наличие интернет - учебников или интернет – курсов не спасает положение, ибо большинство из них представляет собой электронный вариант обычного учебника или курса и обучаемый предоставлен самому себе при работе с этим ресурсом и вынужден сам вырабатывать стратегию и методологию работы с ним.

С давних времен наиболее эффективной системой обучения является репетиторство, когда преподаватель работает с малой группой обучаемых или индивидуально и настраивает процесс обучения на психологию и уровень знаний обучаемого. Вероятно, следует разработать компьютерные аналоги репетиторов для различных разделов в сфере транспортного строительства, которые бы не только реализовывали функцию обучения по той или иной схеме, но и осуществляли контроль усвоения и необходимую коррекцию знаний, отвечали бы на возможные вопросы. С нашей точки зрения это должна быть система экспертных систем – репетиторов, реализующих знания и умения квалифицированных преподавателей для обучения квалифицированных специалистов. В этом случае преподавателям отводится творческая роль разработчиков технологий учебных процессов по всем необходимым разделам области транспортного строительства. В этом случае может быть реализовано в каком-либо варианте и общение обучаемого с экспертной системой.

Для начала можно заложить общение между обучаемым и преподавателем хотя бы через электронную почту в реальном времени (после предварительного изучения обучаемым необходимого материала, должным образом структурированного). Также надо заложить возможность совершенствования излагаемого материала по мере появления новых дидактических идей и новых знаний в соответствующей области. Система

соответствующих экспертных систем и баз данных по областям в сфере транспортного строительства позволит иметь справочную службу поддержки специалистов в их повседневной деятельности.

Возможным направлением решения проблемы может быть создание виртуальной кафедры «Транспортное строительство», представляющей собой Web-портал. Как известно, Web-портал можно представить как весьма развитый сайт с большим количеством заинтересованных посетителей. Формирование такого портала (как виртуальной кафедры) может происходить во времени постепенно, путем создания отдельных Web-сервисов. Кстати, в разработке и баз данных и Web-сервисов кроме преподавателей кафедр вузов могут и должны принимать весьма активное участие и студенты, обучающиеся по направлению «Транспортное строительство», и работающие специалисты различных предприятий в сфере транспортного строительства. Эта виртуальная кафедра – Web – портал должна обеспечивать и ссылки на другие интернет - ресурсы с тем, чтобы удовлетворять потребностям как можно большего числа желающих обучаться и повышать свою квалификацию. Начальным примером может быть реализующийся проект www.bridgeart.ru.

Цель создания указанной виртуальной кафедры – специализированного обучающего портала очевидна – это предоставление возможности реализовать в достаточно большой степени дистанционное обучение и повышение квалификации с использованием возможностей Интернета.

Понятное дело, что создание такой виртуальной кафедры – Web-портала – это сложная цель, для достижения которой следует поставить и решить ряд задач.

К таким задачам можно отнести: разработку управленческой структуры и специальной группы высокопрофессиональных сотрудников, готовых взяться за решение этой проблемы; разработку структуры и этапов построения виртуальной кафедры – Web-портала; оценка сроков выполнения задач и определение источников финансирования; структуризацию знаний в сфере транспортного строительства либо по привычным дисциплинам, и их разделам, либо по видам профессиональной деятельности при создании транспортного сооружения (изыскания, проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция, утилизация), либо по уровням

профессиональной деятельности (управленческий уровень, научный уровень, инженерный уровень, уровень мастера или техника, рабочий уровень). Сложной задачей также является виртуализация самих изучаемых курсов (дисциплин) с учетом того, что в инженерной сфере существуют различные научные и инженерные школы, предлагающие различные методологии расчета, проектирования, создания транспортных сооружений, с учетом имеющейся в последнее время неразберихи с разработкой новых и применением старых нормативных документов. Подготовка таких виртуальных курсов заставит и преподавателей, привлеченных к этой работе, заново переосмыслить свой курс, изучить инновационные решения, относящиеся к нему с тем, чтобы включить их в учебный процесс в качестве основного или дополнительного материала.

Так как предприятия отрасли транспортного строительства нуждаются в квалифицированных специалистах, которых можно готовить дистанционно, то и сама отрасль и относящиеся к ней предприятия должны поддержать идею разработки такой виртуальной кафедры – Web-портала и выделить для этого необходимые средства. Этот подход позволит эффективно использовать квалификацию и опыт пока еще работающих на реальных вузовских кафедрах квалифицированных преподавателей, документировать его в виде баз данных и экспертных систем и тем самым не потерять его за оставшееся время. При этом возникнет весьма большая проблема убедить этих квалифицированных преподавателей и специалистов с предприятий поделиться своими уникальными знаниями и методикой их применения. Кроме того, можно и нужно использовать имеющиеся на предприятиях сферы транспортного строительства разработки по инновационным технологиям, оформленные в виде виртуальных баз данных, удобных для применения в разрабатываемом Web-портале.

Также предлагаемый подход позволяет разработать альтернативные виртуальные курсы по различным дисциплинам и темам с тем, чтобы пользователи отобрали себе более устраивающий их вариант.

К минусам предлагаемой разработки виртуальной кафедры можно отнести отсутствие непосредственного контакта преподавателя с обучаемым, что затрудняет формирование личности обучаемого с его приверженностью к

определенным инженерным школам, а также отсутствие возможности научить выступать публично, полемизировать, отстаивать свою точку зрения и убеждать оппонентов.

В завершение отметим ряд соображений по разработке виртуального курса по определенному разделу специальности, точнее по разработке интернет - пособия. Ясно, что интернет - пособие – это не просто перенесенный в компьютер бумажный вариант соответствующей дисциплины, хотя и использующий возможности гиперссылок и быстрого поиска нужной информации. Это пособие должно учитывать особенности работы с компьютером. Так как с экрана не очень удобно читать текст, то, скорее всего, оглавление надо представить в виде Web страницы, а разделы или главы сделать короче, они так легче читаются и передаются по сети. Материал каждой главы должен представлять собой по сути отдельный сайт, включающий много информации визуального характера (чертежи, фотографии, анимации, видеофильмы). Особенно следует обратить внимание на виртуальные лабораторные работы (которые можно хорошо проиллюстрировать и в условиях лаборатории с применением современных приборов и оборудования и с помощью анимации и продублировать в реальных условиях). Также удобно иллюстрировать технологические процессы с помощью либо анимации, либо видеофильма, снятого в реальных условиях.

Ясно, что для выполнения такой сложной работы по разработке виртуальной кафедры реально занимающаяся этим группа специалистов должна быть оснащена современной компьютерной техникой и дополнительным сканирующим, копирующим, снимающим и другим необходимым оборудованием.

Смоляннюк Р.В., канд. техн. наук, Биценко Ю.П.

РОЛЬ ПЕРЕСУВНИХ ДОРОЖНІХ ЛАБОРАТОРІЙ В СТРУКТУРІ УПРАВЛІННЯ СТАНОМ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. Приведено коротка характеристика системи HDM-4, призначеної для планування витрат на дорожні роботи. Визначена роль ходових дорожніх лабораторій в системі HDM-4.

Ключові слова: економічні показники, рівність поверхні дорожніх покриттів, лазерне сканування, міжнародний індекс рівності (IRI), шорсткість, ходові дорожні лабораторії.

Аннотация. Приведена краткая характеристика системы HDM-4, предназначенной для планирования затрат на дорожные работы. Определена роль ходовых дорожных лабораторий в системе HDM-4.

Ключевые слова: экономические показатели, ровность поверхности дорожных покрытий, лазерное сканирование, международный индекс ровности (IRI), шероховатость, ходовые дорожные лаборатории.

Annotation. A brief description of HDM-4, designed for cost planning for road works. Defined the role of road running laboratories in the system HDM-4.

Keywords: economic performance, surface smoothness of road surfaces, laser scanning, the international roughness index (IRI), roughness, road running lab.

«Мінімум витрат на дорогу, безперечно, дуже бажано, але дійсно дешева дорога це не та, на яку витратили мінімум коштів, а та, яка повертає кошти пропорційно вкладеним». (W.M. Gillespie, 1848 [1]).

Попередня цитата відомого американського вченого, економіста, основоположника системи керування дорожніми фондами та оцінки ефективності економічних інвестицій у дорожнє господарство вказує на важливість цього питання. Перша оцінка економічних інвестицій у дорогу була виконана більше 150 років тому. Не дивлячись на це, станом на 1962 р. близько на 40 відсотків доріг у США така оцінка ніколи не виконувалась. У

країнах, що розвиваються, для будь-яких доріг така оцінка не виконувалася. У країнах колишнього СРСР в умовах планової економіки економічне обґрунтування будівництва та ремонту доріг виконувалося за іншими критеріями.

В умовах ринкової економіки питання щодо доцільності використання коштів для будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг стає особливо гострим.

В останні 25 років вплив світових фінансових установ на дороги істотно збільшився. Світовий банк виконує кредитування робіт виключно за умови економічної оцінки. Тому це стало звичним явищем. Саме для допомоги країнам, що розвиваються, була розроблена система «Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM)» - Стандартна модель проектування та супроводження доріг. Четверта і остання модифікація системи (2000 рік) виявилася досить вдалою та сьогодні використовується у багатьох розвинених країнах.

Таку популярність система набула тому, що використовує досить складну і детальну модель, яка включає в себе ряд показників. Основними показниками, що стосується стану доріг є показники рівності IRI [2,3] та шорсткості.

Наприклад, один з основних економічних показників роботи дороги – витрата палива. В HDM-4 для оцінки витрати палива використовується емпірична модель. В цій версії вперше було змодельоване витрату палива за результатами експериментальних досліджень, з використанням механістичних принципів, з врахуванням сил, що протидіють руху. Дослідженнями було встановлено, що залежність між питомою витратою палива (у L/1000 км) і швидкістю транспортного засобу має U-подібну форму. Причину такої форми досить легко пояснити: на високих швидкостях аеродинамічні сили, які відносяться до квадрату швидкості, стають домінуючими та вимагають велику кількість палива для споживання. На низьких швидкостях двигуном генерується низька тягова потужність. Внаслідок роботи не в оптимальному режимі, що також призводить до збільшення витрати палива.

$$FC = a_0 + a_1/S + a_2*S^2 + a_3 \text{ RISE} + a_4 \text{ FALL} + a_5 \text{ IRI}, \quad (1)$$

де FC – питома витрата палива, L/1000 км; S – швидкість транспортного засобу, км/год; IRI – рівність дорожнього покриття по IRI, м/км; RISE, FALL –

значення підйому або спуску на ділянці дороги, що розглядається, м/км; a_0 - a_5 – константи.

Константи a_0 - a_5 були встановлені для кожної країни окремо, в залежності від особливостей рухомого складу.

Як видно з формули, рівність є одним з складових, і з збільшенням рівності (гірша дорога) витрата палива буде збільшуватися.

Також від рівності та шорсткості залежить ще багато показників, тому їх визначення є однією з найважливіших задач для виконання економічної оцінки проектів з будівництва, реконструкції та ремонтів доріг. Цьому питанню від початку розробки системи управління НДМ приділяли значну увагу, і, одночасно з розвитком системи розвивалися й засоби оцінки рівності і шорсткості покриттів. На сьогодні основним засобом оцінки цих показників є пересувні дорожні лабораторії [5-7].

Для визначення показника IRI на сьогодні фактично встановлено негласний стандарт: пересувна дорожня лабораторія, оснащена безконтактним лазерним датчиком визначення відстані, система врахування коливань та пройденої відстані, та ін. Досить складна технологія вимірювання і висока ціна вимірювального обладнання не стали на заваді реалізації цієї технології, оскільки якість оцінки є істотно вище, за всі інші відомі методи. До того ж такі профілометри можуть виконувати вимірювання на різних швидкостях, в широкому діапазоні температур, що є досить істотною перевагою.

На кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ був розроблений експериментальний зразок установки лазерного сканування покриттів ЛВС-1-ХНАДУ, котрий мав 1 датчик. Дана установка дозволяє виконувати вимірювання рівності дорожніх покриттів в повздовжньому напрямку при будь якій постійній швидкості дорожньої лабораторії, та поперечну рівність в режимі стоянки. За допомогою цього обладнання були виконані роботи щодо перевірки принципу виконання вимірювань, комплектуючих, режимів роботи та ін.

Одним з важливіших висновків за результатами виконаної роботи – лазерні датчики безконтактного вимірювання відстані найбільш доцільні для виконання вимірювань рівності дорожніх покриттів. На відміну від інших типів датчиків лазерні датчики дають більш сталі результати, менш зазнають впливу від кліматичних факторів: температури та вологості повітря. Отримані дані дозволили створити перший вітчизняний зразок лазерного профілографа,

здатного оцінювати рівності дорожнього покриття по всій ширині смуги руху: ЛВС-2-ХНАДУ. Після завершення робіт це устаткування було встановлено на автомобіль «Fiat» і використовується разом з іншим діагностичним обладнанням ДНТЦ «Дор'якість».

Для забезпечення безпечного руху по автомобільним дорогам України гостей чемпіонату «ЄВРО-2012» був створений «Дорожній інформаційний центр» на базі «Укрдіпродор». Основна мета створення цього центру – накопичення, обробка та зберігання інформації про стан автомобільних доріг: інженерне обладнання, об'єкти сервісу, стан дорожнього покриття. Для забезпечення збору інформації було створено 7 ходових дорожніх лабораторій, 2 з яких, на базі автомобілів «Ford» обладнані наступним поколінням лазерних профілографів – ЛВС-3 (рис. 1).



Рисунок 1 – Система ЛВС-3 на автомобілі «Ford»

Визначення показників шорсткості викликає деякі труднощі. До сьогодні не має єдиного підходу щодо показників для оцінки шорсткості покриттів. Але безперечним є факт, що більшість країн переходять на методи, що дозволяють визначати показники шорсткості під час руху автомобіля-лабораторії. Таким чином, можливе одночасне вимірювання двох показників, що досить важливо.

Аналізуючи все вище наведене, можна зробити висновок, що з врахуванням сучасного рівня розвитку вимірювальної та комп'ютерної техніки найбільш доцільним є використання пересувних дорожніх лабораторій для оцінки показників рівності та шорсткості дорожніх покриттів. Це дозволяє найбільш оперативно отримувати інформацію, необхідну для планування дорожніх робіт і найбільш раціонального використання коштів.

Україна вже стала на шлях створення пересувних дорожніх лабораторій, що, як показує світовий досвід, є оптимальним рішенням питання отримання вихідних даних для розподілу ресурсів на ремонт і утримання автомобільних доріг.

Література

1. Gillespie, William Mitchell. 1848. A Manual of the Principles and Practice of Road-Making: Comprising the Location, Construction, and Improvement of Roads (Common, Macadam, Paved, Plank, etc.) and Rail-Roads. New York: A. S. Barnes & Co.
2. Christopher R. Bennett, Ian D. Greenwood. HDM-4. Highway Development & Management. Volume SEVEN. MODELING ROAD USER AND ENVIRONMENTAL EFFECTS IN HDM-4.
3. The little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. Michael W.Sayers, Steven M. Karamihas, September 1998. The Regent of University of Michigan.
4. Sayers, M.W., "On the Calculation of IRI from Longitudinal Road Profile." Transportation Research Record 1501, (1996) pp. 1-12.
5. Смоляннюк Р.В. Розвиток й удосконалення сучасних технологій оцінки рівності дорожніх покриттів/ І. В. Кіяшко // Автошляховик України. – К. : Держ. автотр. наук. досл. і проектн. ін-т, 2007. – № 5. – С. 39–42.
6. Смоляннюк Р.В. Діагностика стану покриттів новітніми ходовими дорожніми лабораторіями: сучасний стан та перспективи розвитку / І.В. Кіяшко, Д.М. Новаковський, О.Ю. Пархоменко, О.С. Мінаков // Автошляховик України. – К. : Держ. автотр. наук. досл. і проектн. ін-т, 2012. – № 5. – С. 31–36.

Соколова Н.М., канд. екон. наук, Маковська Ю.А., Шкарівська Н.Ю.

ДЕРЖАВНО-ПРИВАТНЕ ПАРТНЕРСТВО ЯК МЕХАНІЗМ ЗАЛУЧЕННЯ КОШТІВ НА БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЮ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті проаналізовано світовий досвід схем проектного фінансування в дорожній галузі на умовах використання механізмів державно-приватного партнерства (ДПП). Виявлено різні джерела залучення коштів приватного сектору. Узагальнено основні характерні риси проектного фінансування. Розглянуто фінансову підтримку з боку держави для фінансування проектів через механізм ДПП. Запропоновано подальші напрямки дослідження щодо вирішення питань по укладанню контрактів ДПП.

Ключові слова: дорожня галузь, державно-приватне партнерство, ДПП, автомобільна дорога, фінансовий інструмент, власний капітал, позикові кошти, проектное фінансування, приватний капітал, контракти.

Аннотация. В статье проанализирован мировой опыт схем проектного финансирования в дорожной отрасли на условиях использования механизмов государственно-частного партнерства. Выявлены различные источники привлечения средств частного сектора. Обобщены основные характерные черты проектного финансирования. Рассмотрены финансовая поддержка со стороны государства для финансирования проектов через механизм ГЧП. Предложено дальнейшие направления исследования для решения вопросов по заключению контрактов ГЧП.

Ключевые слова: дорожная отрасль, государственно-частное партнерство, ГЧП, автомобильная дорога, финансовый инструмент, собственный капитал, заемные средства, проектное финансирование, частный капитал, контракты.

Annotation. The article was analyzed the international experience of project financing schemes in the road sector under use public-private partnerships. The

identified different sources of raising private sector. Established one of the most effective financial instruments used in PPP projects. Summarized main features of project financing. Considered for financial support from the state to fund projects through PPP mechanism. Proposed future directions of research for solving problems to sign PPP contracts.

Keywords: road sector, public-private partnership road, PPP, financial instrument, equity, loans, project financing, private capital, contracts.

Постановка проблеми. Модернізація економіки України неможлива без якісної дорожньої мережі. Приведення транспортно-експлуатаційних показників автомобільних шляхів до європейських стандартів вимагає значних інвестицій і потребує залучення приватного капіталу. Таким чином вивчення можливостей поєднання державних і приватних чинників розвитку автодорожньої мережі, зокрема, пошуку найбільш раціональних форм їх взаємодії, розподілу сфер відповідальності є досить актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обґрунтування ефективності державно-приватного партнерства присвячені дослідження [1-10]: О.В. Аверкіна, О.В.Бойко, В.Г. Варнавського, М.В. Вілісової, Л.І. Єфімової, О.О. Конопляники, М. Перковскої, Ж.-Л. Поже, С.А. Сосни, М.О. Субботіної, О.М. Криворучко, Н.Г. Кучевського, А.М. Новикової, В.М. Реви, Є.М.Сича та інших відомих вчених-економістів.

Виділення невирішених питань. Недостатнє фінансування дорожньої галузі є головною перешкодою успішного її функціонування та розвитку, тому основним напрямом реформування фінансів дорожнього комплексу України має стати стимулювання залучення приватного капіталу паралельно з державним фінансуванням.

Мета статті. Метою даної статті є дослідження світового досвіду схем фінансування проектів автодорожнього будівництва з використанням механізмів державно приватного партнерства та застосування цього досвіду в дорожній галузі України.

Виклад основного матеріалу. Транспортно-експлуатаційні показники переважної більшості автомобільних доріг не відповідають сучасним вимогам і потребують поліпшення з урахуванням соціально-економічних потреб держави [11]. На сьогодні більша частина автомобільних доріг в Україні потребує капітального ремонту [12].

Через недостатнє фінансування порушуються нормативні ремонтні строки, немає можливості здійснити технічне переоснащення дорожньої галузі, широко запровадити нові технології, машини, механізми, матеріали і конструкції. Швидке руйнування дорожніх конструкцій, спричинене збільшенням вагових навантажень від транспортних засобів, інтенсивністю руху, на які існуюча мережа доріг не розрахована [11].

Використання механізмів державно-приватного партнерства пропонує державі альтернативи у вигляді залучення нових джерел фінансування у вигляді коштів приватного сектора. Такі партнерства дозволяють створювати «ефект важеля» і залучати приватний капітал для підвищення ефективності використання бюджетних коштів, а також дозволяють реалізовувати переваги від залучення сучасних технологій приватних підприємств для управління та надання інфраструктурних послуг [11,6].

Одним з найбільш широко поширених і найбільш ефективних фінансових інструментів, що застосовуються в проектах ДПП – є «проектне фінансування». Проектне фінансування – це сукупність заходів, спрямованих на залучення грошових коштів та інших матеріальних цінностей для створення об'єктів ДПП за активи і грошові потоки спеціальної проектної компанії (SPV). Проектне фінансування зазвичай здійснюється у формі позик «з обмеженим правом регресу», виданих спеціально створеною проектною компанією, що має право здійснювати будівництво та експлуатацію об'єкта в рамках проекту [16].

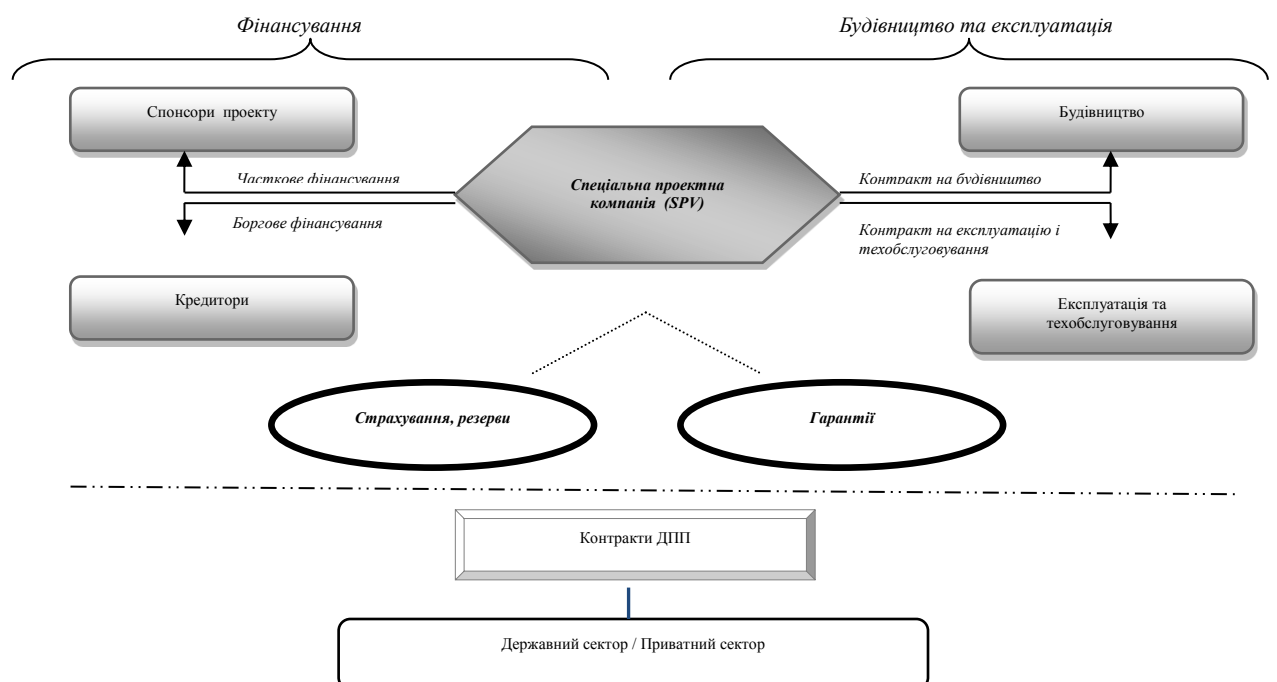


Рисунок 1 – Структура проектного фінансування

Основні відмінні особливості проектного фінансування від інших форм фінансування проектів наведені нижче [14 – 16]:

- діяльність в рамках проекту чітко визначена;
- права власності на запроектований і зведений об'єкт зберігаються за позичальником;
- існує можливість використання декількох джерел позикового капіталу та залучення великого числа кредиторів;
- при організації проектного фінансування створюється спеціальна організація - проектна компанія, яка реалізує інвестиційний проект і запозичує під нього кошти (при звичайному кредитуванні банк видає кредит фірмі-організатору проекту);
- можливість залучення капіталу пов'язана з його великим об'ємом і з високим відношенням позикових коштів компанії до власного капіталу, з підвищеним ризиком;
- є система функціональних гарантій між учасниками проекту;
- засновники можуть перенести частину своїх ризиків на інших учасників проекту, тоді як при традиційному кредитуванні вони несуть всю відповідальність за повернення кредиту в поодиночці;
- оскільки основні, оборотні фонди і грошові потоки відображаються на балансі проектної компанії, вартість проекту відособлена від балансу його засновників, а гарантією повернення кредитів і вкладених коштів є результати діяльності, одержувані від реалізації проекту;
- надходження грошових коштів від реалізації проекту служать основними джерелами повернення кредитів, доходів інвесторів, платежів державі;
- активи проекту виступають майновою заставою при запозиченнях;
- вартість проектного фінансування вище вартості традиційного кредитування (необхідні досить значні витрати часу для оцінки проекту та обговорення кредитної документації, витрат на страхування втраченої вигоди і політичних ризиків, витрат з моніторингу технічної реалізації та функціонуванню проекту, процедур управління кредитом, процентних ставок і комісій);
- забезпечується професійне управління проектом, включаючи вироблення стратегії розвитку.

