

## **БУДІВНИЦТВО ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОРІГ І АЕРОДРОМІВ**

**УДК 625.8**

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

### **ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ ІЗ ЕЛЕМЕНТІВ МОЩЕННЯ**

**Анотація.** В статті розглянуто досвід впровадження брукованих дорожніх покриттів міських вулиць і площадок логістичних центрів.

Об'єкт дослідження – дорожнє покриття із елементів брукування.

Мета роботи – аналіз досвіду впровадження конструкцій дорожніх одягів із брукованими покриттями на міських вулицях та логістичних центрах.

Метод дослідження – візуальне обстеження дослідних ділянок.

Для можливості масового влаштування брукованих покриттів дорожніх одягів потрібно підвищити їх надійність та довговічність. Влаштування дослідних ділянок дозволяє на практиці виявити доцільність або недоліки інженерних рішень проектування та будівництва. Для влаштування дослідних ділянок брукованих дорожніх покриттів міських вулиць та площадок логістичних центрів запроєктовано раціональні конструкції згідно існуючих методик. Надано рекомендації щодо їх влаштування. Протягом експлуатації проводилися візуальні обстеження.

Результати статті повинні використовуватися у подальшому при влаштуванні дорожніх одягів із каменів брукування для попередження утворені дефектів та руйнувань.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – збільшення висоти каменів брукування і влаштування дорожніх покриттів під великовагові транспортні засоби із навантаженням на вісь 115-130 кН і більше, в тому числі для аеродромів.

**Ключові слова:** елементи мощення, конструкція дорожнього одягу, дорожнє покриття, міські вулиці та дороги, площадки логістичних центрів, дефект, деформація, надійність.

**Аннотация.** В статье рассмотрен опыт внедрения мощеных дорожных покрытий городских улиц и площадок логистических центров.

Объект исследования – дорожное покрытие из элементов мощения.

Цель работы – анализ опыта внедрения конструкций дорожных одежд с мощеными покрытиями на городских улицах и логистических центрах.

Метод исследования - визуальное обследование опытных участков.

Для возможности массового устройства мощеных покрытий дорожных одежд нужно повысить их надежность и долговечность. Устройство опытных участков позволяет на практике выявить целесообразность или недостатки инженерных решений проектирования и строительства. Для устройства опытных участков мощеных дорожных покрытий городских улиц и площадок логистических центров запроектированы рациональные конструкции согласно существующих методик. Даны рекомендации по их устройству. В течение эксплуатации проводились визуальные обследования.

Результаты статьи должны использоваться в дальнейшем при устройстве дорожных одежд из камней мощения для предупреждения образованные дефектов и разрушений.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – увеличение высоты камней мощения и устройство дорожных покрытий под тяжеловесные транспортные средства с нагрузкой на ось 115-130 кН и более, в том числе для аэродромов.

**Ключевые слова:** элементы мощения, конструкция дорожной одежды, дорожное покрытие, городские улицы и дороги, площадки логистических центров, дефект, деформация, надежность.

**Abstract.** The article describes the experience of introduction road pavements of paving blocks on city streets and areas of logistics centers.

The object of study – the road pavement of paving blocks.

Purpose – to analyse experience of introduction road constructions with pavements of paving blocks on city streets and logistics centers.

Method research – a visual examination of test areas.

To be able to mass build road pavements of paving blocks need to improve their reliability and durability. The test areas allows in practice to detect flaws engineering solutions of design and construction. For build test areas road pavements of city streets and areas of logistics centers was designed rational constructions by according

to existing design methods. Was provided the recommendations to their build. During the maintenance conducted visual inspection.

The results of the article should be used in the future when constructing pavements with Paving stones to prevent defects and damage.

Forecast assumptions about the object of study – to increase the height of Paving stones and to build of road pavement under heavy vehicles with axle load 115-130 kN or more, including the airports.

**Key words:** paving blocks, construction of road pavement, road pavement, city streets and roads, areas logistics centers, defects, deformations, reliability.

### **Вступ**

Історія будівництва мощених доріг бере свій початок з глибокої давнини. Яскравим прикладом є дороги стародавнього Риму, що краще інших збереглися до нашого часу. Мережа доріг була одним з найбільших досягнень Римської імперії. В епоху розквіту імперії загальна протяжність доріг складала, за різними оцінками істориків, від 80 до 300 тисяч кілометрів. Знаменита Аппієва дорога, що була збудована в 312 році до нашої ери служила століттями і частково збереглася до нашого часу [1].

Із появою нових технологій (виробництво бетонних елементів мощення методом вібропресування та машин для влаштування брукованих покриттів) використання елементів мощення в конструкціях дорожніх одягів (КДО) отримало подальший розвиток. У країнах з розвинутою економікою із середини 80-х років ХХ століття бруковані покриття замінюють монолітні покриття і займають свою долю ринку маючи ряд переваг. Основним недоліком асфальтобетонних покриттів є залежність експлуатаційних властивостей від температури та незначний строк служби. Перевагою, яка зумовлює широке використання асфальтобетону є технологічність і ремонтпридатність. Монолітні цементобетонні покриття, навпаки, значно більш стійкіші до впливу перепадів температур та довговічніші, але основний їхній недолік труднощі при виконанні ремонтних робіт. Покриття із штучних елементів мощення мають переваги цементобетонних покриттів і можуть легко бути відновлені при появі руйнувань чи необхідності аварійних ремонтів інженерних мереж. Даний вид покриття дозволяє добитися архітектурної виразності об'єктів інфраструктури, не виділяє в атмосферу канцерогенні речовини (летючі похідні нафти).

Водопроникні КДО забезпечують природну потребу ґрунту в газо- і водообміні, що є важливим фактором для зелених насаджень в населених пунктах.

За характером дорожнього руху умовно можна виділити три основні зони дорожніх покриттів: населених пунктів, поза населеними пунктами та виробничого призначення. Особливістю умов в населених пунктах є рух транспорту із відносно невисокою швидкістю, та із частими розгонами і гальмуванням, що призводить до значних перевантажень від коліс транспортних засобів [2, 3, 4]. Даний характер дорожнього руху не стосується міських магістралей. Ще однією особливістю доріг в населених пунктах є те, що під ними зазвичай проходять інженерні комунікації, які часто потребують ремонтних заходів з розбиранням покриття. Друга зона, дороги поза населеними пунктами, характеризуються рухом транспортних засобів із стабільними високими швидкостями, гальмування та розгони є незначними та рідкісними. До зони виробничого призначення віднесено покриття під технологічні транспортні засоби (зазвичай вони є великоваговими), рух яких здійснюється з невисокими швидкостями але із частими різкими змінами напрямку руху. Приймавши до уваги характеристики брукованих покриттів можна з упевненістю стверджувати, що їх доцільно використовувати в конструкціях дорожніх одягів населених пунктів місцевого значення та ділянок із рухом великовагових транспортних засобів. Для підвищення довговічності та надійності брукованих покриттів можливе використання елементів мощення більшої висоти та із високоміцних бетонів.

**Постановка проблеми.** У 70-80-ті роки минулого століття на території Радянського союзу використання брукованих покриттів звелось до мінімуму, тому досвід влаштування брукованих покриттів, що накопичувався попередніми поколіннями будівельників доріг був частково втрачений та не відповідає вимогам сучасності. Нові технології мають певні особливості, котрі вітчизняні фахівці часто не враховували при проектуванні, будівництві та експлуатації КДО із використанням елементів мощення. Хоча в Україні камені брукування використовуються переважно для покриттів пішохідних тротуарів та площ, які сприймають неінтенсивне навантаження від транспортних засобів. Проте, навіть на них у процесі експлуатації часто виникають і накопичуються дефекти та руйнування. Вище сказане є причиною того, що дорожники намагаються уникати каменів мощення як матеріалу для дорожніх покриттів. І влаштування конструкцій даного типу є поодиноким явищем для України.