Існують різні фінансові схеми проектного фінансування, які класифікуються за різними ознаками (табл. 1) [16].

Таблиця 1 – Схеми проектного фінансування

№ п/п	Класифікаційна ознака	Види схем
1.	За масштабом	• банківське проектне фінансування; • корпоративне проектне фінансування.
2.	За формами проектного фінансування	• без регресу; • з обмеженим регресом; • з повним регресом.
3.	За способами мобілізації джерел ресурсів	Що здійснюється за рахунок: • власних коштів компанії; • державних коштів; • комерційних кредитів; • інвестицій; • облігацій; • коштів установ розвитку; • акцій; • лізингу та ін..
4.	За конфігурацією	• проектне фінансування з <i>паралельним (спільним) фінансуванням</i>, коли кілька кредитних установ виділяють позички для реалізації довгострокового інвестиційного проекту у вигляді двох форм: 1) незалежне паралельне фінансування, коли кожен банк укладає з позичальником кредитну угоду і фінансує свою частину інвестиційного проекту (субпроект); 2) співфінансування, коли кредитори виступають єдиною структурою (консорціум), і полягає єдине кредитну угоду; • проектне фінансування з <i>послідовним фінансуванням</i>, якому крупний банк виступає як ініціатор. Після видачі позички підприємству банк-ініціатор (банк-організатор) передає свої вимоги по заборгованості іншому кредитору (іншим кредиторам), знімаючи дебіторську заборгованість зі свого балансу; • <i>сек'юритизація</i> як спосіб передачі вимог банком-організатором шляхом розміщення кредиту серед інвесторів. Банк-організатор продає дебіторські рахунки за виданим кредитом траст-компаніям, які випускають цінні папери під їх забезпечення, і поширюють їх серед інвесторів.

Фінансові механізми проектів ДПП включають положення, які стосуються фінансових зобов'язань приватного партнера або проектної компанії та держави. Ці фінансові зобов'язання обмовляються в контракті про ДПП.

В процесі реалізації проектів ДПП проектне фінансування здатне сформувати для інвесторів ефективну контрактну структуру. Стійка контрактна структура при комерційному розподілі ризиків буде вирішальним

фактором для кредиторів при ухваленні рішення про фінансування проектів державно-приватного партнерства

Ефективне фінансування проектів через механізм ДПП може включати використання державної підтримки, яка виражається в тому, що держава бере на себе частину ризиків, якими вона може керувати більш ефективно, ніж приватні інвестори, і підтримує ті проекти, які економічно доцільні (рис.2) [3, 5, 16].

Держава може забезпечити пряму підтримку у вигляді субсидій, інвестицій в статутний капітал або кредитування (пряма підтримка), так і інших форм у вигляді державних гарантій, і різних пільг (податкові, кредитні, митні та ін.).

Фінансова підтримка держави може бути надана проектам у вигляді:

- грошової підтримки або в натуральному вигляді (наприклад, покриття витрат на будівництво, виділення земельної ділянки, надання засобів виробництва, компенсація витрат на участь у конкурсі);
- надання фінансування проекту у вигляді кредиту.

Субсидії можуть надаватися як для часткового фінансування проекту, так і для покриття різниці в тарифах. Однак необхідність у субсидуванні може виникати внаслідок високої організаційної вартості проекту, що розраховується на довгостроковий період, а також низького попиту на надавані послуги або недостатньої платоспроможності населення, що не дозволяє окупити понесені приватним партнером витрати за рахунок стягнення плати із споживачів. Подібна підтримка, як правило, здійснюється державою шляхом перерахування коштів безпосередньо приватному партнеру або проектній компанії, що реалізовує проект.

Державні гарантії відображаються у вигляді: гарантій виплати по кредитах, обмінного курсу, зобов'язань по викупу продукції, збору тарифних платежів, дозволеного рівня тарифів, обсягу попиту на послуги, гарантії відшкодування збитків, наприклад, у разі невиплат з боку державних органів.

Державні гарантії відкривають можливість, з одного боку, залучити в першу чергу кошти міжнародних фінансових організацій на сприятливих для приватного сектора умовах, з іншого - знизити політичні та інші ризики реалізації проекту у формі ДПП.

Проекти ДПП, як правило, мають довгостроковий характер і вимагають залучення значних фінансових ресурсів. Виходячи з цього, необхідно ретельно аналізувати можливий вплив надання державних гарантій на фінансову

стійкість бюджету і стабільність фінансової системи країни в цілому. Одним з елементів державної підтримки є гарантування ризиків приватного сектору, пов'язаних з інфляцією, зміною валютного курсу та ін.. Тільки держава може впливати на управління ними. У цьому випадку має сенс закріпити гарантії держави щодо управління такими ризиками шляхом підписання міжнародних договорів або ж надати статус державних запозичень деяким зобов'язаннями держави в рамках ДПП, що істотно підвищить привабливість проекту.

Вирішення питання надійності фінансування проектів ДПП з боку держави здійснюється шляхом виділення коштів на витрати за інвестиційними проектами в прогноз державного бюджету на рік. Також, відповідно до бюджетної програми уряд вживає заходи щодо пріоритетності виділення бюджетних коштів на реалізацію проектів на наступний бюджетний період та на весь період дії контракту ДПП з метою продовження реалізації таких проектів ДПП [15,16].

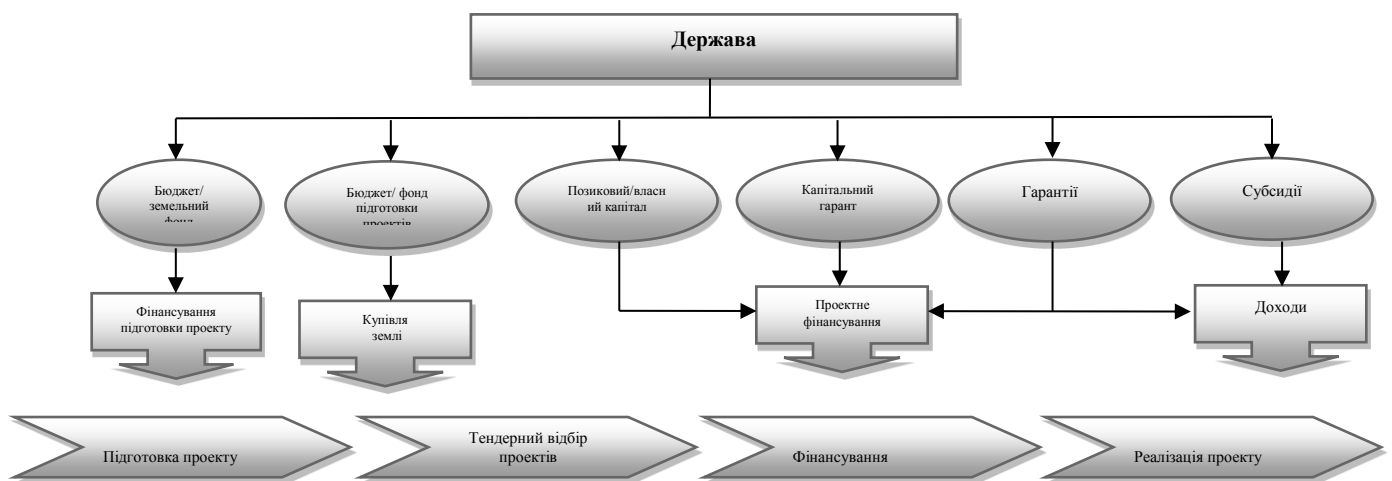


Рисунок 2 – Схема механізмів стимулювання проектів ДПП

Отже, основними перевагами проектного фінансування є [13, 15, 16]:

- 1) зобов'язання проектною компанією не відображаються в балансі державного партнера або акціонерів і таким чином не роблять впливу на їх кредитну привабливість;
- 2) при використанні проектного фінансування частину ризиків перекладається на кредиторів в обмін на отримання ними більш високої маржі в порівнянні із звичайним корпоративним кредитуванням;
- 3) проектне фінансування забезпечує більш вигідну середньозважену вартість капіталу порівняно з чистим фінансуванням з власних коштів;

4) проектне фінансування сприяє використанню більш прозорого механізму розподілу ризиків і створює стимули для підвищення якості роботи всіх учасників проекту і ефективного управління ризиками;

5) проектне фінансування має цільовий характер;

6) гарантії з боку держави - учасників фінансових установ;

7) високий ступінь контролю;

8) широке залучення іноземних інвестицій.

Але існують і недоліки проектного фінансування, які полягають у наступному:

1) кредитори не схильні до ризику;

2) організаційні витрати проекту ДПП високі;

3) деякі проекти не досягають стадії остаточного фінансового оформлення;

4) приватне фінансування дорожче ніж державне фінансування.

За 2011- 2012 р.р. для використання механізмів ДПП в Україні прийнято низку нормативних документів щодо методик і процедур пов'язаних з реалізацією проектів ДПП. Але згідно цих документів приватному партнерові потрібно пройти низку складних процедур ще до стадії підписання контракту про ДПП, а держава не надає ніяких гарантій щодо виконання її зобов'язань. Цей факт вже не відповідає базовій сутності ДПП [12].

Тому враховуючи світовий досвід і фінансові можливості держави, в Україні для забезпечення ефективного запровадження механізму ДПП необхідно вирішити низку питань, а саме:

- удосконалити нормативно-правову базу регулювання контрактних відносин учасників ДПП;
- удосконалити інституційне забезпечення розвитку ДПП
- розробити механізми гарантування фінансування проектів ДПП;
- обґрунтувати привабливість укладання контракту для приватного сектора;
- розробити систему штрафів за неякісне виконання проекту та недотримання умов контракту;
- передбачити можливі ризики на момент укладання та реалізації контракту;
- сформувати комплексну модель контракту.

Висновок

Фінансова схема проектів державно-приватного партнерства припускає використання сучасних фінансових інструментів, які широко використовуються у всьому світі. Механізм проектного фінансування, дозволяє об'єднати різні фінансові схеми, а також надає певні гарантії з боку держави, які повинні забезпечувати істотний приплив інвестицій в дорожню галузь України.

Література

1. Аверкин А., Конопляник А., Сосна С., Субботин М. Создание правовой базы для концессионных соглашений и соглашений о разделе продукции в России. // Разведка и охрана недр, 1995. – №9. – С. 2-9.
2. Бойко О.В. Концесія в системі ефективних форм залучення інвестицій у розвиток транспорту // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Збірник. – Чернігів: ЧДТУ, 2008. – № 33. – С. 166-171.
3. Варнавский В. Г. Партнерство государства и частного сектора: формы, проекты, риски. / М.: Наука, 2005. – 315 с.
4. Государственно-частное партнерство: политико-правовой аспект // Власть. – 2006. – №7. – С.14-19.
5. Пэрковски М. Формирование публично-частного партнерства в Польше. Правовые аспекты / Конференция для служащих местного самоуправления. «Роль местного самоуправления для местного развития». – Биелосток, 2006 год. – ISBN 83-88463-59-4.
6. Ефимова Л.И. Некоторые модели государственно-частных партнерств: тенденции и зарубежный опыт. Доклад на семинаре «Государственно-частное партнерство: новые тенденции развития транспортной инфраструктуры» // Вестник Евроазиатского транспортного союза. – № 3 (10). – 2003.
7. Поже Ж.-Л., Грищенко С. Партнерство державного і приватного секторів та концесії на суспільні послуги: європейський контекст та перспективи для розвитку регіонів в Україні // Збірник матеріалів засідань міжнародної конференції «Місцевий та регіональний розвиток в Україні: виклики та можливості». – К., 2005.
8. Кучевский Н. Стратегические направления развития транспорта союзного государства // Белорусский журнал международного права и международных отношений. – 2002. – № 2. – С. 91-95.
9. Котелянець В.І. Інструментарій приватно-державного партнерства у розвитку автодорожного господарства // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія “Економіка і управління”. – Вип. 11. – К.: ДЕТУТ, 2008.
10. Сич Є.М., Вдовенко Ю.С. Партнерство як основа розвитку відносин у сучасних соціально-економічних системах // Збірник наукових праць Київського університету економіки і технологій транспорту: Серія “Економіка і управління”. – Вип. 9. – К.: КУЕТТ, 2007. – С. 198-202.
11. Концепція Державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013-2018 роки, розпорядження від 3 вересня 2012 р. № 719-р.
12. Коментарі : Кіровоград. – Режим доступу: <http://kirovograd.comments.ua/news/2013/02/11/134251.html>
13. Beckers, Thorsten / Jirka, Gchrt / Klatt, Jan Peter. Refinanzicrung bei PPP- Projektcn: Studio im Rahmen des Projektes „Leismns-, Vergflungs- und Finanzierungsanpassungen bei PPP-Projektcn im Plochbau“, Bundesamt ftrl Bauwcsen und Raumordnung, Berlin, Februar 2009. - S. 1 – 18.
14. Павлюк К.В. Сутність і роль державно-приватного партнерства в соціально-економічному розвитку держави. [Електронний ресурс] / К.В. Павлюк, С.М. Павлюк // Наукові праці КНТУ. Економічні науки – 2010. - № 17. Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/>
15. Джеффри Д., Государственно-частное партнерство тв инфраструктуре // Практическое руководство для органов государственной власти. – 2010. – С.43-57.
16. USAID. Государственно-частное партнерство. Финансовые аспекты. Проект МЕР реализуется компанией Deloitte Consulting, LLP. – 2012. – С. 1-82.

УДК 625.725

Корольков Р.О., канд. техн. наук, Шилін І.В., канд. техн. наук

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ SCAD ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ АРМОВАНИХ УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. У статті, на конкретному прикладі, розглянута методика розрахунку армування геосинтетичними матеріалами укосів насипів автомобільних доріг. Також виконана перевірка стійкості армованої споруди методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу SCAD.

Ключові слова: геосинтетичні матеріали, автомобільна дорога, армована споруда, метод скінчених елементів, розрахункова схема, стійкість укосу.

Аннотация. В статье, на конкретном примере, рассмотрена методика расчета армирования геосинтетическими материалами откосов насыпей автомобильных дорог. Также выполнена проверка устойчивости армированного сооружения методом конечных элементов с помощью программного комплекса SCAD.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, автомобильная дорога, армированное сооружение, метод конечных элементов, расчетная схема, устойчивость откоса.

Annotation. In the article, on a concrete example, the method of calculation of re-enforcement of slopes of embankments of highways geosynthetic materials is considered. Verification of stability of the reinforced building of eventual elements a method is also executed by a programmatic complex SCAD.

Keywords: geosynthetic materials, highway, reinforced building, method of eventual elements, calculation chart, stability of slope.

Актуальність. Підходи до штучних споруд на автомобільних дорогах (мости, шляхопроводи, транспортні розв'язки) представляють собою високі насипи. Будівництво цих споруд все частіше відбувається в стиснених умовах (сільхозгосподарські землі, міська забудова тощо), тому забезпечення стійкості високих армованих насипів з закладанням укосів від 1:0,577 до 1:0,364 є актуальною проблемою.

Актуальність забезпечення стійкості насипів обґрунтовується також ускладненням умов будівництва та експлуатації автомобільних доріг (зростання осьових навантажень, швидкостей руху, інтенсивності транспортного потоку); зміною структури і властивостей ґрунтів внаслідок впливу природних факторів та зовнішніх навантажень.

Як свідчить практика, існують випадки руйнування армоґрунтових конструкцій. Це пов'язано з недостатнім вивченням процесів взаємодії ґрунту насипу та армуючого прошарку, а також неможливість в методиці розрахунку армування врахувати всі фактори, що впливають на довговічність конструкції при експлуатації автомобільної дороги. Одним зі шляхів підвищення достовірності вибраної методики конструювання армованих насипів є моделювання та перевірка стійкості конструкції в програмному модулі SCAD.

В якості прикладу розглянемо розрахунок армування насипу [1] при наступних вихідних даних:

Висота насипу – 5 м;

Закладання укосу – 1:0,5;

Кут внутрішнього тертя ґрунту насипу – 35° ;

Питоме зчеплення ґрунту насипу – 10 кН/м^2 ;

Питома вага ґрунту насипу – 20 кН/м^3 ;

Інтенсивність зовнішнього навантаження – 0 кН/м^2 ;

Ширина насипу по верху – 14,5 м;

Частковий коефіцієнт запасу на навантаження – 1,0;

Частковий коефіцієнт довговічності – 1,1;

Частковий коефіцієнт на пошкодження при вкладанні для піску – 1,2;

Частковий коефіцієнт запасу – 1,1;

Частковий коефіцієнт на повзучість матеріалу армування – 5,0.

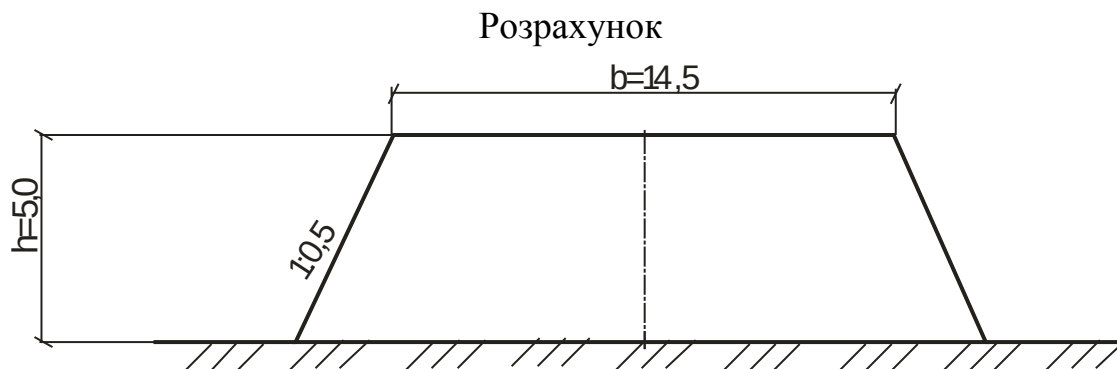


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення необхідного армування

1. Розраховують нахил поверхні ковзання армованого насипу:

$$\operatorname{ctg} \theta_1 = -\frac{2f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \phi - \operatorname{ctg} \phi \cdot \operatorname{ctg} \delta}{2} + \sqrt{\frac{(2f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \phi - \operatorname{ctg} \phi \cdot \operatorname{ctg} \delta)^2}{4} + f_{ds}(1 + \operatorname{ctg} \delta)}.$$

(1)

$$\operatorname{ctg} \theta_1 = -\frac{2 \cdot 0,7 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ - \operatorname{ctg} 35^\circ \cdot \operatorname{ctg} 63,4^\circ}{2} + \sqrt{\frac{(2 \cdot 0,7 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ - \operatorname{ctg} 35^\circ \cdot \operatorname{ctg} 63,4^\circ)^2}{4} + 0,7(1 + \operatorname{ctg} 63,4^\circ)} = 0,9002$$

2. Критичний кут ковзання армованого укосу насипу $\theta_{\max}$:

$$\theta_{\max} = \operatorname{arccctg} \theta_1.$$

(2)

$$\theta_{\max} = \operatorname{arccctg} 0,9002 = 48,01^\circ.$$

3. Загальне армуюче зусилля T_a , яке необхідне для забезпечення заданої внутрішньої стійкості укосу, визначають за формулою:

$$T_a = \frac{\gamma \cdot H^2 \cos \theta_{\max} \cdot \sin \theta_{\max} (1 - \operatorname{ctg} \delta \cdot \operatorname{tg} \theta_{\max} - \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{ctg} \theta_{\max} + \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{ctg} \delta)}{2 \cdot \sin \theta_{\max} (\cos \theta_{\max} + f_{ds} \cdot \operatorname{tg} \phi \cdot \sin \theta_{\max})}.$$

(3)

$$T_a = \frac{20 \cdot 5^2 \cos 48,01^\circ \cdot \sin 48,01^\circ (1 - \operatorname{ctg} 63,43^\circ \cdot \operatorname{tg} 48,01^\circ - \operatorname{tg} 35^\circ \cdot \operatorname{ctg} 48,01^\circ + \operatorname{tg} 35^\circ \cdot \operatorname{ctg} 63,43^\circ)}{2 \cdot \sin 48,01^\circ (\cos 48,01^\circ + 0,7 \cdot \operatorname{tg} 35^\circ \cdot \sin 48,01^\circ)} =$$

$$= 26,096 \text{ кН}$$

До розрахунку приймаємо розрахункове значення армуючого зусилля з врахуванням значення мінімально допустимого коефіцієнта стійкості армованого укусу $[K_R]$ і коефіцієнта надійності на метод розрахунку (k_{nd}):

$$T_{a\text{ роз}} = [K_R] k_{nd} T_a, \quad (4)$$

де $[K_R]$ – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укусу згідно з [2] (для доріг I і II категорій – 1,5; III і IV – 1,3);

k_{nd} – коефіцієнт надійності на метод розрахунку $k_{nd} = 1,5$.

$$T_{a\text{ роз}} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 26,096 = 58,717 \text{ кН}$$

4. Розраховують необхідну кількість армуючих геосинтетичних прошарків:

$$N_{\text{арм}} = \frac{T_{a\text{ роз}}}{T_d}. \quad (5)$$

$$N_{\text{арм}} = \frac{58,717}{7,58} = 7,746 \approx 8.$$

5. Визначають глибину вертикальної тріщини відриву:

$$h_{90} = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right). \quad (6)$$

$$h_{90} = \frac{2 \cdot 10}{20} \operatorname{ctg} \left(45^\circ - \frac{35^\circ}{2} \right) = 1,92 \text{ м.}$$

6. Розраховують відстань між армуючими прошарками:

$$d_a = \frac{H - 0,5 \cdot h_{90}}{N_{\text{арм}}}. \quad (7)$$

$$d_a = \frac{5 - 0,5 \cdot 1,92}{8} = 0,505 \text{ м.}$$

Перший прошарок від поверхні насипу розміщують на глибині $0,5h_{90}$ (0,96 м), а перший від основи насипу – на відстані $d_a = 0,5$ м, далі прошарки розподіляють рівномірно по висоті насипу та визначають глибину їх закладання (z_i) від поверхні насипу.

7. Розподіляють прошарки рівномірно по висоті насипу та визначають глибину їх закладання (z_i) від поверхні насипу.

$z_1=0,96$ м; $z_2=1,47$ м; $z_3=1,98$ м; $z_4=2,49$ м; $z_5=3$ м; $z_6=3,5$ м; $z_7=4$ м; $z_8=4,5$ м.

8. Знаходять кут біля вершини насипу β :

$$\begin{aligned}\beta &= 90 - \delta. \\ \beta &= 90 - 63,4 = 26,6^\circ.\end{aligned}\quad (8)$$

9. Розраховують вертикальне напруження σ_{zi} з врахуванням технології спорудження насипу та стадійного укладання армуючих геосинтетичних прошарків:

$$\sigma_{zi}^* = \frac{\rho g}{\operatorname{ctg} \beta + \beta + \frac{\pi}{2}} \left\{ -z_i \cdot \left[\beta \cdot (1 + 2 \sin^2 \beta \cos^2 \beta) + \cos^2 \beta \operatorname{ctg} \beta + \frac{\pi}{2} \sin^2 \beta \right] + \right. \\ \left. + 2 \cos^4 \beta (z_i \cdot \operatorname{tg} \beta) \ln(\operatorname{tg} \beta) - 2 \sin \beta \cos^3 \beta (z_i \cdot \operatorname{tg} \beta) \times \arctg(\operatorname{ctg} \beta) \right\}; \quad (9)$$

$\sigma_{z1}=-15,51878$ МПа; $\sigma_{z2}=-23,76313$ МПа; $\sigma_{z3}=-32,00748$ МПа; $\sigma_{z4}=-40,25183$ МПа; $\sigma_{z5}=-48,49618$ МПа; $\sigma_{z6}=-56,57887$ МПа; $\sigma_{z7}=-64,66157$ МПа; $\sigma_{z8}=-72,74427$ МПа.

10. Розраховують довжину анкерування армуючого прошарку у стійку частину насипу:

$$L_{\text{анк}} \geq 1 + \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot f_{ds-\theta} \cdot \sigma_z^* \cdot \operatorname{tg} \phi}, \quad (10)$$

$L_{\text{анк}1} = 1,747392$ м; $L_{\text{анк}2} = 1,488092$ м; $L_{\text{анк}3} = 1,362372$ м; $L_{\text{анк}4} = 1,288151$ м; $L_{\text{анк}5} = 1,239165$ м; $L_{\text{анк}6} = 1,204999$ м; $L_{\text{анк}7} = 1,179374$ м; $L_{\text{анк}8} = 1,159444$ м.

11. Розраховують довжину геосинтетичного прошарку у призмі обвалення:

$$L_{\text{пр.обв}} = X_\theta - X_\delta, \quad (11)$$

де X_θ – горизонтальна проекція лінії ковзання на рівні закладення армуючого прошарку;

X_δ – горизонтальна проекція лінії укосу на рівні закладення армуючого прошарку.

$$X_\theta = \frac{h_{ai}}{\operatorname{tg} \theta}, \quad (12)$$

де h_{ai} – висота закладення армуючого прошарку.

$$X_{\delta} = \frac{h_{ai}}{\operatorname{tg} \delta}. \quad (13)$$

$L_{\text{пр.обв.1}}=1,61679201$ м; $L_{\text{пр.обв.2}}=1,41269203$ м; $L_{\text{пр.обв.3}}=1,20859205$ м;
 $L_{\text{пр.обв.4}}=1,00449207$ м; $L_{\text{пр.обв.5}}=0,80039209$ м; $L_{\text{пр.обв.6}}=0,60029406$ м;
 $L_{\text{пр.обв.7}}=0,40019604$ м; $L_{\text{пр.обв.8}}=0,20009802$ м

12. Розраховують загальну довжину армування для кожного геосинтетичного прошарку:

$$L_{\text{арм}} = L_{\text{анк}} + L_{\text{пр.обв}} + L_{\text{об}}, \quad (14)$$

де $L_{\text{анк}}$ – довжина анкерування геосинтетичного прошарку;

$L_{\text{пр.обв}}$ – довжина геосинтетичного прошарку у призмі обвалення на рівні його закладання;

$L_{\text{об}}$ – довжина геосинтетичного прошарку, яка передбачається на влаштування обойми (коли за проектом не передбачено влаштування обойм, то $L_{\text{об}} = 0$).

$L_{\text{заг.1}}=3,36$ м; $L_{\text{заг.2}}=2,90$ м; $L_{\text{заг.3}}=2,57$ м; $L_{\text{заг.4}}=2,29$ м; $L_{\text{заг.5}}=2,04$ м; $L_{\text{заг.6}}=1,81$ м; $L_{\text{заг.7}}=1,58$ м; $L_{\text{заг.8}}=1,36$ м.

13. Перевіряють необхідну кількість армуючих прошарків за умови виключення проковзування ґрунту над (під) або між армуючими елементами в активній зоні насипу:

$$T_{\text{зсув}} > k'_{\text{акт}} d_a \sigma_z^*, \quad (15)$$

де $T_{\text{зсув}}$ – сила опору армуючих прошарків із умови проковзування ґрунту над або між ними;

$k'_{\text{акт}}$ – коефіцієнт активного бокового тиску для насипу з кутом закладання укусу δ ;

σ_z^* – тут нормальне напруження на рівні армування.

$$T_{\text{зсув}} = L_{\text{пр.обв}} \cdot B_{\text{пр.обв}} \cdot \tau_{\text{зсув}}, \quad (16)$$

де $B_{\text{пр.обв}}$ – ширина геосинтетичного прошарку у призмі обвалення;

$\tau_{\text{зсув}}$ – опір зсуваючим зусиллям.

$$\tau_{\text{зсув}} = \sigma_z^* f_{ds} \operatorname{tg} \phi. \quad (17)$$

$$k'_{\text{акт}} = \frac{[\operatorname{tg}(90 - \theta) - \operatorname{tg}(90 - \delta)] \cdot \sin(\theta - \phi)}{\sin(\delta - \theta + \phi)}. \quad (18)$$

$$k'_{\text{акт}} = \frac{[\operatorname{tg}(90 - 48,01) - \operatorname{tg}(90 - 63,34)] \cdot \sin(48,01 - 35)}{\sin(63,34 - 48,01 + 35)} = 0,1168.$$

$T_{\text{зсув1}}=12,29806$ МПа; $T_{\text{зсув2}}=16,45417$ МПа; $T_{\text{зсув3}}=18,96077$ МПа;
 $T_{\text{зсув4}}=19,81787$ МПа; $T_{\text{зсув5}}=19,02546$ МПа;
 $T_{\text{зсув6}}=16,64728$ МПа; $T_{\text{зсув7}}=12,68364$ МПа; $T_{\text{зсув8}}=7,134547$ МПа.
 $\tau_{\text{зсув1}}=0,91562$ МПа; $\tau_{\text{зсув2}}=1,402042$ МПа; $\tau_{\text{зсув3}}=1,888465$ МПа; $\tau_{\text{зсув4}}=$
 $2,374888$ МПа; $\tau_{\text{зсув5}}=2,861311$ МПа; $\tau_{\text{зсув6}}=3,338196$ МПа;
 $\tau_{\text{зсув7}}=3,815081$ МПа; $\tau_{\text{зсув8}}=4,291967$ МПа.

Так як $T_{\text{зсув}} > \tau_{\text{зсув}}$ для всіх обріїв армування, робимо висновок, що кількість армуючих прошарків достатня за умови виключення проковзування ґрунту над (під) або між армуючими елементами в активній зоні насипу.

Для перевірки відповідності розрахункової схеми та армування, використовуємо програму SCAD. За допомогою якої перевіримо стійкість системи армований насип – основа по деформаціям та напруженням.

Прийняті жорсткості:

Основа

Ґрунт – супісок не пилюватий: модуль пружності $E = 180$ МПа ($18348,62$ т/м²), коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$, питома вага $\gamma = 1,7$ т/м³.

Насип

Ґрунт – супісок пилюватий: модуль пружності $E = 42$ МПа ($4281,35$ т/м²), коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$, питома вага $\gamma = 2,0$ т/м³.

Геотекстиль

Polyfelt TS50: модуль пружності $E = 27,5 \cdot 10^2$ МПа ($2803261,97757$ т/м²), коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,33$, питома вага $\gamma = 0,1$ т/м³, товщина $0,002$ м.

Прийняті зв'язки

Основа: відповідним площинам накладені зв'язки по X та по Y. Площина основи – по всім напрямкам.

Насип: відповідним площинам по X та по Y (окрім укосу насипу).

Геотекстиль: відповідним площинам по Y. По X – накладені тільки по грані усередині насипу.

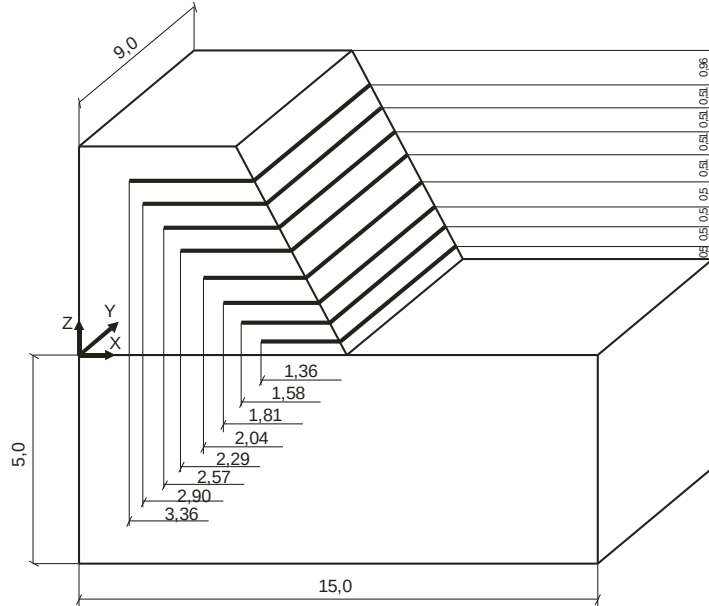


Рисунок 2 – Розрахункова схема армований насип – основа

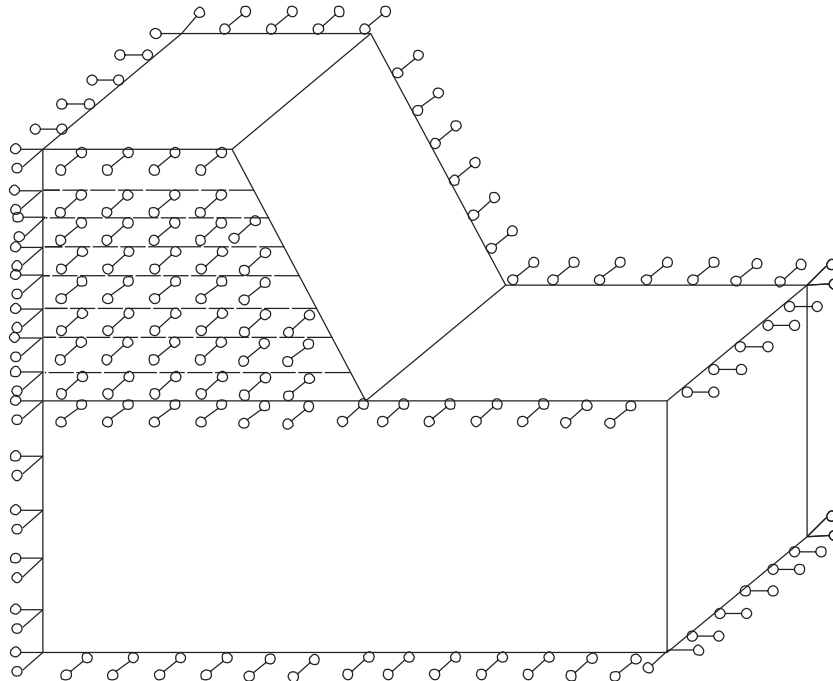


Рисунок 3 – Прийняті зв'язки

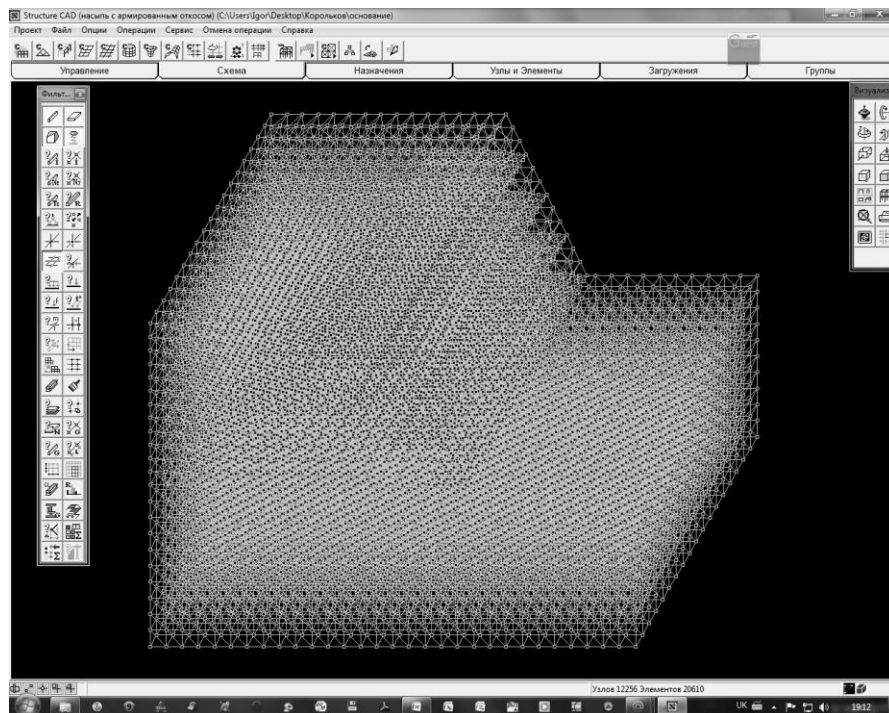


Рисунок 4 – Розрахункова схема

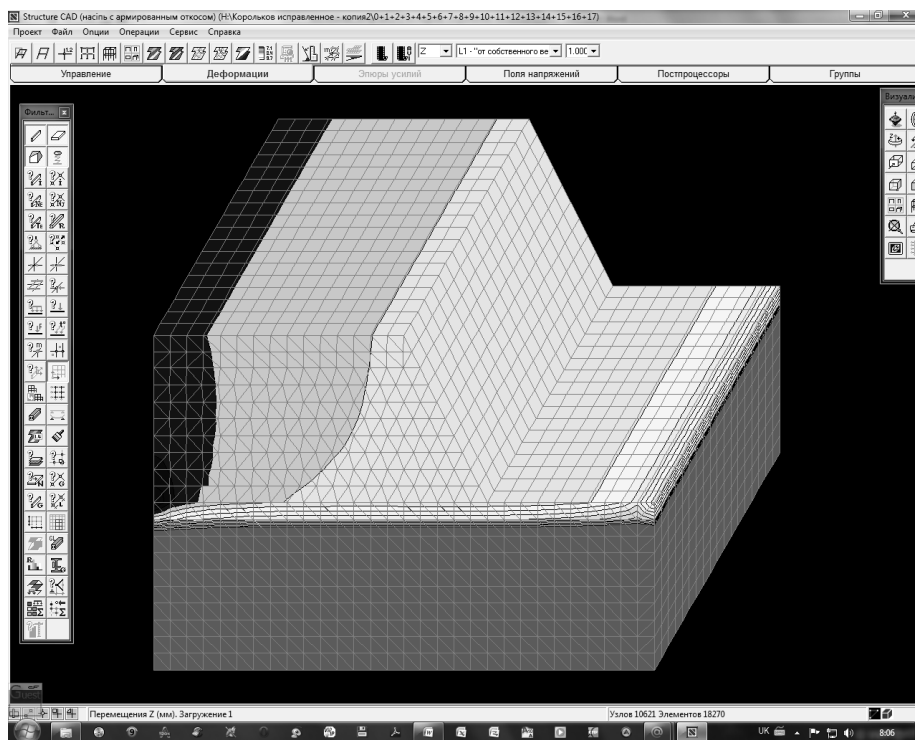


Рисунок 5 – Деформації по осі Z

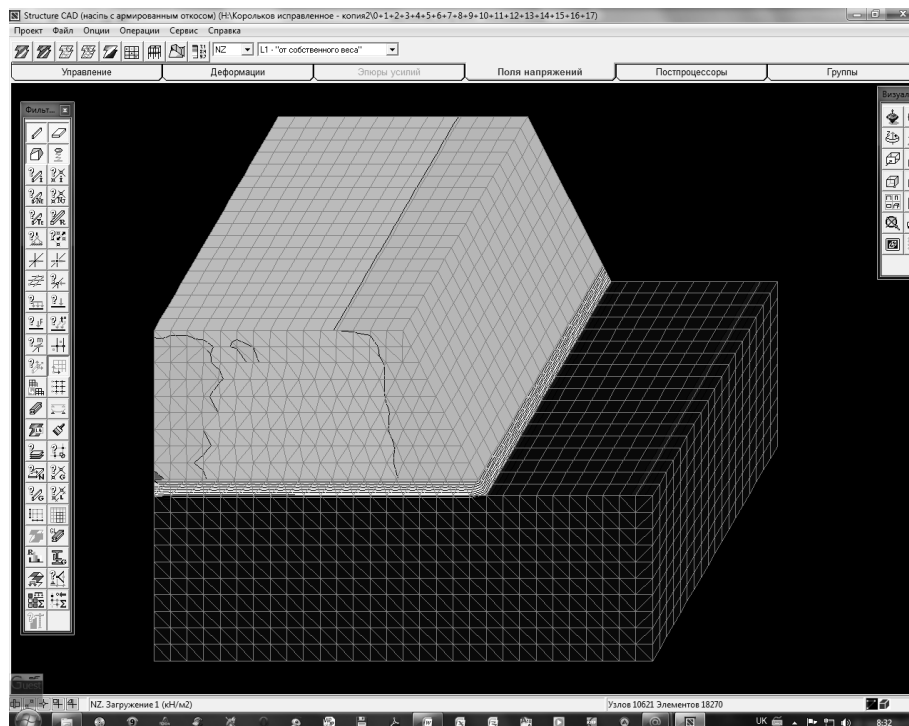


Рисунок 6 – Поля напряжень по NZ

Наведені епюри свідчать про те, що стійкість насипу забезпечена, деформації що виникають, не ведуть до руйнування насипу.

Висновок

Отримані результати свідчать про те, що запропонована методика дозволяє обґрунтувати інженерні рішення з армування укосів насипів автомобільних доріг. За допомогою числового моделювання із застосуванням метода скінченних елементів підтверджено достовірність розробленої методики.

Література

1. Корольков Р.О. Методика розрахунку необхідного армування для стабілізації укосів насипів з урахуванням зміни напруженого стану при їх спорудженні / Р.О. Корольков // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2010. – Вип. 78. – С. 23–30.
2. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с.

Рублев А.В., Бендеберя Ф.А., Зуев С.В., Маслов И.З.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЙ ТРОСОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ДВИЖУЩИМСЯ ПОТОКОМ

Анотація. На підставі наведених співвідношень були виконані чисельні розрахунки в ході яких була знайдена зона нестійкості роботи троса.

Ключові слова: міст, трос, потік.

Аннотация. На основании приведенных соотношений были выполнены численные расчеты в ходе которых была найдена зона неустойчивости работы троса.

Ключевые слова: мост, трос, поток.

Annotation. On the basis of these relationships have been performed numerical calculations in which was found instability zone of the rope

Key words: bridge, rope, thread.

В некоторых случаях скорости набегающего потока могут быть очень большими и приводят к опасным вынужденным колебаниям троса вплоть до разрушения мест его соединений. Предотвращение таких колебаний возможно в том случае, когда известна зависимость их частотного спектра от силовых или кинематических нагрузок со стороны набегающего потока.

Основной задачей при использовании тросов и гибких труб является определение их равновесной пространственной формы в потоке. Такая форма осевой линии стержня в большинстве случаев является пространственной кривой, которая при больших скоростях набегающего потока в сильной степени отличается от равновесного состояния в неподвижном потоке [1].

При взаимодействии тросов с движущимся потоком вектор возникающего гидродинамического момента может быть представлен в виде

$$\vec{M} = \vec{M}_{вр} \vec{e}_1 = \frac{1}{2} C_m \rho d v_n^2 \vec{e}_1 \quad (1)$$

где $\vec{M}_{вр}$ - крутящий момент;

C_m – гидродинамический коэффициент, определяемый углом атаки потока.

В ходе исследований была разработана методика расчета рабочего процесса использования тросов и гибких трубопроводов. Она подразумевает оценку связи между критическими параметрами системы при ее параметрических колебаниях. При этом сами колебания описывались периодическими функциями с неизменным периодом [2].

В неподвижной системе координат моделирование троса с колебанием массы m с учетом силы вязкого сопротивления было представлено в виде

$$x_2'' + \frac{\alpha}{m} x_2' + \frac{2F_0}{ml} \left(1 + \frac{\Delta F_{cm}(t)}{F_0} \right) x_2 = 0. \quad (2)$$

где F_0 - осевое усилие в тросе (начальное напряженное состояние);

F_{cm} - статическое усилие в тросе;

l - длина троса;

α – угол отклонения троса от статически устойчивого осевого положения.

С учетом безразмерных переменных $P_0 = \left(\frac{2F_0}{ml} \right)^{\frac{1}{2}}$, $P_0 t = \tau$, $y = lV$ (где P_0 – частота свободных колебаний при $\alpha = \Delta F_1 = 0$) при $\Delta F_{cm}(t) = \Delta F_0 \cos(\omega t)$ уравнение (2) было записано как

$$V'' + n_4 V' + (1 + n_2 \cos n_3 \tau) V = 0 \quad (3)$$

где :

$$n_2 = \frac{\Delta F_0}{F_0} \quad n_3 = \frac{\omega}{P_0} \quad n_4 = \frac{\alpha}{m P_0}.$$

Приближенное решение уравнения (3) находилось в виде ряда

$$V = \sum_{i=1,3,5} \left(A_i \sin \frac{i n_3}{2} \tau + B_i \cos \frac{i n_3}{2} \tau \right) \quad (4)$$

Из-за сложности пространственного моделирования работы троса были рассмотрены колебания только в одной плоскости, при которых статическая нагрузка подчинялась закону

$$\Delta F_{cm}(t) = \Delta F_{0x} \cos(\omega t) + \Delta F_{0y} \sin(\omega t) \quad (5)$$

Уравнение (3) было преобразовано в

$$V'' + n_4 V' + (1 + n_2 \cos n_3 \tau + n_2^1 \sin n_3 \tau) V = 0 \quad (6)$$

а его решение уравнения имело вид

$$\left\{ \begin{aligned} \left(1 - \frac{n_2}{2} - \left(\frac{n_3}{2}\right)^2\right) A_1 + \left(\frac{n_2^1}{2} - \frac{n_3 n_4}{2}\right) B_1 &= 0 \\ \left(\frac{n_3 n_4}{2} + \frac{n_2^1}{2}\right) A_1 + \left(1 + \frac{n_2}{2} - \left(\frac{n_3}{2}\right)^2\right) B_1 &= 0 \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Уравнение для нахождения критических параметров записывалось как

$$|n_2| = 2 \sqrt{\left(1 - \left(\frac{n_3}{2}\right)^2\right)^2 - \left(\left(\frac{n_2^1}{2}\right)^2 - \left(\frac{n_3 n_4}{2}\right)^2\right)} \quad (8)$$

На основании приведенных соотношений были выполнены численные расчеты в ходе которых была найдена зона неустойчивости работы троса.

Выполненная оценка верхней границы области устойчивости работы троса при параметрических колебаниях приведена на рисунке 1, где видно, что зона неустойчивости троса соответствует режиму с $n_4=1.921$, а колебания троса при $n_3>0$ будут всегда неустойчивыми.

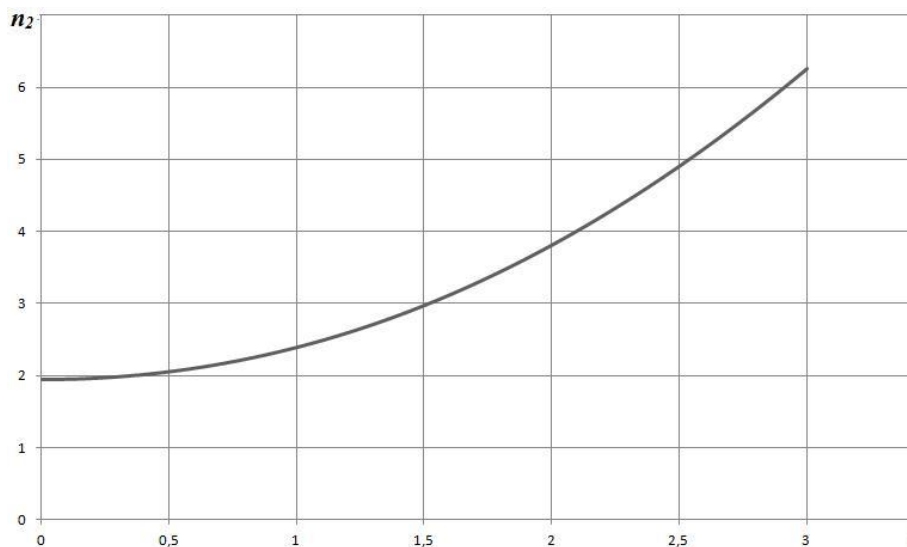


Рисунок 1 – Верхняя граница неустойчивости эксплуатационных характеристик троса при параметрических колебаниях

Литература

1. Светлицкий В.А. Механика трубопроводов и шлангов. – М. : Машиностроение, 1982. – 280 с.
2. Цай Н. Анализ нелинейного неустойчивого движения тросов с использованием метода диаграмм связи // Труды Американского общества инженеров-механиков. Прикладная механика. – 1972. – т.94, сер. В, № 2. – С. 1–8.