Для можливості масового влаштування брукованих покриттів дорожніх одягів потрібно підвищити їх надійність та довговічність. Першим кроком є аналіз дефектів та руйнувань, які є характерними для КДО із елементами мощення. У статті [5] нами проаналізовано основні дефекти та руйнування існуючих мощених покриттів, виділено імовірні причини виникнення та наведено рекомендації для їх запобігання. При використанні рекомендацій, які надавалися нами, щодо конструювання або будівництва конструкцій дорожніх одягів було влаштовано дослідні ділянки. Спостереження за ними дозволяє нам виявити доцільність або недоліки інженерних рішень проектування та будівництва і подальшого вдосконалення технології дорожніх брукованих покриттів.

Аналіз досліджень та публікацій. З метою підвищення надійності та довговічності мощених покриттів фахівцями різних країн удосконалюються методи проектування, регламенти спорудження, методи та засоби контролю виконання робіт, що враховують досвід та особливості конкретних регіонів. Створена нормативно-технічна база по даному профілю [6].

Так в 1988 році був представлений універсальний голландський метод проектування блочних покриттів з піщаними підстилаючими шарами [7]. Метод ґрунтується головним чином на визначенні механічного розвитку колії. Для цього методу визначають властивості пісків, що використовуються в основі. На основі даних властивостей та ряду параметрів (частина з яких встановлена емпіричним шляхом для матеріалів, що застосовуються в Голландії, а інша частина розраховується з їх властивостей) визначається міцність піску, пружна поведінка та залишкова деформація.

Німеччина, як один із світових лідерів у використанні брукованих покриттів, активно накопичує та аналізує досвід. Ґрунтуючись на накопиченому досвіді з врахуванням кліматичних особливостей та ґрунтів підстилаючої основи, в 2001 р. було видано рекомендації по влаштуванню верхніх шарів дорожнього одягу об'єктів транспортного будівництва. В даних рекомендаціях наводяться каталоги КДО для велосипедних та пішохідних доріжок, для доріг III-VI категорій з сумарним прикладанням навантаження розрахункових осей 10 тон до 3 млн. проходів (дороги та вулиці житлових районів, дороги, що з'єднують житлові квартали з магістральними дорогами, автобусні зупинки, паркувальні площадки з легковим та вантажним рухом, пішохідні зони з рухом обслуговуючого транспорту). Висота елементів мощення, що використані для

даних покриттів становить 8 та 10 см. Мінімальний модуль пружності під покриттям із каменів брукування має становити не менше 120 МПа [8].

2007 року в Кельні за авторства професора Хорста Ментлейна вийшло в світ уже друге видання «Атласу бруківки». В атласі висвітлюються сучасні аспекти планування, проектування та будівництва брукованих покриттів [9].

Ціль статті. Маючи ряд індивідуальних якостей бруківка впевнено потісняє монолітні покриття і займає свою долю в дорожньому будівництві. Для прикладу, за даними Concrete manufacturers association, що були опубліковані 2009 року, тенденція росту влаштування покриттів із бетонних елементів мощення в Південноафриканській республіці із середини ХХ ст. підчиняється експоненціальній залежності [10]. Україна також не є виключенням і в населених пунктах площа брукованих покриттів постійно збільшується.

Дослідні ділянки мощених покриттів влаштовано при реконструкції НСК «Олімпійський» в 2011 р., реконструкції Андріївського узвозу – 2012 р., та при будівництві комплексу будівель житлового, торгівельного і офісного призначення з паркінгом по вул. Саперно-Слобідській, 93 – 2013 р. В даній статті висвітлюються особливості проблем при будівництві, прийняті рішення та аналізується сьогоденний стан дорожнього покриття дослідних ділянок. Також приводяться результати випробувань несучої здатності брукованих покриттів, що виконані в 2013 році.