Щодро О.Є., канд. техн. наук , Шинкарук Л.А., канд. техн. наук,
Вечер В.В., канд. техн. наук

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІСЦЕВИХ РУСЛОВИХ ДЕФОРМАЦІЙ РУСЛА
р. ВОЛГА БІЛЯ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ
НА ТРАСІ НИЖНІЙ НОВГОРОД – КАЗАНЬ**

Анотація. В роботі розглянуто результати модельних гідравлічних досліджень стійкості руслових макроформ поблизу мостового переходу через річку Волгу. На жорсткій моделі виконано заміри придонних і середніх на вертикалях швидкостей потоку при трьох характерних режимах потоку, які відповідають паводкам певних забезпеченостей. На розмивній моделі оцінено інтенсивність змиву руслової форми, яка відповідає за надійність мостового переходу. Оцінено найімовірніший строк служби всієї споруди виходячи з зазначеної інтенсивності. Виявлено роль транзитних наносів на інтенсивність змиву руслової форми.

Ключові слова: мостовий перехід, русловий процес, кар'єри, гідравлічне моделювання, пропускна спроможність моста.

Аннотация. В работе рассмотрены результаты модельных гидравлических исследований, устойчивости русловых макроформ вблизи мостового перехода через реку Волгу. На жесткой модели выполнены измерения придонных и средних на вертикалях скоростей потока при трех характерных режимах потока, которые соответствуют паводкам определенной обеспеченности. На размываемой модели оценена интенсивность смыва русловой формы, которая ответственна за надежность мостового перехода. Определен наивероятнейший срок службы всего сооружения исходя из указанной интенсивности. Выявлена роль транзитных наносов на интенсивность смыва русловой формы.

Ключевые слова: мостовой переход, русловой процесс, карьеры, гидравлическое моделирование, пропускная способность моста.

Annotation. Results of hydraulic modeling of Volga river-bed stability are reported. The district of near Kadzan was examined, and also the stability of the bridge crossing at the Nijniy Novgorod – Kadzan highway. The flow field was investigated for three main river discharges and consequent levels. The intensity of

river-bed process was regarded as the process of the Trizub peninsula washing out. This peninsula is the main defence factor of the bridge crossing groyne. The intensity of its deformation was achieved. The transit sediment role also was investigated.

Keywords: river-bed process, highway, bridge crossing, hydraulic modeling, local scour, river-bed sediment

Метою даної роботи було виявлення інтенсивності змиву дрібнопіщаного ґрунту з руслової форми, яка захищає дамбу мостового переходу від високошвидкісної течії. В **задачі** роботи входило вивчення кінематичних характеристик потоку при характерних рівнях води і витратах, що проходять по річці, оцінка інтенсивності змиву даної руслової форми, а також інтенсивності руслового процесу в цілому. Додатковою задачею досліджень була оцінка наслідків утворення кар'єру на заплаві та його вплив на гідравлічну структуру потоку. **Об'єктом** дослідження можна вважати мостовий перехід на трасі автомобільної магістралі Нижній Новгород – Казань, а **предметом** – русловий процес біля зазначеної споруди.

Дослідження проводили в гідротехнічній лабораторії УІВГ в 1987-1991 рр. В той період було отримано основні результати модельного дослідження стосовно топографії річкового русла, яке було зафіксовано перед початком модельних досліджень. В той період проводили також систематичні спостереження за динамікою дна русла річки Волги та заплави біля мостового переходу. З цією метою проводили ультразвукове зондування дна з катера, який пропливав за спеціально заданими маршрутами в районі дослідження.

На рис.1 представлено фотографію, яка демонструє ситуацію, що може скластися при несприятливому ході руслового процесу. Саме півострів «Тризубець», який з одного боку захищає струмененапрямну дамбу моста, з другої сам підлягає активному розмиву як потоком, який проходить в самому руслі Волги, так і потоком, що рухається з заплави через вузьку протоку шириною біля 250-300 м. Але основним фактором, який може спричинити подальшу динаміку острова є та гідравлічна структура, яка формується у зоні злиття потоків. Саме вплив транзитного руслового потоку на боковий втікаючий в нього потік полягає в його притисненні до зазначеного півострова, збільшення локальних швидкостей і розмивної спроможності цього потоку.

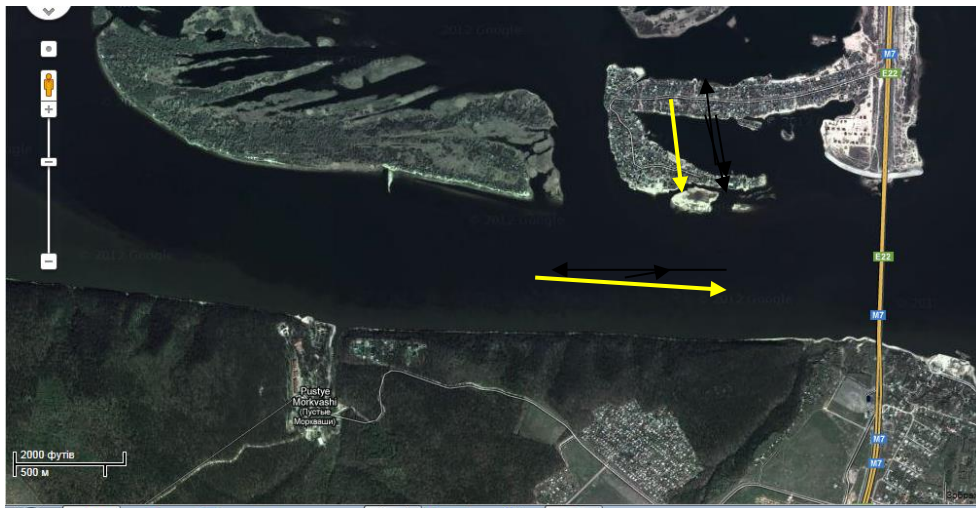


Рисунок 1 – Супутникова фотографія мостового переходу та підхідної ділянки русла. Рух потоку зліва на право; до лівобережної струмененапрямної дамби примикає півострів «Тризубець»

На сьогодні конфігурація основних руслових форм дещо змінилася, про що свідчать, зокрема, фотографії мостового переходу зняті через систему Google maps (рис.1). Порівняння топографічних матеріалів дозволило оцінити реальну інтенсивність змиву півострова «Тризубець», який прикриває собою підходи до струмененапрямної дамби мостового переходу.

Оцінка наслідків проходження повеней та паводків в межах русла і заплави перед мостовим переходом зводилася до оцінки скінченних деформацій поверхні дна. Така оцінка проводилась на основі спостережень деформації касети, яка була влаштована на ділянці можливих небезпечних деформацій. Попередньо, на стадії вивчення кінематики потоку, касети влаштовано не було і на жорсткій поверхні проводилися вимірювання швидкостей потоку за допомогою мікровертушок та однокомпонентних тензометричних датчиків, які дозволяють отримувати значення миттєвих швидкостей з фіксацією пульсацій швидкості з частотами порядку 100-150 Гц.

Найбільшу небезпеку, з точки зору розмиву, представляють певні гідрологічні режими річки Волга:

- проходження розрахункової витрати (для мостового переходу) $Q = 40000 \text{ м}^3/\text{с}$ (де Q – витрата водного потоку) при рівні води на заплаві 58,3 м абс.;
- проходження витрати $Q = 20000 \text{ м}^3/\text{с}$ при високому рівні води на заплаві 53,3 м абс. і при зниженому горизонті до відмітки 51,8 м абс.

(зниження рівня на 1,5 м можливе з точки зору природоохоронних та екологічних міркувань);

- пониження рівня від відмітки 57,3 м абс. зі швидкістю 0,5 м/добу.

Перший з зазначених випадків характеризується найбільш високими швидкостями і уклонами потоку в цілому на заплаві й можливістю розвитку небезпечних течій біля підхідної дамби та в зоні кар'єру за рахунок концентрації витрат.

Другий випадок небезпечний можливістю появи зон місцевих збільшень швидкостей на довжині каналу-протоки, біля півострова «Тризубець» і в інших небезпечних районах заплави в зв'язку з перерозподілом витрат на заплаві, викликаним впливом кар'єрної розробки.

Третій випадок небезпечний можливістю розмивів при збільшенні місцевих уклонів, коли рівні в руслі спадають інтенсивніше, чим на заплаві. Ці характерні режими було відтворено на моделі.

Вибір та обґрунтування масштабу моделі описано нижче. Горизонтальний масштаб моделі α_l вибирали виходячи з мінімальної довжини ділянки річки Волга в натурі, яку потрібно моделювати ($L_{\text{нат}} \approx 6$ км), ширина заплави і русла $B_{\text{нат}} \approx 5$ км і розмірів лабораторної площадки (10,0×15,0 м). Відповідно до цих міркувань було прийнято $\alpha_l = 500$.

Вертикальний масштаб моделі α_h був прийнятий рівним 100.

Опис лабораторної установки наведено нижче. Установка представляла собою руслову площадку розміром 10,0×15,0 м. Витрати установки досягали 100 л/с і подавали на модель через два прийомних баки, обладнаних відтарованими трикутними мірними водозливами та п'єзометрами. Із баків вода поступала в водобійний колодязь, звідки виходила через ефективний гасник, який представляв собою дві дротяні сітки, що були натягнуті на дерев'яний каркас. Простір між сітками повністю заповнено дерев'яною стружкою. В кінці моделі було встановлено клапанний затвор, що дозволяв точно регулювати рівні води на моделі.

Перерахунок даних модельних досліджень в натуру на нерозмивній моделі проводили наступним чином. Моделювання проводили за критерієм Фруда. При цьому умови подібності записуються в наступному вигляді

$$Fr_m = Fr^H,$$

індекси «н» та «м» відповідають натурі та моделі.

Відношення між масштабними коефіцієнтами різних величин приймаються наступним чином:

$$\alpha_{\omega} = \alpha_l \cdot \alpha_h; \quad \alpha_v = \sqrt{\alpha_h} \quad (1)$$

$$\alpha_Q = \alpha_{\omega} \cdot \alpha_v = \alpha_l \cdot \alpha_h^{3/2};$$

$$\alpha_j = \alpha_h / \alpha_l = 1/k ;$$

$$\alpha_c = \alpha_v / \alpha_h^{1/2} \cdot \alpha_j^{1/2} = \sqrt{\alpha_l / \alpha_h}$$

$$\alpha_n = \alpha_h^{1/6} / \alpha_c = \sqrt{\alpha_h} / \sqrt[3]{\alpha_l}$$

де α_{ω} , α_v , α_Q , α_j , α_c , α_n - масштабні коефіцієнти площ, швидкостей, витрат, уклонів, коефіцієнтів Шезі і шорсткості.

$\alpha_l = 500$, $\alpha_h = 100$ - лінійні масштаби.

Перерахунок модельних характеристик в натуру здійснювали шляхом їх множення на відповідний масштабний коефіцієнт.

Витрата донних наносів в натурі була взята за даними натурних досліджень рівною $q_n^{\text{нат}} = 3,75 \cdot 10^{-6}$ кг/м²с, а модельне її значення $q_n^{\text{мол}}$ заміряли по об'єму винесеного піску за час проведення досліду.

Потрібне значення модельної твердої витрати, таким чином, визначали з виразу

$$q_n^{\text{потр.мод}} = q_n^{\text{нат}} \cdot \frac{q^{\text{мод}}}{q^{\text{нат}}} = q_n^{\text{нат}} \cdot \alpha_h^{-3/2},$$

де q – питомі витрати водного потоку;

q_n - питомі витрати наносів.

Глибини розмиву в натуру можна перерахувати за формулою Б.І.

Студенічнікова

$$h_n = \left(\frac{\rho_{1M}}{\rho_{1H}} \right)^{2/5} \left(\frac{1+3\rho_M^{2/3}}{1+3\rho_H^{2/3}} \right) \left(\frac{d_M}{d_H} \right)^{1/5} \left(\frac{\alpha_H}{\alpha_M} \right)^{1/5} \left(\frac{q_H}{q_M} \right)^{4/5} \cdot h_M, \quad (2)$$

де ρ_1 , ρ , d – об'ємна маса ґрунту, щільність і діаметр частинок наносів;

α - коефіцієнт кінетичної енергії потоку.

Для умови натурального моделювання при кінематичній подібності епюр швидкостей на вертикалях формула (2) приводиться до вигляду

$$h_p^H \approx \left(\frac{q_H}{q_M}\right)^{4/5} \cdot h_p^M$$

тобто

$$\alpha_{h_p} = \alpha q^{4/5}.$$

З врахуванням формули (1) отримаємо

$$\alpha_{h_p} = (\alpha_h^{3/2})^{4/5} = \alpha_h^{1,2}.$$

Враховуючи форсування витрат на моделі, отримаємо кінцеву формулу

$$\alpha_{h_p} = \left(\frac{\alpha_q}{k_\Phi}\right)^{4/5} = \frac{\alpha_h^{1,2}}{k_\Phi^{4/5}}.$$

Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що при проходженні різних характерних витрат по руслу і заплаві Волги найбільші швидкості й розмивна спроможність спостерігалися при витратах 30 і 40 тис. м³/с. Але найбільш розмивні зони русла в кожному випадку спостерігалися свої. Так при максимальній витраті найгостріша ситуація може скластися безпосередньо біля струмененапрямної дамби, а при меншій витраті, коли рівні води затоплюють заплавні острови не повністю а лише частково, в найбільшій небезпеці опиняється берег півострова «Тризубець», який омивається течією. Саме у цьому випадку найбільший ефект притиснення бокової струмини має місце, який доповнюється також фактором істотного підвищення рівня турбулентності в зоні злиття потоків.

Заміряна інтенсивність берегової планової ерозії протоки і відповідного «з'їдання» берега півострова мала місце при витраті 30000 м³/с, і становила таку величину, яка відповідає натурній інтенсивності 20 метрів берега за 10 років роботи мостового переходу.

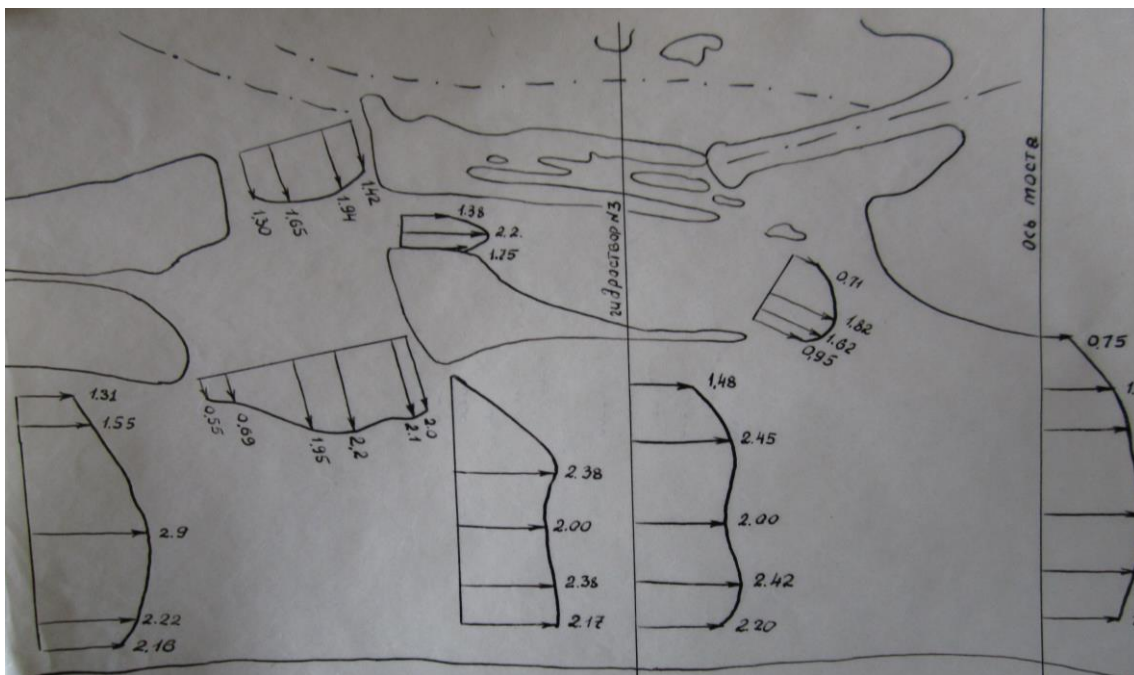


Рисунок 2. – Значення осереднених швидкостей в зоні злиття потоків при витраті Волги $Q=30000 \text{ м}^3/\text{с}$

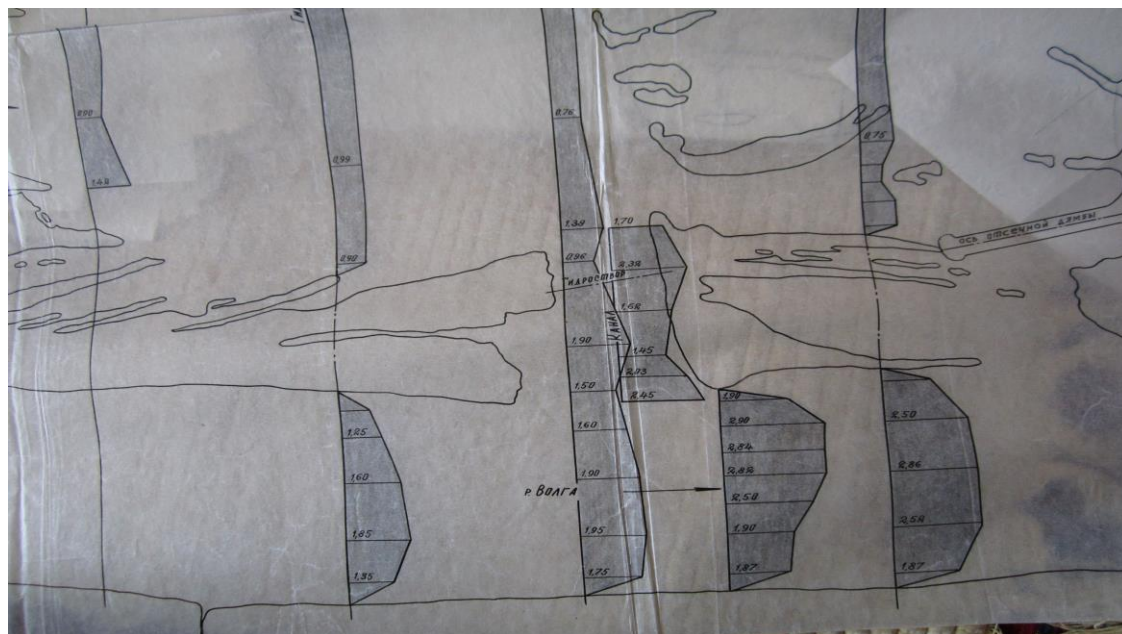


Рисунок 3. – Значення осереднених швидкостей в зоні злиття потоків при витраті Волги $Q=40000 \text{ м}^3/\text{с}$

Література

1. Леви И.И. Моделирование гидравлических явлений. – М.: Энергия, 1967. – 235 с.
 2. Лятхер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
 3. Студеничников Б.И. Размывающая способность потоков и методы русловых расчетов. – М. : Изд-во литер. по строительству, 1964. – 184 с.
- Hydraulic Modelling. Ed. H. Kobus. – Hamburg, 1980.

УДК 624.072

Жданюк І.І., зам. директора департаменту, **Джалалов М.Н.**, нач. відділу інж. споруд (Харківська міська рада), **Більченко А.В.** канд. техн. наук, (Харківський національний автомобільно-дорожній університет)

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПИТАННЯ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА СИСТЕМУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОСТОВИХ СПОРУД В м. ХАРКОВІ

Анотація. Проведено аналіз техніко-економічних питань, які впливають на методи управління експлуатацією мостових споруд в м. Харкові. Виявлені причини погіршення стану мостових споруд і запропоновано заходи по покращенню процесу їх експлуатації.

Ключові слова: мостові споруди, система експлуатації, фінансування, управління.

Аннотация. Проведен анализ технико-экономических вопросов, которые влияют на методы управления эксплуатации мостовых сооружений в г. Харькове. Выявленные причины ухудшения состояния мостовых сооружений и предложенные мероприятия по улучшению процесса их эксплуатации.

Ключевые слова: мостовые сооружения, система эксплуатации, финансирование, управление.

Annotation. The analysis of the technical and economic issues that affect the methods of operation of bridges in Kharkov has been made. The causes of the deterioration of bridge structures have been determined and measures to improve their operation have been proposed.

Keywords: bridge construction, the system is operating, financing and management.

Критичний стан мостових споруд комунальної власності пов'язаний з великою різноманітністю причин в процесі створення споруд і в процесі їх експлуатації. В першу чергу це недосконалість системи вишукування, проектування, будівництва і експлуатації, так як вони між собою пов'язані тільки нормативними документами.

Найбільш обґрунтовані нормативні документи не можуть до кінця врахувати перемінність силових дій і фізико-механічних характеристик властивостей матеріалів. Не дивлячись на удосконалення методів розрахунків і застосування ЕОМ одна із основних причин катастрофічних ситуацій при експлуатації мостів є ідеалізація вихідних передумов розрахунків, розрахункових схем і систем експлуатації, які не в повній мірі відображають дійсні умови експлуатації споруди на протязі якогось часу. Крім того міські мостові споруди зазнали бурхливого зростання інтенсивності руху автомобільного транспорту, його різноманітності і вантажопідйомності, тому майже всі мостові споруди вимагають ремонту або реконструкції, в особливості мостові споруди побудовані до війни, в центральній частині міста. Однак, служба експлуатації на мостових спорудах міського значення в багатьох випадках налагоджена не на високому рівні, так як виконується дорожніми організаціями, тому деякі характерні дефекти конструкцій мостів, а саме стан мостового полотна і гідроізоляції, сполучення з підходами, організація водовідводу, деформаційні шви та інше, викликають обґрунтоване занепокоєння спеціалістів [1, 2, 3].

Недотримання нормативних вимог до важливих, але не розрахункових елементів мостів, таких як водовідведення, гідроізоляція, деформаційні шви в традиційно зневажливе відношення до них привело при бурхливому застосування збірного залізобетону до катастрофічних наслідків. Покриття мостів перетворилось в суцільне сито, почалась інтенсивна фільтрація води на залізобетонні конструкції прогонових будов, ригелі і опори. Середній термін служби гідроізоляції, виконаної раніше (до 10 років) не можливо порівняти із строком служби прогонових будов (до 100 років), тому зараз майже всі мости мають погану або не мають ніякої гідроізоляції. На цю проблему почали звертати увагу тільки в останні 10-15 років [1-2].

Величезні зусилля і кошти, затрачені в світі на те, щоб осмислити і узагальнити механіку і фізику руйнування бетону на мікроскопічному рівні. Однак, треба признати, що ці фундаментальні надбання світової науки в

механіці пошкоджень бетону, викликаних зовнішніми навантаженнями і кліматичними умовами, поки що не дали детерміністичних моделей руйнування з плином часу залізобетону, придатних для широкого практичного вжитку [1]. Це зв'язано з тим, що класична детерміністична модель накопичення пошкоджень елемента споруди потребує чіткої інформації з історії зовнішніх і кліматичних навантажень, вираженої в кількості циклів «навантаження-розвантаження». Цих даних для елементів мостів не було і не очікується в осяжному майбутньому [1]. Крім того дуже мало досліджень величин напружень і деформацій від дії температур, хоча це також може приводити до руйнування мостів, як це є на шляхопроводі в межах міста по окружній дорозі Київ-Харків-Довжанський [3].

Дуже мало досліджень і публікацій відноситься до таких питань, як пошкодження бетону і арматури залізобетонних конструкцій у стиснутій зоні, де вона застоюється, насичує верхній шар бетону конструкцій, і у періоди фазових переходів «вода – лід – вода» руйнує бетон. При реконструкції Нетеченського моста в м. Харкові виявилось, що, бетон за 50 років втратив 2/3 своєї міцності, а арматура в окремих місцях майже повністю втратила поперечний переріз [4].

Таким чином 85% відсотків залізобетонних прогонових будов міських мостових споруд мають зазначені дефекти [2].

Порівнюючи повністю ідентичні конструкції прогонових будівель, що виконані в збірному та монолітному варіантах, впадає в око вражаюча різниця загального технічного стану споруд: практично всі монолітні конструкції перебувають у значно кращому технічному стані, ніж збірні, наприклад стан монолітного Купецького мосту якому 100 років і мосту із збірного залізобетону Подільського, якому 40 років, різниця вражаюча на користь монолітного. І першопричина тут, звичайно, в технології виготовлення збірних конструкцій, де прискорене твердіння бетону призводить до значного збільшення пористості бетону і розмірів пор, в якості виконання вузлів сполучення, складу бетонів, технології догляду за свіжо укладеним бетоном [1-2]. Таким чином більш економічним є будівництво монолітних споруд.

Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом за даними обстежень відібрані 5 мостів і шляхопроводів, що потребують негайної реконструкції та капітального ремонту. Визначені фактори і причини, які призвели до погіршення технічного стану цих споруд. По-перше, визнано,

що майже всі дефекти залізобетонних мостів виникли внаслідок недосконалої експлуатації, помилок при проектуванні, і в особливості, низької якості будівництва та утримання, руйнування недовговічної гідроізоляції, деформаційних швів [3, 4]. Крім того, конструктивні елементи мостових споруд повинні були бути запроектованими і спорудженими таким чином, щоб при виконанні експлуатаційних заходів вони були б пристосовані до різних видів ремонтних робіт, включаючи і періодичні заміни окремих частин споруди. Відповідно, в проектах повинна бути визначена періодичність заміни модулів конструкції (мостового полотна) і механізмів моста (опорних частин, деформаційних швів), строк служби яких, значно менше розрахункового строку служби моста. Все це зменшувало б витрати при капітальному ремонті.

Слід мати на увазі, що застосування взагалі залізобетонних прольотних будов визиває суттєві проблеми в подальшій експлуатації. Існуюча раніше думка про високу довговічність залізобетонних збірних конструкцій виявилась помилковою. Практика експлуатації автодорожніх, міських і залізничних мостів показала, що захисний шар бетону деградує під дією навколишнього середовища дуже швидко – на протязі 25-35 років. Якщо не застосувати профілактичних засобів, то внаслідок цього корозія арматури може привести до повної деградації залізобетонних конструкцій через 40-50 років. Для населених міст в результаті збільшеної дії соляних розчинів, карбонізації, температурних перепадів ця проблема стоїть ще гостріше. Тому в перспективі вигідніше застосувати сталі залізобетонні мости.

Одним із факторів що найбільше впливає на зменшення довговічності залізобетонних мостів є недосконала система експлуатації мостових споруд та недбале відношення до елементів мостового полотна.

За останні роки внаслідок погіршення умов експлуатації і виходу із ладу гідроізоляції процес руйнування залізобетонних мостів прискорився. За даними ХНАДУ, кількість мостів, стан яких не відповідає нормальним умовам експлуатації та які потребують капітального ремонту чи реконструкції складає 80%.

Існуюча структура управління в дорожній галузі звичайно відноситься до ієрархічної і скоріше за все до лінійно-функціональної.

Аналіз показує, що ієрархічна лінійно-функціональна структура ефективна в тих організаціях, які мають обмежену номенклатуру послуг, постійно повторюємих одних і тих же робіт, стабільність зовнішнього середовища для

забезпечення свого функціонування вимагають стандартних управлінських задач. Тому, якщо дорожній організації збільшити номенклатуру послуг, наприклад експлуатацію мостів тим паче, за межами професійної підготовки, коли вони виходять за стандартні управлінські задачі, то лінійно-функціональна структура управління не спрацює. Таким чином і в Радянські часи експлуатація мостів в структурі дорожнього управління була дуже на низькому рівні в зв'язку з низьким рівнем професіоналізму.

Якщо виходити із класичної схеми управління (рис.1), то при експлуатації мостів не професіоналами мостовиками на всіх рівнях не буде нормально організовано і сплановано роботу, тим паче не буде мотивації її виконання за відсутності механізмів і пристроїв.

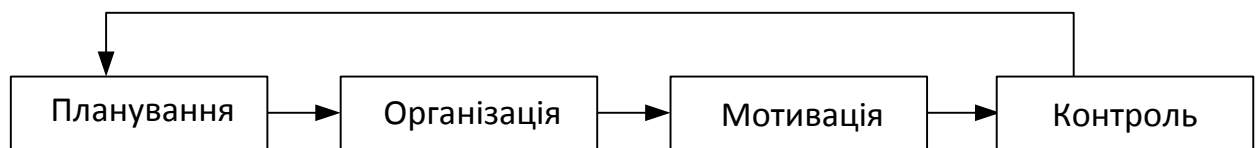


Рисунок 1 – Функції управління

Тому така система експлуатації мостів і за Радянських часів, коли було більш-менш нормальне фінансування, не давала реальних результатів і нагляд за несучими конструкціями був мінімальний, що й спричинило такий їх катастрофічний стан. Єдиною інформацією про стан мостових споруд була інформація, яку отримували від спеціалізованих науково-дослідних установ, таких як кафедра мостів ХНАДУ, цю роботу виконували за завданням відділу експлуатації доріг Харківського міськвиконкому. Якщо інформація не мала висновків про аварійність, то всі інші зауваження внаслідок недосконалої експлуатації та недофінансування роками накопичувались. При відсутності спеціалізованих мостових організацій, які б мали декілька цілей: нагляд, діагностика, поточний ремонт і т.д. можна було б роботи по експлуатації мостових споруд мінімізувати.

Таким чином, в існуючій системі управління експлуатацією мостовими спорудами [4, 5] спостерігається недостатнє врахування рівня спеціалізації і концентрації по експлуатації мостів на автомобільних дорогах, складність конструктивного рішення мостових споруд і складність експлуатації, яка виходить за рамки фахової підготовки дорожніх спеціалістів, структури і кваліфікаційного складу кадрів, територіальних особливостей, екологічних

впливів, що приводить до значного зниження ефективності організації управління і погіршенню технічного стану мостових споруд.

Крім того, в існуючій структурі управління є місце відставання теорії формування організаційних структур, тобто в основному велись наукові дослідження по розробці методичних питань теорії управління, а методам побудови організаційних структур приділялось недостатньо уваги. Це не завжди забезпечувало отримання ефективних організаційних рішень. труднощі структур управління обумовлені ще й тим, що на практиці не завжди забезпечувався нормальний зв'язок процесу та організаційної структури управління, їх синтез на різних рівнях ієрархії [5, 6].

Висновок

Існуючу систему експлуатації мостових споруд, що знаходяться в комунальній власності міст необхідно змінювати, орієнтуючись на створенні спеціалізованих організацій.

Література

1. Лантух-Лященко А.І. До проекту державних будівельних норм з оцінки технічного стану мостів // Зб. Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій. – Вип. 2. – Львів: Каменярь, 2000. – С. 78–83.
2. Більченко А.В. Регіональна програма з оцінки технічного стану об'єктів господарського комплексу області та подовження їх ресурсу. – Харків, 2004. – 24 с.
3. Безбабичева О.И. Усовершенствование гидроизоляции проезжей части железобетонных мостов на автомобильных дорогах / Дисс. ...канд. техн. наук. – Харьков, 2005. – 150 с.
4. Більченко А.В., Кіслов О.Г. Вплив деяких дефектів мостових споруд на їх експлуатаційну довговічність / Тези доп. на міжн. конф. «Мости и тоннели»: теория, исследования, практика. – Дніпропетровськ, 2007 р.
5. Інструкція організації догляду за штучними спорудами ІНВ 32-218-0344921.036-96 Укравтодор 1999. – 20 с.
6. Бильченко А.В. Концепция сохранения развития мостовых сооружений в г. Харькове до 2012 с прогнозом до 2014 г. (Кислов А.Г., Безбабичева О.И., Бадаева Е.А.) Научное сообщение. – Харьков, 2010. – 48 с.

Мишутин А.В., д-р техн. наук, Гапоненко Е.А., канд. техн. наук

**ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АВТОДОРОГАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
НАДЕЖНОСТИ**

Анотація. Показано можливість підвищення довговічності та експлуатаційної надійності залізобетонних водопропускних споруд за рахунок застосування модифікованих бетонів. Підвищення довговічності бетону досягається при зниженні пористості з отриманням тонкопористий структури з підвищеною однорідністю пор, що забезпечується застосуванням комплексних модифікаторів. Розроблено комплексний модифікатор, що включає кольматуючу і пластифікуючі добавки, а також дрібнодисперсний наповнювач.

Ключові слова: водопропускні споруди, залізобетон, модифіковані бетони, довговічність, морозостійкість.

Аннотация. Показано возможность повышения долговечности и эксплуатационной надежности железобетонных водопропускных сооружений за счет применения модифицированных бетонов. Повышение долговечности бетона достигается при снижении пористости с получением тонкопористой структуры с повышенной однородностью пор, что обеспечивается применением комплексных модификаторов. Разработан комплексный модификатор, включающий кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также мелкодисперсный наполнитель.

Ключевые слова: водопропускные сооружения, железобетон, модифицированные бетоны, долговечность, морозостойкость.

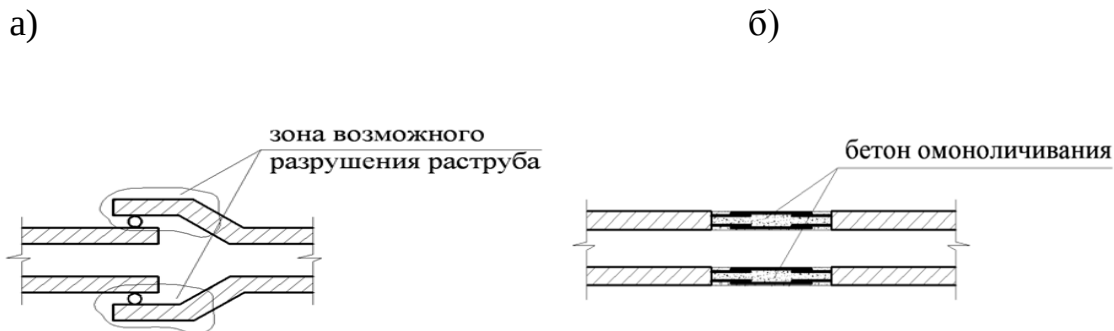
Annotation. The possibility of increasing longevity and reliability of reinforced concrete culverts through the use of modified concrete. Increased durability of concrete is achieved by reducing the porosity to produce finely porous structures with high

uniformity far that provided by the use of complex modifiers. Developed a comprehensive modifier, including bridging and plasticizers, and particulate filler.

Keywords: culverts, reinforced concrete, modified concrete, durability, resistance to frost.

Большую часть водопропускных сооружений на автомобильных дорогах составляют металлические и железобетонные трубы. Водопропускные трубы — это искусственные сооружения, предназначенные для пропуска под насыпями дорог небольших постоянных или периодически действующих водотоков. Они не меняют условий движения автомобилей, поскольку их можно располагать при любых сочетаниях плана и профиля дороги. Они практически не чувствительны к возрастанию временной нагрузки и динамическим ударам, требуют меньшего расхода материала на строительство и меньших затрат на содержание и ремонт, допускают высокие скорости течения воды в сооружении.

Проведенный анализ работы системы «высокая насыпь - водопропускная труба - основание» показывает, что закладка трубы в систему «насыпь - основа» имеет существенное влияние на изменение ее напряженно-деформированного состояния: растяжение трубы вдоль ее оси, проседание тела трубы относительно ее оголовков, проседание насыпи под трубой, образование трещин в теле трубы, заиливание отверстий в результате попадания грунта через образованные щели между кольцами при растяжении трубы, разрушение раструбов колец (рис.1) и т.п. Перечисленные изменения могут быть также вызваны движениями грунта в форме обвалов, оползней, селей, лавин, разжижением грунтов с последующей осадкой, обусловленных и сопровождаемых подземными толчками. На сегодняшний день при строительстве водопропускных сооружений достаточно широко применяются тонкостенные железобетонные конструкции. Например, стенки каналов и водопропускных сооружений изготавливаются толщиной 4-12 см. Бетон тонкостенных сооружений, эксплуатируемых в воде, воспринимает постоянные и временные нагрузки, подвержен динамическим, температурным и биологическим воздействиям. В процессе эксплуатации такой конструкции структура бетона подвержена непрерывным изменениям, которые должны быть учтены при ее проектировании. Примеры, характерного разрушения бетона водопропускных сооружений показаны на рис. 2.



а - расположение зоны возможного разрушения раструба трубы при их соединении, б - омоноличивание стыков труб (применяется для соединения сплошных труб при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях)

Рисунок 1 – Основные варианты соединения водопропускных труб



Рисунок 2 – Примеры характерного разрушения бетона водопропускных сооружений

Долговечность бетона является определяющей характеристикой и складывается из целого ряда качественных характеристик, к которым относится и коррозионная стойкость. Коррозионная стойкость бетона является функцией его сопротивляемости различным видам воздействия внешней среды

и определяется структурой и свойствами цементного камня, а также структурными особенностями бетона как материала. Коррозионные процессы значительно усиливаются под влиянием климатических условий, многократного попеременного замораживания оттаивания, увлажнения - высушивания. Также причиной возникновения коррозии могут выступать ветровые и биологические факторы, отдельные механические воздействия. В.Л. Чернявский [1] долговечность связывал с адаптацией бетона (рис.3), направленной на удержание его структурных характеристик в пределах, обеспечивающих заданное функциональное состояние.

Для повышения качества и надежности работы бетона используется защита I и II видов.

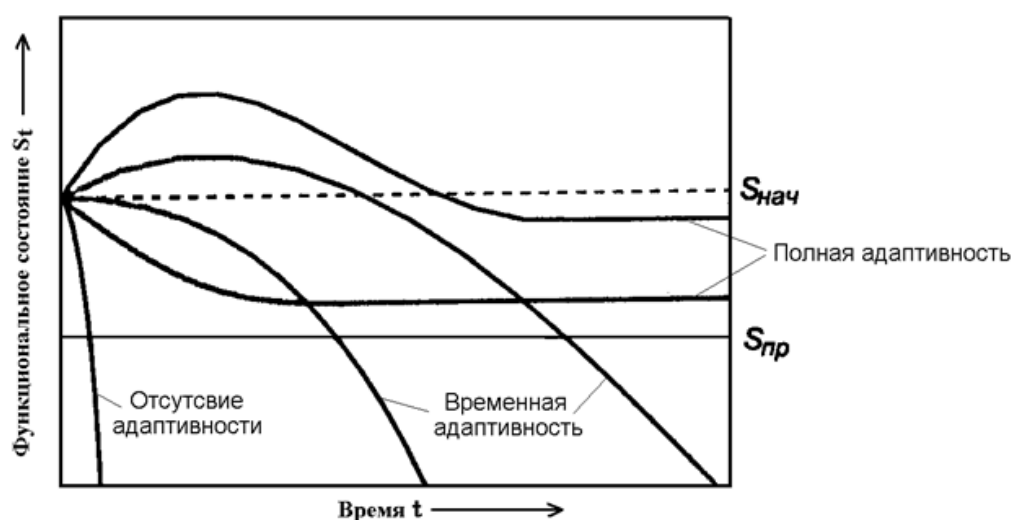


Рисунок 3 – варианты траекторий функционального состояния S_t бетона во времени t в эксплуатационной среде. $S_{нач}$ – начальное функциональное состояние, $S_{пр}$ – предельно допустимое. По данным В.Л. Чернявского [1]

К защите I вида относится использование специальных видов цемента и комплексных химических добавок при строительстве новых и восстановлении эксплуатируемых сооружений.

К защите II вида относится использование покрытий для бетонов, когда методы защиты I вида недостаточны или малоэффективны.

Развитая современная строительная индустрия предлагает большой комплекс для решения вопросов о подвижности бетонной смеси, регулирования сроков ее схватывания и твердения, повышения прочности бетона, его плотности и коррозионной стойкости, водонепроницаемости с

применением цементов и комплексных химических добавок, а также всевозможные покрытия (типа «Ксайпекс», «Пенетрон» и т.п.), которые используются для повышения сроков эксплуатации конструкций при их восстановлении и реконструкции.

На основе данных, накопленных при исследовании тонкостенных транспортных сооружений, был проведен анализ механизмов формирования локальных и интегральных температурно-влажностных деформаций в бетоне конструкций данных сооружений. В гидротехнических сооружениях ввиду неравномерного распределения влаги по высоте конструкций деформации переходят от набухания, в подводной их части, к усадке, в зонах пониженного влагосодержания. Изменение уровня воды вызывает изменение распределения влаги по высоте и по сечению конструкции, что приводит к изменению величины и направления действия влажностных деформаций. В материале возникают «волны» интегральных влажностных деформаций, которые протекают как вдоль, так и по сечениям изделия. Аналогичное распределение деформаций связано с изменением температуры материала в конструкции. Интегральные деформации формируются путем взаимодействий локальных деформаций, которые зависят от капиллярно-пористой структуры материала.

К мероприятиям по целенаправленному изменению капиллярно-пористой структуры бетона следует отнести применение специальных добавок-модификаторов. Более равномерно распределять локальные деформации по объему материала, условия формирования интегральных деформаций, можно при помощи объемного дисперсного армирования.

В процессе эксплуатации сооружения структура его материала подвержена непрерывным изменениям, которые должны быть учтены при установке начальных требований к бетону и при проектировании его состава. Таким образом, для прогнозирования и обеспечения долговечности бетона тонкостенных водопропускных транспортных сооружений справедливо использовать рабочую схему, учитывающую:

- составы бетона. Ввиду специфики бетона тонкостенных водопропускных сооружений должен применяться сульфатостойкий портландцемент, щебень крупностью до 2.0 мм, а также желательно применять мелкодисперсный наполнитель;

- технологию приготовления. При обеспечении высокой подвижности смеси при низком водоцементном отношении и высоких физико-механических

характеристик должны применяться кольматирующие и пластифицирующие добавки, а в отдельных случаях также стойкая в среде эксплуатации фибра, например полипропиленовая;

- структуру, формирующуюся на начальной стадии производства тонкостенной конструкции. Ввиду особенностей эксплуатации бетона для тонкостенных водопропускных сооружений, наиболее важными структурными характеристиками можно признать общий объем и тип порового пространства.

- изменение структуры в результате эксплуатационных воздействий (напорного действия воды, замораживания и оттаивания, капиллярного подсоса, накопления солей и пр.) а также процессов, происходящих в структуре модифицированного бетона.

Среди положительных процессов, способствующих адаптации бетона тонкостенных конструкций водопропускных сооружений, следует назвать, во-первых, кольматацию пор за счет действия химдобавок [2], во-вторых, кольматацию пор продуктами коррозии, и в-третьих, позднюю гидратацию цемента.

Для повышения долговечности бетона тонкостенных водопропускных сооружений был разработан комплексный модификатор [3], включающий кольматирующую и пластифицирующую добавку, а также мелкодисперсный молотый кварцевый песок. Модификатор позволяет не только уменьшить общий объем пор, но и повысить однородность пор по размерам. На комплексные добавки [Пенетрон А + суперпластификатор С-3] и [Пенетрон А + С-3 + наполнитель] получены декларационные патенты [4,5].

Применение разработанных комплексных модификаторов позволяет в 1,5 – 2,0 раза увеличивать водонепроницаемость бетона и на 150 – 200 циклов его морозостойкость. Модификаторы снижают общую пористость материала на 10 – 12 %, а капиллярную почти в 2 раза. При их применении морозостойкость мелкозернистого бетона фибробетона достигает уровня P550-P650, водонепроницаемость – W16. Общая тенденция изменения водонепроницаемости и морозостойкости бетона за счет применения модификаторов и дисперсного армирования показана на рис. 4.

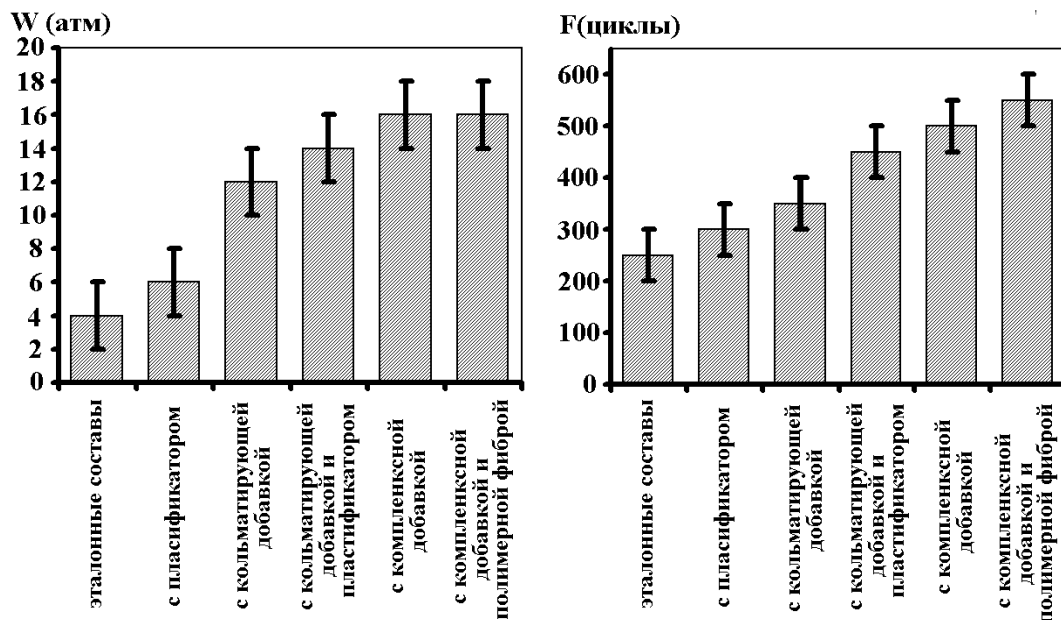


Рисунок 4 – Тенденция изменения водонепроницаемости (а) и морозостойкости (б) бетона тонкостенных водопропускных сооружений за счет применения модификаторов и дисперсного армирования

По результатам проведенных исследований были разработаны и утверждены следующие нормативные документы:

- Регламент по технологии изготовления и применения бетонов с добавками системы Пелетон и С-3 для изготовления и восстановления гидромелиоративных железобетонных сооружений (2005 г.).
- Регламент по технологии приготовления и применения модифицированного бетона для гидротехнических сооружений мелиорации и водопропускных сооружений автодорог с применением полимерной фибры (2006 г.).
- Регламент по приготовлению высокоподвижных смесей для ремонта тонкостенных гидротехнических сооружений (2007 г.).
- Регламент по обследованию и оценке технического состояния бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений (2008 г.).
- Технологический регламент по технологии приготовления и применения модифицированных бетонов повышенной водонепроницаемости и морозостойкости (2009 г.).
- Регламент по технологии приготовления модифицированных бетонных смесей и покрытий для ремонта тонкостенных гидротехнических сооружений (2011 г.).

Примеры проведенного восстановления железобетона тонкостенных водопропускных сооружений с использованием разработанных составов модифицированных бетонов и технологических регламентов показаны на рис.5.