Основний матеріал. При реконструкції Національного спортивного комплексу «Олімпійський», в рамках підготовки до чемпіонату Європи з футболу 2012, на прилеглий території НСК виконували влаштування брукованого покриття з використанням гранітної бруківки (рис. 1). Конструкція дорожнього одягу прийнята наступною:

- гранітна бруківка розміром 120Ч120Ч100 мм з шириною швів 5 мм.
- піщаний підстилаючий шар вирівнювання,  $h = 5$  см;
- залізобетонна плита з бетону  $B 15$ , армована двома стальними сітками із стержнів Ш8 А 400 С з кроком 150Ч150 мм, відстань між деформаційними швами в осях 662,5 см,  $h = 20$  см;
- утрамбований щебенем ґрунт,  $h = 6$  см;

Суть проблеми, що виникла при вимощенні бруківки, полягає в наступному. Вимощене покриття до початку трамбування повинне бути таким, щоб окремі камені в ньому не хитались і не осідали під тиском ноги робочого, а

також не могли бути витягнуті рукою [11]. Задля забезпечення цієї умови необхідно виконати початкове заповнення швів між елементами мощення. Заповнення швів піском виконують з поливом водою або без поливу. Перший спосіб дає змогу прискорити заповнення швів і ущільнення матеріалу в них, що в свою чергу забезпечує кращу фіксацію елементів мощення перед трамбуванням. Для цього після вкладання брукованого покриття його покривають шаром піску товщиною в 2-3 см і добре поливають водою. Заповнення без поливки виконується, якщо вода може призвести до негативного впливу на несну здатність основи. Роботи по вкладанні бруківки почали виконувати в січні 2011 року. У період укладки були морози та часті переходи температури від мінусових до плюсових і навпаки. Ці погодні умови виключали можливість використання води при заповненні швів, а роботи потрібно було виконувати високими темпами для забезпечення необхідних строків будівництва. Тому виникла проблема яким чином забезпечити технологічні вимоги та необхідні терміни будівництва.

Керівництвом генпідрядної організації було вирішено випробувати різні матеріали для заповнення швів окремими субпідрядними організаціями. Використовували гранітні відсівы різних гранулометричних складів та річковий пісок а також суміші цих матеріалів в певних співвідношеннях. В результаті виявилось, що найкращим розклинюючим ефектом для бруківки з шириною швів 5 мм став гранітний відсів.

Модуль крупності гранітного відсіву, котрий використовували для заповнення швів становив:

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16(0,14)}}{100} = \frac{0,40 + 17,96 + 77,72 + 96,36 + 98,85}{100} = 2,91 \quad (1)$$

де  $A_{2,5}$ ;  $A_{1,25}$ ;  $A_{0,63}$ ;  $A_{0,315}$ ;  $A_{0,16(0,14)}$  – повні залишки у відсотках на ситах з розміром отворів 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 (0,14) мм.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.7-29 даний матеріал за модулем крупності (2,5 < 2,91 < 3,0) відноситься до крупного піску. Відсів промитий тому вміст глинистих і пилюватих часток < 0,1 %.

Для того, щоб охарактеризувати конструкцію потрібно розглянути ті дефекти, які виникли в процесі експлуатації. Загальний стан та дефекти брукованого покриття на прилеглий території НСК «Олімпійський» показано на рис. 1.



а)



б)

в)

г)



д)

е)

**Рисунок 1** – Загальний вигляд та дефекти брукованого покриття на прилеглий території НСК «Олімпійський»

На даній дослідній ділянці можна виділити наступні дефекти: пустотність швів (рис. 1б), сколювання країв бруківки (рис. 1в), розколювання та втрата



елементів брукування (рис. 1г), здимання покриття в місці примикання до водостічного жолоба (рис. 1д), просідання покриття в місцях примикання до елементів вбудованих конструкцій, а саме: каналізаційні люки, водостічні жолоби, освітлювальні прожектори (рис. 1е).

Пустотність швів брукованого покриття виникає з причин: доущільнення матеріалу заповнення в нещодавно влаштованому покритті, видалення заповнювача, наприклад під дією потоку води, та сумісна дія двох факторів. Доущільнення відбувається протягом першого року експлуатації, тому цей період за покриттям спостерігають і у разі необхідності проводять додаткове заповнення швів. Для запобігання вимивання заповнювача із швів водовідведення проектують таким чином, щоб потік води не мав сили для вимивання (незначні похили покриття, перехоплення потоку води). У разі не доцільності такого водовідведення шви заповнюють матеріалом обробленим в'язучим (цемент, бітумна емульсія, полімерно-бітумне в'язуче, тощо). Нами зафіксовано вимивання заповнювача в місці в'їзду на територію комплексу, куди прибуває вода із вище розташованого покриття. Імовірно, що сила потоку води разом із сумісною дією транспортних засобів зумовлюють вимивання заповнювача швів.

Сколювання країв бруківки відбувається в місцях руху транспортних засобів, внаслідок концентрації напружень на кутах бруківки. Це звичне явище для бруківки. Тому в бетонних елементах мощення влаштовують заокруглену фаску, що дає можливість зменшити і уникнути даного дефекту в процесі експлуатації покриттів.

Розколювання та втрата елементів брукування, здимання покриття в місці примикання до водостічного жолоба, просідання покриття в місцях примикання до вбудованих елементів імовірно спричинені недоліками стикування покриття з даними конструкціями. Це недоліки і проектних і будівельних помилок.

При наявності круглих колодязів до них потрібно підмоцуватися, Елементом мощення надається конусоподібна форма, щоб при вкладанні їх шви проходили по центру колодязя [11]. Також доцільно влаштовувати контурний шов із пластичного матеріалу (бітумно-полімерна стрічка, екструдований пінополістирол, тощо) для сприймання різнорідних температурних деформацій конструкцій колодязя і покриття. Аналіз деформації випинання бруківки біля жолоба показує, що бруківці надали клиноподібної форми (верхня грань широка, а нижня вузька). Очевидно таким чином намагалися приховати

недоліки при виконанні робіт, що й проявилось в даному дефекті. Задля попередження вимивання матеріалу вирівнюючого шару і наступного просідання покриття, потрібно забезпечувати суцільність стінок колодязів та влаштовувати розділяючий прошарок, котрий би унеможлививлював перенос мінеральних зерен матеріалу.

Дані дефекти носять локальний характер. Стан покриття можна оцінити як задовільний, однак потребує незначних відновлювальних робіт.

У 2012 році була проведена реконструкція Андріївського узвозу в м. Київ. Важливими факторами, які впливали на конструювання дорожнього одягу було те, що попередньо проводився ремонт інженерних мереж та значний поздовжній похил вулиці, який місцями досягає 130 ‰. При виборі раціональної КДО враховувалося, що по завершенні робіт із влаштування підземних мереж не буде забезпечена однорідність основи.

За результатами розрахунків прийнята наступна конструкція:

- покриття із бруківки, розміром 150-300x150x150 мм,  $h = 15$  см;
- шар вирівнювання із цементно-піщаної суміші із витратою цементу  $M_{400} - 150$  кг/м<sup>3</sup>,  $h = 5$  см;
- пісний бетон з класом за міцністю на стиск  $B 10$  та на розтяг при згині  $B_{btb} 1,6$ , марка за морозостійкістю не менше  $F 150$ ,  $h = 25$  см;
- щебенево-піщана суміш оптимального складу С-7 фр. 0-40 мм,  $h = 20$  см;
- протизсувна армуюча ґратка вкрита ПВХ типу Armatex® G 55/55 (з міцністю на розрив в поздовжньому та поперечному напрямку 55 кН/м та відносним видовженням  $13 \pm 2,5$  %);
- пісок середньої крупності,  $h = 20$  см;
- протизсувна армуюча ґратка вкрита ПВХ типу Armatex® G 55/55 (з міцністю на розрив в поздовжньому та поперечному напрямку 55 кН/м та відносним видовженням  $13 \pm 2,5$  %);
- шар вирівнювання із відсіву (крупний пісок) фракції 0,5-5 мм,  $h = 12$  см;
- ґрунт (суглинок легкий пілуватий) ущільнений до  $K_{ущ} = 1,0$  (щебнеґрунт, влаштований з розсипом та втопленням щебеню фракції 20-40 мм з витратою 150 кг/м<sup>2</sup>).