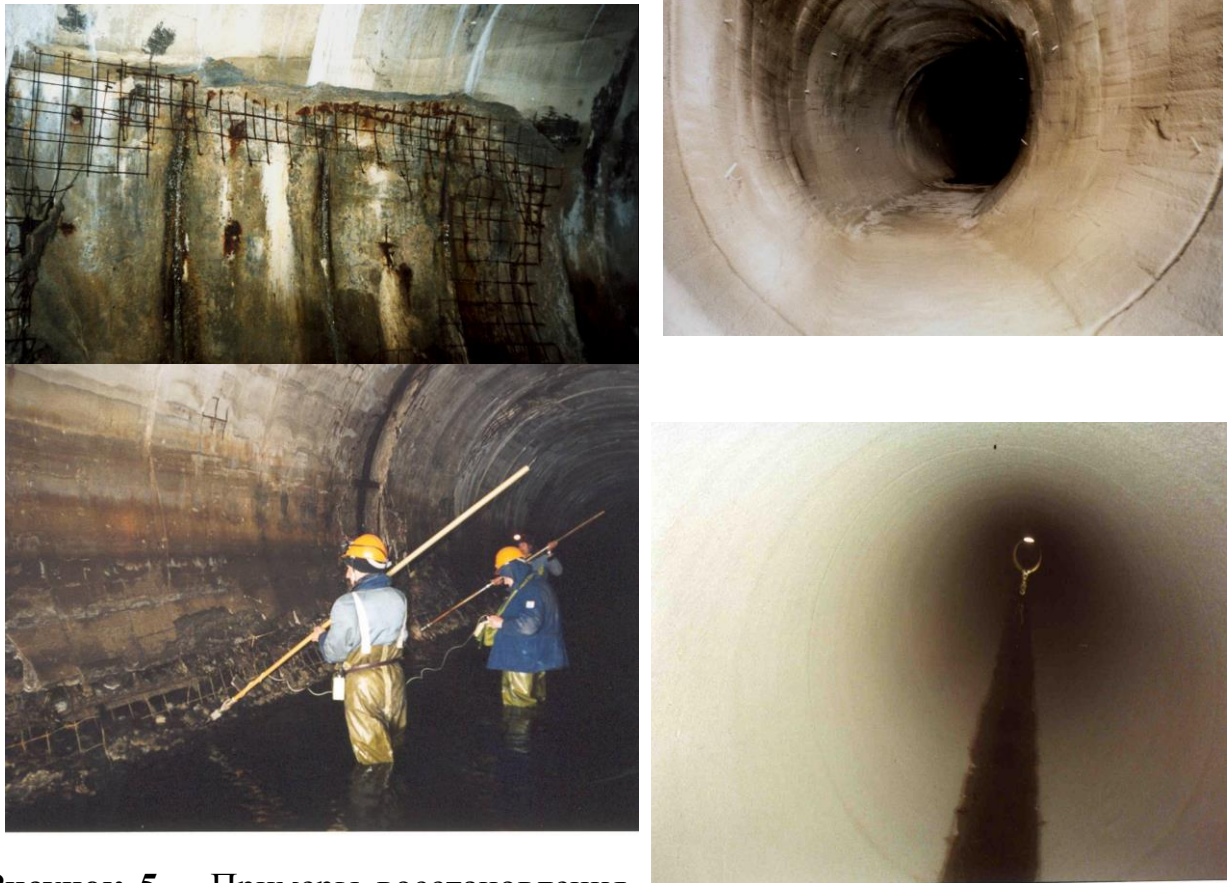


Рисунок 5 – Примеры восстановления железобетона тонкостенных водопропускных сооружений

Литература

1. Чернявский В.Л. Адаптация бетона / В.Л. Чернявский – Днепропетровск : Нова ідеологія, 2002. – 216 с.
2. Бабушкин В.И. Защита строительных конструкций от коррозии, старения и износа / В.И. Бабушкин. – Харьков : Вища школа, 1989. – 168 с.
3. Дорофеев В.С. Повышение долговечности бетона тонкостенных гидротехнических сооружений за счет применения комплексных модификаторов / В.С. Дорофеев, А.В. Мишутин // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. 27. – Одеса : Місто майстрів, 2007. – С. 160–164.
4. Патент № 19814, Україна, Бетонна суміш з добавками Пенетрон А + С-3 / Дорофеев В.С, Мішутін А.В., Романов О.А. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2006 р.
5. Патент № 32920, Україна, Бетонна суміш наповнювачем (меленим піком), полімерною фіброю і комплексною добавкою [Пенетрон А - С-3] / Дорофеев В.С, Мішутін А.В., Кровяков С.О., Гапоненко К.О. заявник і утримувач патенту ОДАБА, 2008 р.

Титар В.С., канд. техн. наук

ПРОГРЕСИВНІ АСПЕКТИ ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ДОРОЖНІХ ВОДОПРОПУСКНИХ ТРУБ

Анотація. Висвітлено сучасну технологію будівництва дорожніх водопропускних труб.

Ключові слова: автомобільна дорога, водопропускна труба, залізобетон, гофрована металева труба.

Аннотация. Освещены современную технологию строительства дорожных водопропускных труб.

Ключевые слова: автомобильная дорога водопропускная труба, железобетон, гофрированная металлическая труба.

Annotation. The modern technology of construction of road culverts.

Key words: road, culverts, reinforced concrete, corrugated metal pipe.

Будівництво залізобетонних водопропускних труб пов'язано з матеріаломісткістю конструкцій та значними потребами щодо транспортування їх елементів [1 – 3]. Трудомісткість операцій з'єднання та гідроізоляції окремих ланок труб свідчать про недосконалість таких проектних рішень та необхідності пошуку нових технологій. Певні досягнення в цьому напрямку уже здійснені: набуло поширення використання довгомірних елементів труб, при влаштуванні водопропускних труб впроваджують металеві гофровані або полімерні їх різновиди [4]. Нормативами на такі споруди дозволено зменшити довжину труби на підставі збільшення крутизни укосів насипу земляного полотна або встановлення підпірних стінок насипу [2, 3]. Позитивні якості гофрованих металевих труб такі: стійкість до механічної дії; зручність та компактність транспортування; здатність адаптуватись до змін ґрунту; високий опір корозії металу; простота монтажу. Однак будівництво металевих гофрованих труб повинно бути економічно доцільним та потребує поліпшення культури виконання робіт: внутрішня і

зовнішня поверхні водопропускних труб повинні мати захисне цинкове антикорозійне покриття, а часто навіть додаткове антикорозійне покриття з бітуму або полімеру [2]. Відсутність можливості вільного, безкоштовного доступу до використання нормативних документів в Україні сприяє використанню інформації, що базується на зарубіжних стандартах. В підсумку не виключена хибність щодо дотримання окремих положень українських стандартів при будівництві водопропускних металевих труб. Таким чином, обговорення питань будівництва водопропускних труб належить до актуальних проблем сьогодення.

Будівництво металевих гофрованих труб об'єднує такі види робіт:

- підготовка;
- розбивка;
- земляні роботи;
- транспортні роботи;
- влаштування основи;
- монтажні роботи;
- гідроізоляційні роботи;
- укріпні роботи [2].

Підготовчі роботи з будівництва металевої гофрованої труби об'єднують: вивчення всього пакета технічної документації щодо влаштування труби; безпосередній огляд місця влаштування труби та наявність під'їзних доріг до неї; геодезичні роботи; влаштування водовідводу від будівельного майданчика; облаштування бази (розміщення на будівельному майданчику вагончика, розміщення складів з матеріалами, доставка інвентаря, тощо); рекультивацію рослинного шару ґрунту; планування території будівельного майданчика; влаштування під'їздів.

Головним в технології влаштування гофрованої металевої труби є створення відповідної до проекту, цілісної споруди труба – ґрунтова призма засипки.

Інновації у виконанні перелічених робіт полягають у використанні лазерних геодезичних приладів та автоматизованої системи управління роботою землерийно-транспортних машин.

В залежності від вибраного способу монтажу труби на будівельний майданчик транспортують попередньо зібрані на полігоні секції труби або її елементи з заводу – виготовлювача [2,5]. Вантажно-розвантажувальні роботи виконують автомобільним краном та ланкою монтажників. Автомобільний кран повинен бути оснащений механізованим пристроєм для встановлення виносних опор. Критеріями вибору різновиду та потужності крану є: робочий виліт стріли крану; максимальна маса вантажу, який він здатний підняти при робочому вильоті стріли; висота підйому вантажу з урахуванням його габаритів. Продуктивна робота машини досягається за умови зменшення числа стоянок при монтажних роботах. Строповку секцій виконують пеньковим канатом або тросом з прокладками з брезенту, гуми чи інших матеріалів для захисту від пошкодження захисних покриттів елементів труб. Елементи та секції гофрованих металевих труб з додатковим захисним покриттям укладають на опорні бруски з закріпленими на них джгутами войлоку, паперу, просоченого бітумом або парафіном. На бортових автомобілях пакети гофрованих елементів труби встановлюють вертикально в один ряд на ребро. Суміжні пакети розділяють прокладками з дощок, покритих демпферним матеріалом. Стійкість пакетів забезпечують необхідним кріпленням, яке не спричиняє пошкодження гофрів при русі автомобілів. Підйом елементів труб забороняють за умови їх строповки за отвори в пакетах. Елементи труб опускають на місце зберігання плавно, без ударів. Пакети з гофрованих елементів мають масу близько 500 кг, а ящики – до 60 кг. Транспортування секцій доцільно виконувати автомобілями панелевозами, лісовозами, вантажними автомобілями з розпусками.

Основа під металеву гофровану трубу має чотири варіанти конструкцій: з влаштуванням верхньої частини подушки після укладання труби; з попереднім влаштуванням ложа труби; з відсіпанням нульового шару і влаштуванням ложа; з заміною ґрунту. Незалежно від вибраного варіанту необхідно забезпечити рівномірне і надійне спирання труби на ґрунт, який має коефіцієнт ущільнення 0,98 (0,95 – у виключних випадках).

Підготовку основи виконують у такій послідовності:

- копання котловану на глибину заміни некондиційного ґрунту;
- укладання кондиційного ґрунту та ґрунту подушки;
- ущільнення ґрунту природньої основи та подушки під тіло труби;

- армування основи;
- нарізання ложа під тіло труби.

Прогресивним рішенням реалізації перелічених робіт є застосування в машинно-дорожньому загоні універсальних машин багатофункціонального призначення типу Боб Кет. Вони ефективно працюють в умовах обмеження площ, компактні, економічні, придатні для швидкої заміни робочих органів та копання мілких котлованів.

Котлован копають у напрямку від вихідного до вхідного отвору труби. Така організація робіт сприяє безперешкодному відведенню води за межі робочої зони. Подушку влаштовують у сухому котловані в два етапи. Спочатку відсипають нижню частину до рівня лотка водопропускної труби з дотриманням обрису кривої будівельного підйому труби.

Для влаштування подушки під трубу застосовують піски середньої крупності, гравелісті, щебенево-галькові та дресв'яно-гравійні ґрунти з уламками менше 50 мм[2].

Матеріал подушки або ґрунт заміни некондиційного його різновиду відсипають і ущільнюють шарами. Товщина шару визначається матеріалом для ущільнювання та способом ущільнення. Гравійно-піщану суміш або інший матеріал подушки транспортують автосамоскидами і розвантажують безпосередньо в котлован. За умови транспортування їх на малу відстань (до 5 км) доцільно використовувати транспортні візки. Розрівнювання виконують відвалами бульдозерів або універсальних машин. Спектр ущільнюючих машин досить широкий: котки з віброприводом, котки на пневмошинах, віброплощадки, вібротрамбівки. Якісного укочування не досягають при ущільненні матеріалу подушки пропуском одних лише завантажених автосамоскидів.

По завершенню влаштування подушки відсипають нульовий шар ґрунту за технологією будівництва подушки. Вирізання ложа під трубу здійснюють автогрейдером з профілювальним ножом. Допускають попередньо виконувати таку роботу бульдозером з наступною чистовою обробкою ложа під шаблон вручну з допуском відхилення в розмірах не більше 2-3 см.

Котловани під протифільтраційні екрани викопують паралельно з підготовкою основного котловану та заповнюють бетоном, глинощебенем, цементогрунтовою сумішшю з пошаровим ущільненням віброплитами. За умови відсипання нульового шару ґрунту на попередньо ущільнену основу її ущільнюють на ширину не меншу одного діаметра труби у кожен бік від труби [2,5].

Монтаж труби виконують на спланованій основі (або поряд) чи на полігоні. Збірку конструкції на будівельному майданчику починають з розміщення пакетів з гофрованими елементами та ящиків з кріпленнями на визначеному майданчику. Потім готують комплект інструментів, очищають від бруду та пилу поверхні гофрованих елементів. Монтаж виконують строго за монтажною схемою. Перед установкою болтів виконують центрування отворів в елементах оправкою. Листи лоткової частини скріплюють болтами в поздовжніх і поперечних стиках без затягування болтів. На елементах лоткової частини гайки розміщують з внутрішнього боку труби, а на склепінні із зовнішнього боку. Збирання виконують з початковою мінімальною кількістю болтів. Спочатку встановлюють 2-3 болти в середній частині стиків, після стягування з'єднань трьох елементів довгими монтажними болтами. Останні замінюють по завершенні робочої операції звичайними болтами. Вслід за наживленням болтів в черговій ланці продовжують збирання наступної ділянки труби, а в попередній ланці встановлюють і затягують всі болти. Поздовжні стики в парних ланках розташовують по одній лінії як і непарні стики. Поздовжні стики в ланках взаємно зміщують на величину кратну кроку отворів поперечних стиків. Збирання конструкції труби виконують нарощуванням стандартними елементами поланково або викладанням нижніх елементів на всю довжину труби шляхом з'єднання їх болтами в середній частині, а потім монтують склепіння. Роботи з установки секцій виконують автомобільним краном. Стропи розміщують на відстані трьох четвертів від торців секцій та з використанням запобіжних прокладок. Монтаж завершують підтягуванням всіх болтових з'єднань динамометричним ключем.

Додатковий захист металевої гофрованої труби призначають на підставі інформації щодо агресивності води, ґрунтів основи та насипу земляного полотна. Додаткові захисні покриття наносять в заводських умовах або на

будівельному майданчику. У випадку використання ґрунтів для засипання труби розміром часток від 30 мм – до 50 мм трубу огортають геосинтетичним матеріалом, щоб запобігти механічному пошкодженню цинкового покриття. Вибір геосинтетика виконують на підставі техніко-економічного порівняння можливих варіантів. Додатковий захист труби виконують в наступній послідовності: підготовка оцинкованої поверхні труби; ремонт пошкоджень на поверхні труби; фарбування – нанесення ґрунтовочного покриття; нанесення покривних шарів; просушування кожного шару покриття.

Підготовка поверхні труб до нанесення полімерних матеріалів рекомендується в такій послідовності:

- очищення металевої поверхні;
- піскоструменеве очищення пошкоджених та непокритих поверхонь труби;
- легке піскоструменеве очищення металізованого покриття всієї труби;
- відновлення пошкоджених ділянок поверхні;
- нанесення ґрунтовки на всю поверхню.

Оптимальні умови роботи піскоструменевого пристосування: тиск стисненого повітря встановлюють рівним 0,5-0,6 МПа, сопло установки розташовують під кутом 75 °С на відстані від поверхні труби 15-20 см.

Після укладання труби в проектне положення на спрофільоване ложе перед влаштуванням ґрунтової обойми ґрунт підсипають у проміжки між поверхнею нижньої частини споруди і ґрунтовим ложе. Ущільнення його виконують ручними вібротрамбівками з підштиковою шуровками в западинах гофрів. Трамбівки не наближають до гребенів гофрів на відстань менше 5 см. У варіанті встановлення труби на плоску поверхню основи підсипний ґрунт повинен охоплювати споруду в зоні не менше 120°. Технологія підсипання і ущільнення ґрунту подібна вище описаній при спрофільованому ложе [2,5].

Трубу засипають ґрунтом не пізніше ніж за три доби після завершення робіт з нанесенням додаткового захисного покриття. Засипку ґрунтом виконують пошарово з обох боків горизонтальними шарами товщиною по 20 см. Випередження щодо засипання ґрунтом труби з будь-якого боку допускають не більше одного шару. Шари ущільнюють пневмотрамбівками або електротрамбівками масою не менше 200 кг за 4 проходи по одному сліду

в межах 2 м від стінок труби. Відстань від контуру машин, які відсипають і ущільнюють ґрунт, до вертикальної дотичної площини труби повинна бути не менше 1 м. Зверху трубу засипають на висоту не менше 0,5 м. Ґрунт засипки ущільнюють до коефіцієнта ущільнення від 0,98 до 0,95. Перед відсипанням і ущільненням ґрунту для усунення деформацій поперечного перерізу труби її розкріплюють тимчасово брусами з кроком 5,0 м. Контроль поперечних і поздовжніх деформацій труби виконують геодезичними інструментами. Ущільнення ґрунту біля стінок та в гофрах виконують з допомогою віброплит або трамбівок, які наближають не ближче 5 см до гребенів гофрів. Ґрунт відсипають шарами у напрямку від споруди вздовж всієї її довжини.

Ущільнення біля труб починають з найвіддаленіших ділянок, поступово наближаючись до стінок труби. Ущільнення безпосередньо біля труби починають за наявності упору з відсипаного ґрунту такого ж рівня з протилежного боку труби.

Література

1. ДБН В.2.3 – 14 – 2006. Споруди транспорту. Мости і труби. Правила проектування. – К. : Мінархітектури та житлово-комунального госп-ва, 2006. – 359 с.
2. ВБН В.2.3 – 218 – 198: 2007. Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд із металевих гофрованих конструкцій на автомобільних дорогах загального користування. – К. : Державна служба автодоріг України (Укравтодор), 2007. – 51 с.
3. СОУ 45.2 – 00018112 – 045: 2010. Споруди транспорту. Проектування та будівництво споруд з пластикових труб на автомобільних дорогах загального користування. – Київ : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2010 – 43 с.
4. Розрахунок та будівництво залізобетонних водопропускних труб: навчальний посібник / В.К. Жданюк, В.П. Кожушко, О.Г. Кіслов, В.С. Титар. – Харків : ХНАДУ, 2011. – 200 с.
5. Подвальный Р.Е,Потапов А.С., Янковский О.А. Технология строительства металлических гофрированных водопропускных труб. – М. : Транспорт, 1978. – 78 с.

УДК 711.5

Данчук В.Д., д-р фіз.-мат. наук, Олійник Р.В., канд. фіз.-мат. наук
Самойленко Є.С.

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНОЇ МЕРЕЖІ МЕГАПОЛІСУ

Вступ

Проблема забруднення атмосфери великих міст, що однозначно пов'язана зі стрімким розвитком автомобільного транспорту, обумовлена впливом як динамічних (автотранспортні потоки, метеорологічні умови), так і статичних (геометричні параметрами забудови та просторової орієнтації вулиць) чинників. Оскільки, кожній ділянці ВДМ властиві свої специфічні характеристики, вплив яких на рівень забруднення оцінити досить складно, то, мабуть, є доцільним виявити певний узагальнюючий показник однорідної ділянки ВДМ, який враховував би параметри її структурних елементів, і на основі якого можна було б проводити екологічну оцінку ступеню потенційної небезпеки відповідної ділянки ВДМ. У зв'язку з цим метою даного дослідження є розробка методу оцінки рівня екологічної безпеки однорідних ділянок ВДМ мегаполісу в залежності від впливу статичних чинників.

Основна частина. Об'єктом дослідження обрана ВДМ Печерського району м. Києва. Вся множина вулиць ВДМ представлена множиною елементарних однорідних ділянок, а саме ділянок вулиць між найближчими перехрестями, яка після відповідного розбиття склала 377 структурних елементів.

Кожна однорідна ділянка ВДМ утворює певний вуличний каньйон, параметри якого залежать від просторових характеристик однорідної ділянки,

а також від характеристик проїзної частини. Сукупність цих характеристик формують елементарний фазовий об'єм – простір вуличного каньйону, де відбувається емісія і розсіювання інгредієнтного забруднення від автотранспортних засобів, потоки яких, в свою чергу, можуть бути представлені як лінійні та неперервні джерела забруднення. Відносні характеристики цих джерел визначалися відношенням мінімального геометричного об'єму до відповідних відносних показників (індексів) фазового об'єму.

В якості показника, що визначає екологічну безпеку ділянки ВДМ приймався критичний час - час за який концентрація забруднюючої речовини досягала гранично допустимого значення (ГДК).

Із загальних міркувань, концентрація забруднення на рівні забудови може бути визначена, наступним чином:

$$C = \frac{M \cdot I \cdot t^2}{V} \cdot \sin \beta ,$$

(1)

де M – потужність викиду шкідливих речовин транспортним засобом, г/с;

I – інтенсивність транспортного потоку, авт./с;

t – час експлуатації однорідної ділянки транспортним потоком, с;

V – фазовий об'єм однорідної ділянки, шар рівномірного перемішування забруднюючих інгредієнтів, м³;

β – кут утворений напрямком вітру та напрямком однорідної ділянки.

Тоді час, за який концентрація j -ої забруднюючої речовини перевищить гранично допустиме значення, відповідно дорівнює:

$$t_{кр} = \sqrt{\frac{ГДК_j \cdot V}{M \cdot I \cdot \sin \beta}}$$

(2)

В якості забруднюючого інгредієнта розглядався оксид вуглецю (СО), разова гранично допустима концентрація в повітрі якого становить 0,005 г/м³[1].

Абсолютне значення елементарного фазового об'єму (табл. 1) визначалося через ваговий коефіцієнт відповідної однорідної ділянки ВДМ, якій був встановлений індексним методом [2].

Згідно з [3] міські дороги класифікуються за категоріями, а розподіл транспортних потоків по вулицям та дорогам повинен відбуватися згідно з їх призначенням. Аналіз однорідних ділянок ВДМ Печерського району дозволив встановити на них відповідну інтенсивність руху транспортних потоків.

Оскільки однорідні ділянки ВДМ орієнтовані відносно умовної лінії північ-південь по різному, то для ідентифікації їх просторової орієнтації вводиться деякий кут α . Проте на рівень забруднення впливає орієнтація вулиці по відношенні до домінуючого напрямку вітру, що задається кутом β (рис.1)[4]

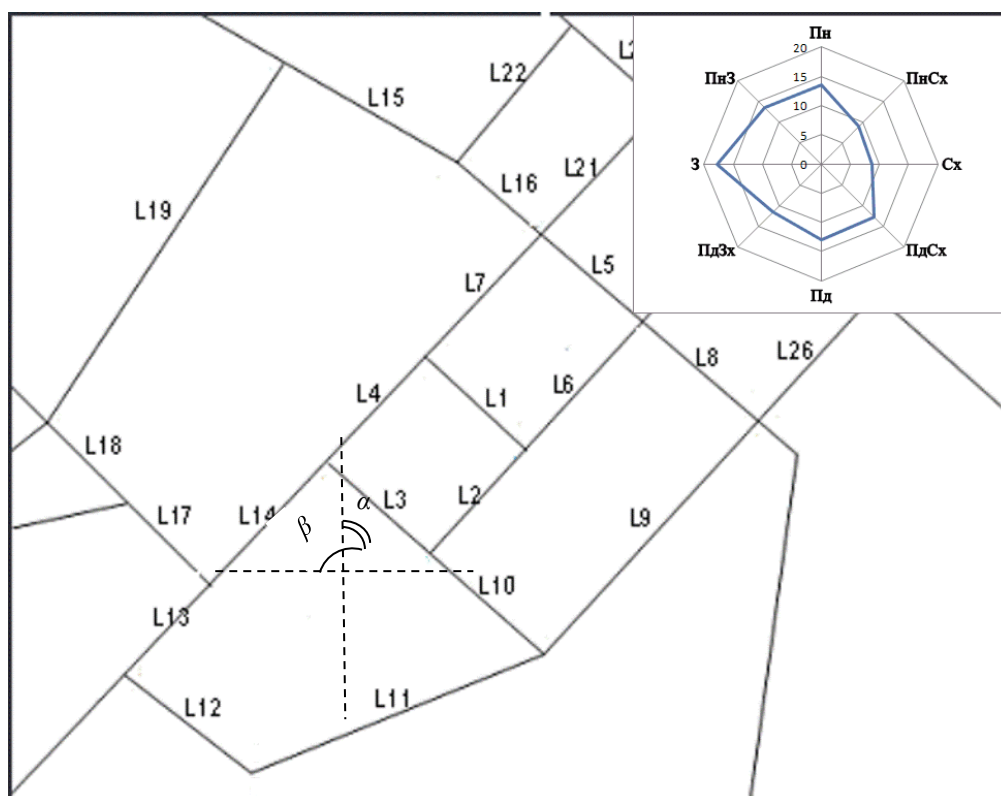


Рисунок 1 – Просторова орієнтація ВДМ в полі вітру

Статичні чинники однорідних ділянок ВДМ Печерського району м. Києва На основі статичних параметрів мережі, були встановлені значення критичного часу для всіх однорідних ділянок ВДМ Печерського району, за який концентрація j -ої забруднюючої речовини (СО) досягне ГДК. До 80% кумулятивного наповнення масиву увійшло 293 структурних елемента. Це дозволило побудувати функцію щільності розподілу екологічно небезпечних однорідних ділянок ВДМ (рис. 2)

Таблиця 1

№	Однорідна ділянка	V	I	α	β	$t_{кр}$
1	Липський провул	697,5	200	135	45	0,56
2	Липська	761,5	200	50	140	0,61
3	Пилипа Орлика	1413,6	200	140	50	0,76
...						
375	Мічуріна	23974,4	150	45	135	3,76
376	Землянська	20482	150	165	75	2,97
377	Пирятинська	13983,8	150	105	15	4,75

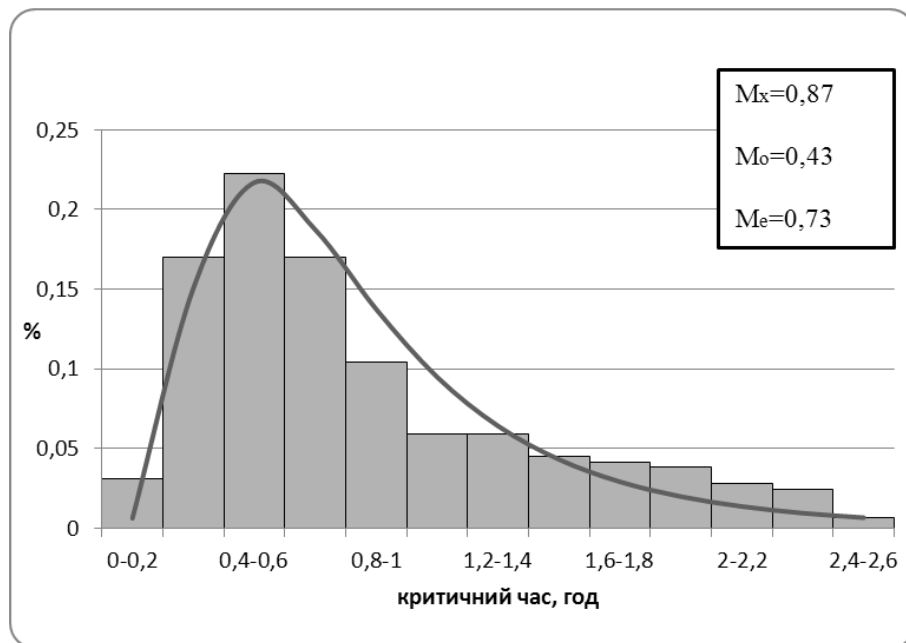


Рисунок 2 – Щільність розподілу екологічно-небезпечних однорідних ділянок ВДМ

Основою про висунення гіпотези про закон розподілу випадкової величини може бути наявність теоретичних передумов про характер зміни ознаки. У деяких випадках підставою для висунення гіпотези про закон розподілу ознаки сукупності можуть бути певні формальні властивості здобутого статистичного розподілу, а саме: значення коефіцієнтів варіації (C_v) та асиметрії C_s , ексцесу тощо. Наприклад, найбільш точних відповідностей емпіричних даних з логарифмічно нормальним розподілом можна очікувати при $C_s/C_v = 3-3,5$ [5].

Підґрунтям для встановлення гіпотетичного розподілу екологічно-небезпечних однорідних ділянок ВДМ слугувала форма побудованої

гістограми частот, що дозволила висунути нульову гіпотезу про логарифмічно нормальний розподіл структурних елементів ВДМ, який задається двома параметрами: математичним очікуванням та середньоквадратичним відхиленням. Функція густини ймовірностей логарифмічно нормального розподілу має вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_z \cdot x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\ln x - m_z}{2\sigma_z^2}}. \quad (3)$$

В нашому випадку:

$$f(x) = \frac{1}{1,52x} \cdot e^{-\frac{\ln x + 0,32}{0,74}}. \quad (4)$$

Відношення коефіцієнтів асиметрії та варіації склало $2,3/0,67=3,43$, що підтверджує відповідність даного розподілу до логарифмічно нормального.

Правильність висунутої гіпотези було перевірено за допомогою критерію узгодженості Пірсона [5], який є випадковою величиною, що має χ^2 розподіл, і визначається наступним чином:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^q \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (5)$$

і має $k = q - m - 1$ ступенів свободи;

де q – число інтервалів статистичного розподілу – 13;

m – число параметрів, якими визначається закон розподілу ймовірностей – 2.

Таким чином, при рівні значущості $\alpha=0,05$ і $k=10$; $\chi_{кр.}^2=18,3$. Оскільки $\chi_{сп.}^2 \in [0;18,3]$, можна вважати, що щільність розподілу екологічно-небезпечних однорідних ділянок ВДМ близька до логнормального закону.

Для кількісного порівняння ступеня потенційної екологічної небезпеки однорідних ділянок ВДМ були розраховані рівні перевищення значень ГДК для оксиду вуглецю, що дало підстави оцінити статичну стійкість ВДМ при номінальних навантаженнях мережі транспортними потоками.

Рівні забруднення визначалися відношенням об'ємної концентрації до ГДК відповідного інгредієнту (рис.3 вісь OZ). Це дозволило побудувати просторово-часову поверхню рівня забруднення ВДМ Печерського району в залежності від критичного часу номеру ділянки ВДМ (див. рис.3).

Аналіз статичної стійкості ВДМ Печерського району виявив потенційну екологічну загрозу деяких структурних елементів ВДМ. Так, наприклад, для однорідних ділянок (вул. Еспланада, Л.Українки) спостерігається

перевищення ГДК у 20 разів у той зріз часу, коли забруднення останньої однорідної ділянки (вул. Тимірязівська) досягне гранично допустимих значень.

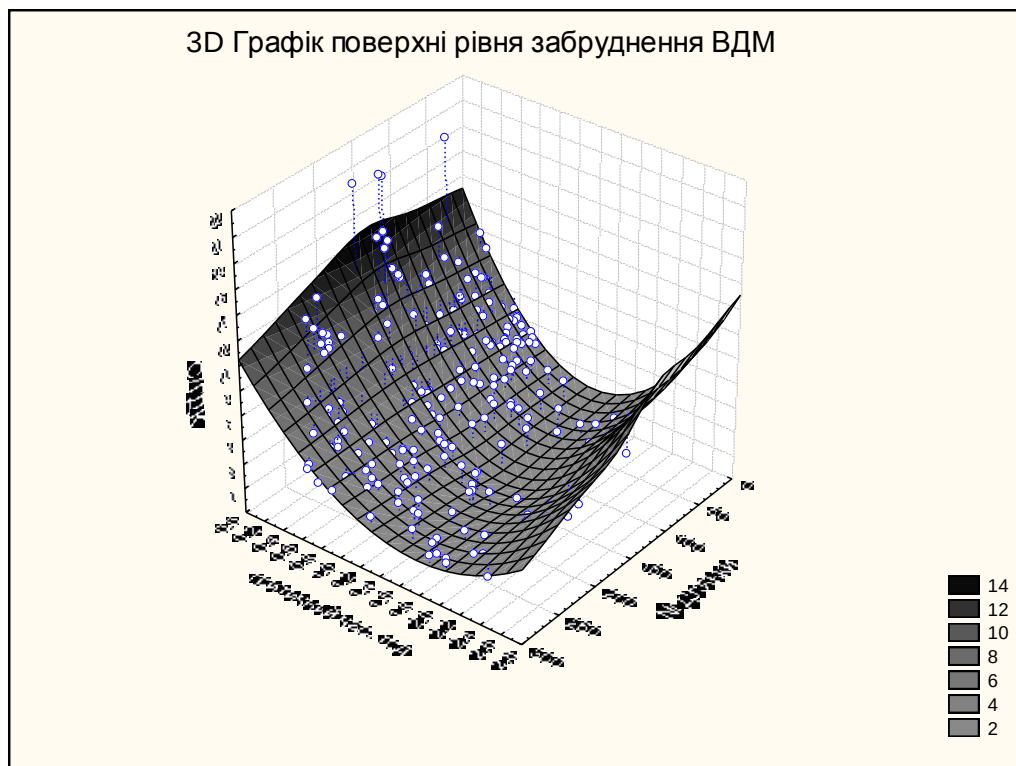


Рисунок 3 – Графік поверхні рівня забруднення ВДМ

Висновок

Отже, запропоновано метод оцінки рівня екологічної безпеки однорідних ділянок ВДМ мегаполісу в залежності від впливу статичних чинників. Отримані результати можуть у подальшому бути використані для розрахунку розповсюдження інгредієнтного забруднення, ступеню комфортності життєдіяльності людей у місті та оцінки впливу конфігурації будівництва нових будівель та споруд на концентрацію забруднюючих речовин у повітрі та для інших цілей.

Література

1. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
 2. Данчук В.Д., Олійник Р.В., Самойленко Є.С., Тарабан С.М. Ранжування структурних елементів вулично-дорожньої мережі за допомогою індексного методу. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, НТУ. - 2012.- №86.- С.146-153.
 3. ДБН В. 2.3-5-2001. Вулиці та дороги населених пунктів.
 4. Клімат Києва. За редакцією В.І. Осадчого, О.О. Косовця, В.М. Бабіченко. – Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, Центральна геофізична обсерваторія. –К: Ніка Центр, 2010. – 320 с.
- Кендалл М., Стюарт А. Теория распределений – М.: Наука, 1966. – 588 с.

УДК 625.7

Савенко В.Я., д-р тех. наук, Губа В.В., кан. тех. наук

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Анотація. У статті розглядається визначення пропускної здатності автомобільної дороги для встановлення транспортно-експлуатаційних властивостей доріг. Наведено показники за якими встановлюють транспортно-експлуатаційні властивості, а також визначено показники, які впливають на пропускну здатність дороги. Визначено, що пропускна здатність є несталою.

Ключові слова: автомобільна дорога, пропускна здатність, зона впливу, лінійний графік, швидкісний режим, регулювання руху.

Аннотация. В статье рассматривается определение пропускной способности автомобильной дороги для определения транспортно-эксплуатационных свойств дорог. Приведены показатели по которыми устанавливают транспортно-эксплуатационные свойства, а также определены показатели, которые влияют на пропускную способность дороги. Определенно, что пропускная способность непостоянна.

Ключевые слова: автомобильная дорога, пропускная способность, зона влияния, линейный график, скоростной режим, регулирование движения.

Annotation. In the article determination of carrying capacity of highway is

examined for determination of transport-operating properties dear. Indexes are resulted to on which are set transport-operating properties, and also indexes which influence on a carrying capacity dear are certain. Certainly, that a carrying capacity is inconstant.

Keywords: highway, carrying capacity, affected zone, linear graph, speed mode, traffic regulation.

Автомобільні дороги – найважливіше ланка загальної транспортної системи України. Без цієї ланки не можливе функціонування різних галузей народного господарювання.

Зростання інтенсивності руху, особливо частки в ній великовантажних автомобілів, автопотягів та інших транспортних засобів, привело до зростання зношуючого й руйнуючого впливу транспортних засобів на дорогу. Наслідком цієї діє є збільшення потреби у ремонтно-відновлювальних дорожніх роботах та їх об'ємів.

Важливим критерієм, який характеризує функціонування автомобільних доріг, є їх пропускна здатність. До самого найпростішого визначення пропускної здатності відноситься – максимально можлива кількість автомобілів, які можуть пройти через січення дороги за одиницю часу.

Проте необхідно відзначити, що, розглядаючи рух автомобілів та оцінюючи межі можливої інтенсивності потоку, ми характеризуємо не тільки їх, але й весь комплекс ВАДС («водій-автомобіль-дорога-середовище»). Це можна пояснити тим, що характеристики транспортних засобів та водія можуть внести не менший вплив на пропускну здатність, чим параметри дороги. Великий вплив на фактичне значення пропускної здатності може надавати стан навколишнього середовища. Пропускна здатність особливо падає при дощі, тумані, снігопаді, ожеледі.

Визначення пропускної здатності автомобільних доріг необхідно виконувати для виявлення ділянок з можливими заторами, оцінки економічності та умов руху транспортних засобів, а також для вибору методів та засобів з поліпшення умов руху всіх учасників руху.

Забезпечення високих транспортно-експлуатаційних якостей автомобільних доріг та безпека руху на них повинна розглядатись, як першочергове завдання дорожніх організацій [1, 2].

Транспортно-експлуатаційні властивості автомобільних доріг

визначаються:

- швидкістю та собівартістю перевезень;
- безпекою та зручністю проїзду по дорозі;
- пропускною здатністю;
- рівнем завантаження.

До основних транспортно-експлуатаційних показників автомобільних доріг, міських вулиць, дорожніх споруд відносять:

- забезпечену швидкість та пропускну здатність;
- безперервність, зручність та безпеку руху;
- здатність пропускати всі види транспортних засобів з встановленими нормативними осьовим навантаженням та загальною масою.

Під пропускною здатністю дороги розуміють найбільшу кількість транспортних засобів, яка може пропустити дорога за одиницю часу. Величина пропускної здатності залежить від:

- кількості смуг руху;
- швидкості руху транспортних засобів;
- стану поверхні проїзної частини.

Пропускна здатність дороги, на всій її довжині, не є сталою. Пропускна здатність може змінюватись за різними умовами:

- характерні складні ділянки;
- невідповідні, до нормативних, параметри плану та профілю дороги;
- стан дорожнього покриття;
- складні погодні умови протягом року;
- різноманітність транспортних засобів в потоці.

Пропускна здатність є важливим показником під час проектування або реконструкції поперечного профілю та геометричних елементів автомобільної дороги. При потребі, можна визначати декілька пропускних здатностей: всієї дороги, однієї смуги руху, в конкретних дорожньо-транспортних умовах. Для спрощення підрахунків, у якості вихідних даних, слід розглядати однорідні потоки руху (колонний рух), тобто пропускна здатність однієї смуги руху.

У літературі можна зустріти різні модифікації поняття пропускної здатності:

- теоретична пропускна здатність;
- номінальна пропускна здатність;
- нормальна пропускна здатність;

- ефективна пропускна здатність;
- власна пропускна здатність;
- практична пропускна здатність;
- фактична пропускна здатність та інші.

Таке різноманіття термінів не випадкове. Воно відображає різні підходи до визначення даного критерію, а також великого числа чинників, що впливають на показник пропускної здатності в реальних умовах дорожнього руху. Тому, залежно від числа врахованих чинників та точності оцінки впливу кожного з них, пропускна здатність може дуже різнитися.

Розрахунок пропускної здатності повинен спиратись на економічні показники, при цьому можна використовувати поняття «мінімум приведених витрат». Методика розрахунку пропускної здатності автомобільної дороги ґрунтується на використанні коефіцієнтів, які її зменшують. Такий підхід до врахування реальних дорожніх умов є дуже сприятливим у практичній роботі [1, 2].

Пропускна здатність автомобільної дороги, з урахування смуг для руху транспортних засобів та відповідного коефіцієнта, визначають за формулою [2 – 4]:

$$P_{\text{дор}} = P_{\text{п}} \cdot n \cdot K_n, \quad (1)$$

де $P_{\text{п}}$ – пропускна здатність однієї смуги руху, авт/год;

n – кількість смуг руху, шт;

K_n – коефіцієнт, який залежить від кількості смуг.

Пропускна здатність однієї смуги руху автомобільної дороги будь-якої категорії визначають за формулою [2, 3, 4]:

$$P_{\text{п}} = \frac{S}{L_{\text{min}}}, \quad (2)$$

де S – довжина дороги, пройденого транспортним засобом за одну год., м;

L_{min} – найменша відстань між транспортними засобами, м.

Пропускна здатність дороги в конкретних дорожньо-транспортних умовах, визначається за формулою, яку запропонував проф. Васильєв А.П. [1 – 4]:

$$P = \frac{P_{\max} \cdot \beta_n}{\sum_{i=1}^n K_i \cdot \Psi_i}, \quad (3)$$

де $P_{\max}$ – максимальна пропускна здатність еталонної ділянки автомобільної дороги залежно від кількості смуг руху, таблиця 1, авт/год;

n – кількість типів транспортних засобів в складі транспортного потоку;

K_i – коефіцієнт зведення автомобілів m -го типу до легкового автомобіля;

Ψ_i – частка автомобілів i -го типу транспортного потоку;

β_n – підсумковий коефіцієнт зниження пропускної здатності.

Величина підсумкового коефіцієнта зниження пропускної здатності визначається за формулою [1, 2, 3, 4]

$$\beta_n = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_{15}, \quad (4)$$

де $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{15}$ – часткові коефіцієнти зниження пропускної здатності в порівнянні з еталонною ділянкою дороги, які залежать від окремих елементів автомобільної дороги.

Таблиця 1 – Максимальна пропускна здатність доріг $P_{\max}$

Кількість смуг дороги	Максимальна пропускна здатність $P_{\max}$, авт/год (з перерахунком на легкові)	
	в обох напрямках	по одній смузі
Двосмугові	2000	–
Трисмугові	4000	–
Автомобільні магістралі		
Чотирисмугові	–	2000
Шестисмугові	–	2200
Восьмисмугові	–	2300

Еталонною ділянкою є – горизонтальна прямолінійна ділянка довжиною не менше 1 км без пересічень та примикань, з шириною смуги для руху 3,75 м, укріпленим узбіччям, сухим й чистим та шорстким покриттям, видимістю не менше 800 м, транспортний потік складається з легкових автомобілів, сприятливі погодно-кліматичні умови [1 – 4].

Пропускна здатність на мостових спорудах, які знаходяться на автомобільних дорогах, може бути розрахована за наступною формулою [2, 3]

$$P_M = 420 + 43 \cdot \Gamma - 2,258 \cdot L + 0,257 \cdot \Gamma \cdot L, \quad (3)$$

де Γ – габарит моста, м;

L – довжина моста, м.

Пропускна здатність автомобільної дороги в межах населеного пункту розраховується за формулою [2, 3]

$$P_{\text{н.п.}} = (19688 - 487,5 \cdot L + 11,2 \cdot \ell + 7,5 \cdot L \cdot \ell) \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (4)$$

де L – довжина ділянки дороги в межах населеного пункту, км;

ℓ – відстань від кромки проїзної частини до лінії забудови, м;

K_1 – коефіцієнт, який враховує вплив пішохідного руху;

K_2 – коефіцієнт, який враховує зупинки у пункту обслуговування.

За результатами визначення пропускної здатності оформлюють лінійний графік пропускної здатності, який доповнюють лінійним графіком завантаження дороги. При побудові графіка необхідно враховувати зони впливу кожного елемента дороги, який викликає зниження пропускної здатності у межах яких відбувається зміна режиму руху транспортних засобів та пропускної здатності автомобільної дороги. Розміри зон впливу небезпечних ділянок наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Довжина зон впливу елементів дороги (в кожную сторону)

Елемент дороги		Довжина зони впливу, м
Населений пункт		300
Ділянки підйомів довжиною:	до 200 м	350
	понад 200 м	650
Криві в плані радіусом:	до 600 м	250
	понад 600 м	100
Ділянки з обмеженою видимістю:	менш 100 м	150
	100–350 м	100
	понад 350 м	50
Пересічення в одному рівні		600

Неможливо залишити без уваги питання щодо регулювання пропускної здатності автомобільної дороги. Простим методом регулювання пропускної

здатності є регулювання швидкісного режиму руху транспортних засобів.

Регулювання швидкісного режиму – найбільш розповсюджений метод сприяючий підвищенню економічності перевезень, безпеки й пропускної здатності, розрахункова швидкість на забезпечення яких коливається від 30 км/год для доріг IV категорії на важких ділянках, доріг гірської місцевості та до 150 км/год для доріг I категорії для рівної місцевості [2, 3].

У реальних умовах швидкість поодиноких автомобілів та транспортних потоків, які нижче розрахункових, змінюється нерівномірно на різних ділянках дороги. В середньому показник швидкості транспортного потоку дорівнює 0,6–0,8 від розрахункової або максимально забезпеченої швидкості руху транспортних засобів.

Підвищення та вирівнювання швидкості по довжині дороги можна досягти поліпшенням рівності та зчіпних якостей дорожнього покриття, нанесенням розмітки, розширенням проїзної частини, зміцненням узбіччя, пом'якшенням подовжніх похилів, збільшенням радіусів кривих в плані та видимості дороги, а також іншими заходами, що входять до комплексу дорожніх робіт.

Швидкість регулюють встановлюючи дорожній знак обмеження максимальної швидкості спільно із попереджувальним знаком, що інформує про причини обмеження. При регулюванні швидкості необхідно строго обґрунтувати межі обмеження. Перепад зниження швидкості має бути на довгих ділянках не більше 20 км/год, а мінімальна межа обмежень швидкості на дорогах не нижче 40 км/год, крім випадків, коли обмеження вводяться на ділянках із слизьким покриттям, при ожеледі і сніговому накаті та на особливо небезпечних ділянках (наприклад, біля школи). Відстань між ділянками має бути не менше 150–200 м, з перепадом більше 20 км/год швидкість знижують так, щоб водій плавно зменшував швидкість з уповільненням не більше 0,5 км/год. Обмеження повинні встановлювати тільки на час обмежувального чинника [2 – 4].

Для підвищення пропускної здатності може виявитися необхідним як обмеження, так й підвищення швидкості руху.

Найбільша пропускна здатність для сухого покриття спостерігається при швидкості – 55 км/год; для мокрого шорсткого покриття – 50 км/год; для змішаного накатаного – 35 – 40 км/год, тому з позиції збільшення пропускної здатності на ділянках, де швидкість нижче вказаної, необхідно виконати

заходи для забезпечення більш високих швидкостей в періоди високої інтенсивності руху [2 – 4].

Висновок

Таким чином, визначення пропускної здатності автомобільної дороги з побудуванням лінійного графіка, дає об'єктивну характеристику транспортно-експлуатаційному стану дороги. Тому, щоб обґрунтувати від та чергу заходів з підтримки високих транспортних властивостей доріг, необхідно обов'язково виконувати розрахунки пропускної здатності окремих елементів та на всій дорозі.

Література

1. Транспортно-експлуатаційні властивості автомобільних доріг : навч. посібник / В.Я. Савенко, В.В. Губа. – Донецьк : ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – 229 с.
2. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 352 с.
3. Ремонт и содержание автомобильных дорог : справочник инженера дорожника / под ред. А.П. Васильева. – М. : Транспорт, 1989. – 287 с.
4. Проектирование автомобильных дорог : справочник инженера-дорожника / по ред. Г.А. Федотова. – М. : Транспорт, 1989. – 437 с.

Додух К.М., Шостак С.М.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОДІЇВ В СКЛАДНИХ ДОРОЖНІХ УМОВАХ

Анотація. Безпека дорожнього руху на автомобільних дорогах залежить від безпечної швидкості та відповідної дистанції між автомобілями. В темний час доби на горизонтальних кривих необхідно зменшувати рекомендовану швидкість руху та рекомендувати небезпечну дистанцію в залежності від коефіцієнту зчеплення.

Ключові слова: швидкість, дистанція, коефіцієнт зчеплення, темний час доби, горизонтальна крива.

Аннотация. Безопасность дорожного движения на автомобильных дорогах зависит от безопасной скорости и соответственной дистанции между автомобилями. В темный период суток на горизонтальных кривых необходимо уменьшать рекомендованную скорость и рекомендовать безопасную дистанцию в зависимости от коэффициента сцепления.

Ключевые слова: скорость, дистанция, коэффициент сцепления, темный период суток, горизонтальная крива.

Annotation. Traffic safety on roads depends on safety speed and proper distance between cars. In the night-time on horizontal curves we must reduce the recommended speed and recommend safety distance depending on the coupling coefficient.

Keywords: speed, distance, coefficient of coupling, night-time , horizontal curve.

Безпека дорожнього руху на автомобільних дорогах залежить від багатьох факторів. Особливо це стосується руху автомобілів в складних дорожніх умовах до яких відносяться і темний час доби.

У цей період відбувається до 50% ДТП за добу. Основна причина – це недотримання необхідної дистанції та перевищення швидкостей руху, особливо на горизонтальних кривих малого радіуса.

При недостатній дистанції водій і збільшеній швидкості руху водії не встигають вчасно загальмувати. Дистанція між автомобілями повинна забезпечити вчасне гальмування для даної швидкості руху. Отже швидкість руху та дистанція повинні відповідати радіусу горизонтальної кривої та коефіцієнту зчеплення.

Світло фар автомобіля освітлює не всю криву, а тільки її частину. Кут зору водія становить 120° - 130° , якщо предмет розглядається одночасно двома очима. Найбільша чіткість зору знаходиться в межах конусу зору з кутом 3° , достатня чіткість 5° - 6° , задовільна 12° - 14° . Предмети, що знаходяться за межами кута 14° видно без деталей, лише в загальному вигляді. Отже відстань видимості в темний час доби залежить від конусу освітлення фарами автомобіля і радіусом горизонтальної кривої, як видно з рис. 1.

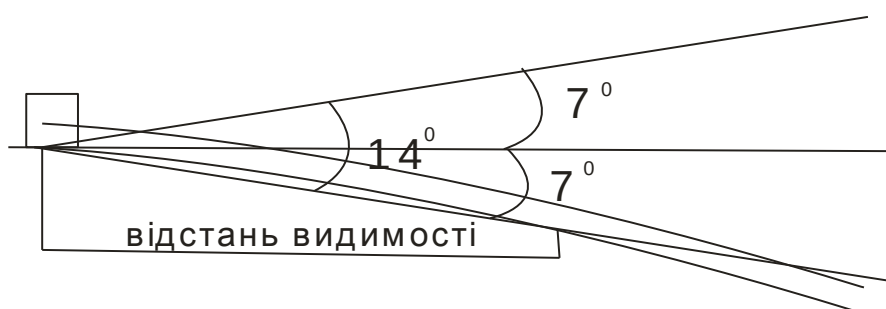


Рисунок 1 – Схема визначення видимості покритті дороги виходячи з умов освітленості фарами автомобіля.

Довжина кривої визначається:

$$S = \frac{\pi R \alpha}{180} = 0,122R, \quad (1)$$

де S – дистанція, м;

R – радіус горизонтальної кривої, м.

Безпечна дистанція між автомобілями залежить від їх швидкості. Розрахунок безпечної дистанції між автомобілями проводиться на основі гідродинамічної моделі транспортного потоку для колонного руху автомобілів.



Рисунок 2 – Відстань видимості поверхні дороги на горизонтальних кривих

$$d = (d_{min} + L_a) \cdot e^{V/25} - L_a, \quad (2)$$

де d – безпечна дистанція між автомобілями, м;

d_{min} – мінімальна дистанція при заторовій ситуації, м;

L_a – довжина автомобіля, м;

V – швидкість руху, км/год.

Залежність дистанції від швидкості автомобіля показано на рис.3



Рисунок 3 – Залежність між швидкістю і дистанцією

Виходячи з цього ми можемо встановити залежність безпечної відстані видимості від радіуса горизонтальної кривої на основі рисунка 2, і для кожної безпечної видимості дати рекомендації щодо швидкості руху з рисунка 3.

При відомому значенні радіуса горизонтальної кривої з допомогою графіка рис. 2 або рівняння 1 встановлюється безпечна відстань. По цій відстані

видимості на основі графіка рис.3 встановлюється безпечна швидкість руху в темний час доби. Наприклад: радіус 200 м, відстань видимості складає 40 м і встановлюється безпечна швидкість 50 км/год.

Рух автомобільного транспорту проходить при різних погодних умовах . Ці умови характеризуються коефіцієнтом зчеплення який змінюється від 0,6 до 0,05 при ожеледиці.

На основі досліджень Неізвесної Н. В. встановлено коефіцієнти зміни безпечної дистанції зі зменшенням коефіцієнту зчеплення, які наведені в тал. 1.

Таблиця 1

	Коефіцієнти зміни безпечної дистанції в залежності від коефіцієнта зчеплення												
ф	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6
к	1,51	1,45	1,4	1,35	1,3	1,25	1,2	1,16	1,12	1,09	1,06	1,03	1

На основі викладеного пропонується використання вказівних табличок разом з знаками рекомендованої швидкості давали б рекомендації безпечної дистанції в залежності від радіуса горизонтальної кривої та погодних умов в темний час доби.

Зв'язок радіуса горизонтальної кривої та швидкості руху автомобілів характеризується:

$$R = \frac{(1+L)E^{V/25}}{0.122}, \quad (3)$$

де L – середня довжина автомобіля, м;

V – середня швидкість транспортного потоку, км/год.

Література

1. ДСТУ 4100-2002. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування.
2. Пальчик А.М. Транспортні потоки: монографія / А.М. Пальчик.. – К. : НТУ, 2010. – 171 с. : іл. – Бібліогр. : с. 170–171.
3. Організація дорожнього руху: навч. посіб. / А.М. Пальчик. – К. : НТУ, 2011. – 228 с. : іл. – Бібліогр. : с. 226–227.

Дідківська Л.С., канд. техн. наук., Шаріна М.В.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЛАСТІ ЕФЕКТИВНОГО
ФУНКЦІОНУВАННЯ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З
МОЖЛИВІСТЮ ВИКЛИКУ ПІШОХІДНОЇ ФАЗИ**

Анотація. Методи жорсткого регулювання транспортних і пішохідних потоків в умовах значних коливань їх характеристик довели свою низьку ефективність через значні затримки транспорту. Скоротити сумарні затримки в таких умовах дозволяє використання пішохідних викличних пристроїв з можливістю переключення сигналів світлофорів на локальному перехресті або регульованому пішохідному переході за заявками пішоходів.

Ключові слова: транспортні затримки, пішохідні затримки, виклик пішохідної фази.

Аннотация. Методы жесткого регулирования транспортных и пешеходных потоков в условиях значительных колебаний их характеристик доказали свою низкую эффективность из-за значительных задержек транспорта. Сократить суммарные задержки в таких условиях позволяет использование пешеходных вызывных устройств с возможностью переключения сигналов светофоров на локальном перекрестке или регулируемом пешеходном переходе по заявкам пешеходов.

Ключевые слова: транспортные задержки, пешеходные задержки, вызов пешеходной фазы.

Annotation. Methods of inflexible transport and pedestrian flows regulation under conditions of their characteristics sustainable fluctuations proved to be of low efficiency due to significant transport delays. Usage of pedestrian calling devices with traffic signal switching possibility based on pedestrians requests at local intersection or regulated pedestrian crossing allows to reduce transport delays in this environment.

Keywords: transport delays, pedestrian delays, pedestrian phase call.

Вступ

Актуальність даного дослідження обумовлена відсутністю рекомендацій по впровадженню світлофорних об'єктів на вулично-дорожній мережі (ВДМ) міст з можливістю виклику пішохідної фази. Принципи організації руху пішоходів розглянуті в працях багатьох вчених Бакутіса В.Е., Афанасьєва М.Б., Клінковштейна Г.І., Кременця Ю.О., Сільянова В.В., Шештокаса В.В. та інших. В цих роботах викладені основні положення транспортних і пішохідних потоків.

Ціллю даного дослідження є підвищення ефективності організації дорожнього руху на пішохідних переходах при впровадженні світлофорних об'єктів з можливістю виклику пішохідної фази.

Об'єктом дослідження є транспортні і пішохідні потоки на пішохідних переходах, що розташовані поза межами перехресть.

Предметом дослідження є вплив способу регулювання транспортних і пішохідних потоків на пішохідних переходах на сумарні витрати. В ході даного дослідження порівнювалися витрати при таких способах організації руху на пішохідному переході і підходах до нього як «нерегульований пішохідний перехід» та «світлофорний об'єкт з можливістю виклику пішохідної фази».

Основна частина

Існує декілька моделей оцінки середньої затримки пішоходів на регульованих переходах, а також рекомендації за Дідківською Л.С. [1] по впровадженню технологій світлофорного регулювання, які враховують зміну параметрів транспортних потоків, але не враховують зміну параметрів інтенсивності пішоходів і не окреслюють область ефективного функціонування світлофорних об'єктів з можливістю виклику пішохідної фази.

В існуючих рекомендаціях з впровадження та оцінки ефективності роботи світлофорного регулювання дорожнього руху [2] також не окреслена область ефективного функціонування таких методів.

Питанням оцінки області функціонування світлофорних об'єктів з можливістю виклику пішохідної фази займалися і в Росії. Зокрема, в роботі Н.А. Слободчікової приведені результати дослідження, яке зроблене тільки на базі оцінки витрат від транспортних і пішохідних затримок.

В ході даного дослідження було змодельовано роботу пішохідного переходу при визначених умовах нерегульованого і в умовах світлофорного об'єкту з можливістю виклику пішохідної фази. Такими умовами є:

- сумарна інтенсивність транспортних засобів на підходах по пішохідного переходу без перерозподілу за смугами руху, авт./год;
- сумарна інтенсивність пішоходів, піш./год;
- кількість смуг руху;
- тривалість пішохідної фази;
- мінімальна тривалість псевдо-циклу, що фактично означає мінімальний відрізок часу між пішохідними фазами в разі їх виклику пішоходами на переході.

В роботі було визначено сумарні затримки пішоходів на об'єкті ВДМ з окресленою конфігурацією графічним способом, проводились розрахунки для двох смуг руху транспортних засобів (ТЗ), по одній в кожному напрямку в діапазоні від 400 до 2600 авт./год і для інтенсивності пішоходів в діапазоні від 40 до 400 піш./год. Зроблене припущення з песимістичним сценарієм про рівномірність надходження пішоходів на пішохідний перехід для розрахунку вартостей затримок транспортних засобів. Це дає можливість врахувати максимальні втрати через транспортні затримки, бо пішоходи не об'єднуються в групи, а викликають пішохідну фазу навіть заради 1 особи максимальну кількість разів на годину для вказаної інтенсивності пішоходів.

При проведенні розрахунків було використано результати дослідження, що описані в роботі А.Ю. Клібавічуса [3], предметом якої є оцінка вартості різних видів втрат. В ході роботи було оцінено сумарні транспортні і пішохідні затримки виражені у вартості при способі організації пішохідного переходу з можливістю виклику пішохідної фази та нерегульованому способі.

Результати дослідження представлені у вигляді трьохмірних графіків, що дозволяють оцінити величину втрат при кожній з двох способів організації пішохідного переходу в залежності від величини інтенсивностей транспортних і пішохідних потоків.

В результаті моделювання було одержано залежність значення *вартості сумарних затримок пішоходів та транспортних засобів* на регульованому пішохідному переході з можливістю виклику пішохідної фази від *інтенсивності пішохідного та транспортного потоку*, що графічно представлена у вигляді тримірного графіку на рисунку 1.

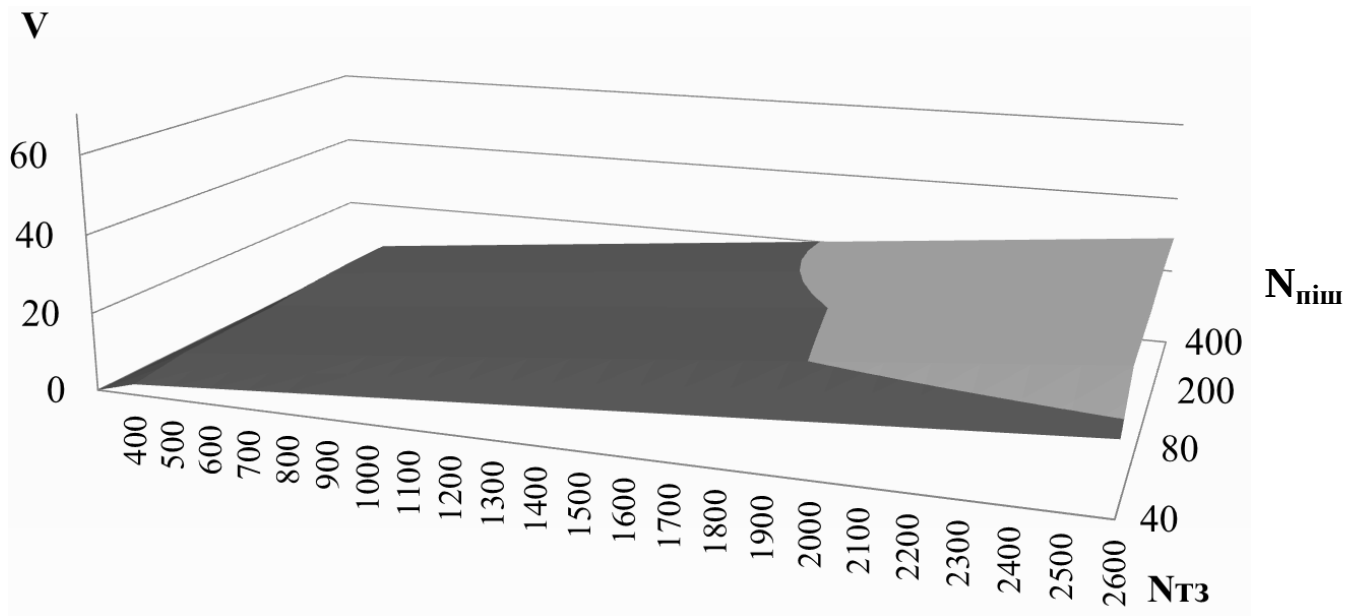


Рисунок 1 – Залежність значень вартості сумарних затримок пішоходів та транспортних засобів на регульованому пішохідному переході з можливістю виклику пішохідної фази від інтенсивності пішохідного та транспортного потоку

Де $N_{TЗ}$ – інтенсивність транспортних засобів, авт./год; V – вартість сумарних втрат від затримок, грн/год; $N_{пiш}$ – інтенсивність пішоходів, чол./год.

Формуючи розмір затримок пішоходів при нерегульованому способі організації пішохідного переходу (так звана «Зебра») було використано залежності, одержані Лобашовим О.О. [4] для окреслених вище вимог.

Аналіз «Рекомендацій з впровадження та оцінки ефективності роботи світлофорного регулювання дорожнього руху» показав, що нерегульовані пішохідні перехрестя мають свої обмеження по області застосування і тому область дослідження було приведено у відповідність до вимог даного документу (інтенсивність ТЗ до 1000 авт./год; інтенсивність пішоходів до 150 за чол./год).

Також визначено розмір транспортних затримок для даних умов руху. Це дозволило одержати залежність величини *вартості сумарних затримок пішоходів та транспортних засобів* на нерегульованому пішохідному переході від *інтенсивності пішохідного та транспортного потоку*, що графічно представлена у вигляді тримірного графіку на рисунку 2.

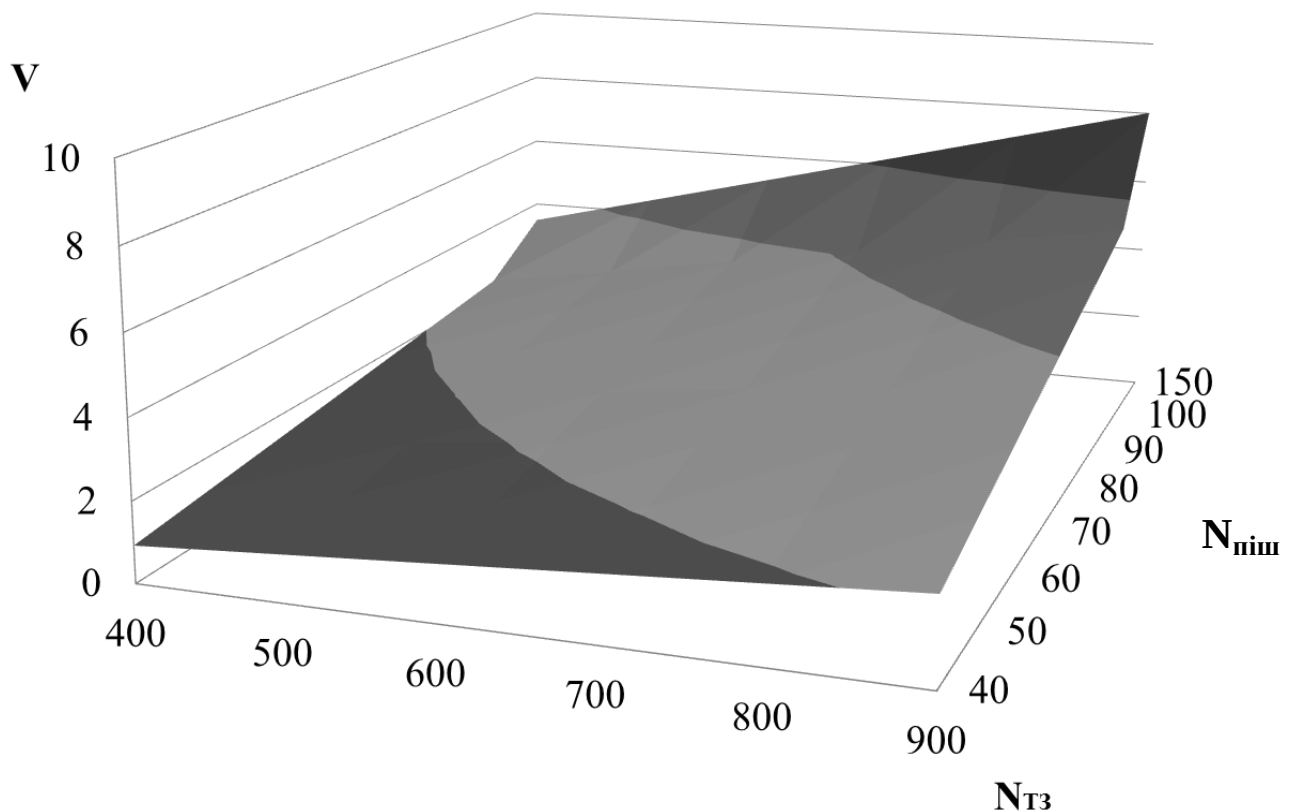


Рисунок 2 – Залежність величини вартості сумарних затримок пішоходів та транспортних засобів на нерегульованому пішохідному від інтенсивності пішохідного та транспортного потоку

Де $N_{ТЗ}$ – інтенсивність транспортних засобів, авт./год; V – вартість сумарних втрат від затримок, грн/год; $N_{пеш}$ – інтенсивність пішоходів, чол./год.

Перетин результатуючих поверхонь дає можливість розмежувати зони ефективного функціонування нерегульованого пішохідного переходу і світлофорного регулювання з можливістю виклику пішохідної фази в залежності від заданих умов. Критерієм, що визначає ефективність в даному випадку є величина витрат, а якщо точніше, їх мінімум в заданих умовах.

При аналізі перетину поверхонь було визначено, що вони перетинаються по лінії, що при проекції на площину співвідношення умов $N_{ТЗ}$ до $N_{пеш}$ виглядає так, як на рисунку 4. Причому мінімум вартості через втрати при транспортних і пішохідних затримках відображають області: «а» – для світлофорного регульованого переходу з можливістю виклику пішохідної фази; «б» – для нерегульованого пішохідного переходу

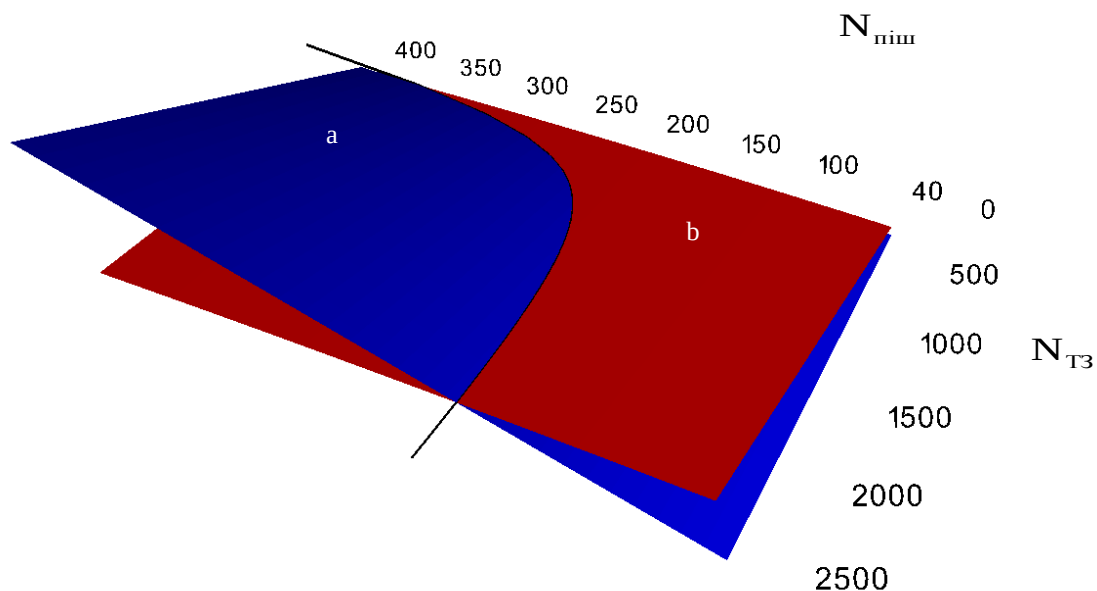


Рисунок 3 – Графічне представлення вартостей втрат через затримки ТЗ та пішоходів для: площина «а» – світлофорного регульованого переходу з можливістю виклику пішохідної фази; площина «b» – нерегульованого пішохідного переходу

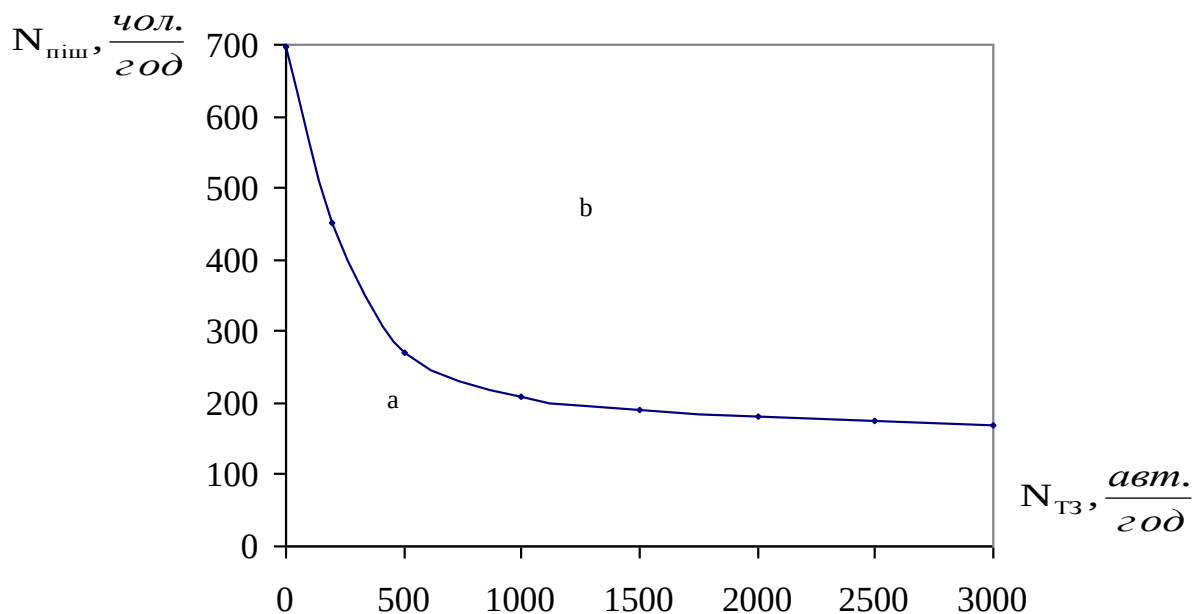


Рисунок 4 – Области ефективного функціонування: «а» – світлофорного регульованого переходу з можливістю виклику пішохідної фази; «b» – нерегульованого пішохідного переходу

Висновки

З даних, що наведені на рисунку 4 видно, що діапазон умов визначений у [2] для функціонування нерегульованого пішохідного переходу (інтенсивність ТЗ до 1000 авт./год та інтенсивність пішоходів до 150 за чол./год) повністю належить за результатами даного дослідження області ефективного функціонування світлофорного регульованого переходу з можливістю виклику пішохідної фази.

У подальшому планується оцінити за аналогічною методикою області ефективного функціонування для трьох та чотирьох смуг руху транспортних засобів для всього можливого діапазону інтенсивностей транспортного і пішохідного потоків. Також пропонується, на основі робіт Хауера І., Рябця Я.В. і Трушевського В.Е., включити в розрахунки витрати від дорожньо-транспортних пригод і витрати через негативний вплив на екологію.

Література

1. Дідківська Л.С. Гнучкі методи світлофорного регулювання в умовах нестаціонарності параметрів транспортного потоку [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Дідківська Людмила Сергіївна ; Нац. трансп. ун-т. – К., 2011. – 145 с.
2. Рекомендації з впровадження та оцінки ефективності роботи світлофорного регулювання дорожнього руху / ГУ РУ МВС України, 2005. – 56 с.
3. Оптимальные многоцелевые системы координированного регулирования движения : Материалы VIII международной (одиннадцатой екатеринбургской) научно-практической конференции [«Проблемы развития транспортных систем городов и зон из влияния»], (14-15 июня 2002 г.), Клибавичус А.Ю.
4. Лобашов О.О. Практикум з дисципліни «Організація дорожнього руху» : навч. посіб. / О.О. Лобашов, О.В. Прасоленко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 221 с.