Для забезпечення стійкості матеріалу швів до вимивання під дією потоку води, заповнення швів рекомендовано проводити в два етапи. Спочатку розклинити бруківку і виконати трамбування та ущільнення покриття. Потім очистити шви на глибину 5-7 см і заповнити їх цементно-піщаним розчином

(марка за морозостійкістю не нижче F 150) з попередньою поливкою водою.

Склад розчину для заповнення швів з розрахунку на сухий матеріал:

- цемент М 400 ПЦІ – 470 кг/м<sup>3</sup>;

- пісок річковий – 1450 кг/м<sup>3</sup>;

- вода згідно – 275 л/м<sup>3</sup>;

- добавка АС-1 за технологічним регламентом виробника – 14,1 кг/м<sup>3</sup> (3 % від маси цементу).

Розчин мав здатність до розтікання до 6 год.

Через чотири роки експлуатації виявлено наступні дефекти: руйнування і вимивання заповнювача швів (рис. 2а, 2б, 2в) та втрата елементів мощення в місцях примикання до колодязів підземних мереж (рис. 2г). Руйнування матеріалу швів проходить наступними етапами: спершу він розтріскується (рис. 2а), розпадається на окремі агрегати, які поступово під дією потоку води від опадів та руху транспортних засобів видаляються зі швів (рис. 2б). На наступному етапі відбувається вимивання зернистого матеріалу заповнення швів та оголення елементів мощення (рис. 2в). Це в свою чергу в майбутньому призведе до видалення каменів брукування. Тому задля запобігання подальшого руйнування, при появі ознак втрати стійкості каменів потрібно проводити заповнення швів. Причиною даного дефекту вірогідно є неякісне виконання робіт, а саме: не виконане заповнення швів цементно-піщаними розчином на глибину 5-7 см, втрата легкоукладальності розчину для заповнення швів за рахунок некоректного використання добавки АС-1 та надлишкове додавання води у розчин під час заповнення швів.

Наступний дефект (рис. 2г) як і на площі біля НСК «Олімпійський» також викликаний недосконалістю конструкції примикання брукованого покриття до колодязів та водостічних люків.

Загалом стан покриття можна оцінити на добре (рис. 3). Дане конструктивне рішення себе виправдало, хоча є певні недоліки, які в майбутньому необхідно брати до уваги.

Також дослідне влаштування дорожнього покриття було виконано при будівництві комплексу будівель житлового, торговельного і офісного призначення з паркінгом за адресою: м. Київ, вул. Саперно-Слобідська, 93. Особливість умов будівництва заключалася в наступному. Частина площадки під будівництво отримана завдяки зрізанню схилу пагорба, з попереднім відсіканням стіною із бурових паль. Інша площа на техногенних ґрунтах з

вмістом будівельного сміття. В тому місці, де було виконане зрізання пагорба площадка опинялася на суглинку насиченому ґрунтовими водами. Тому при визначенні деформативних характеристик підстилаючої основи перед початком робіт по зведенню дорожнього одягу значення динамічного модуля пружності коливалися в межах від 3 до 70 МПа.



а)



б)



в)



г)

**Рисунок 2** – Дефекти брукованого покриття по вулиці Андріївській узвіз

Влаштована наступна конструкція дорожнього одягу, яка включає наступні конструктивні шари:

- бетонна бруківка типу «подвійне Т» без фаски, розміри в мм (200x165x80), клас міцності на розтяг при згині  $B_{btb}$  3,2 (40) та при стиску  $B$  20, морозостійкість  $F$  200 при насиченні 5 %-вим розчином  $NaCl$ ,  $h = 8$  см;
- цементно-піщана суміш (150 кг цементу на 1 м<sup>3</sup> піску),  $h = 4$  см;
- відсів гранітний фр. 0-5 мм,  $h = 5$  см;
- щебенево-піщана суміш ЦПС С 5 фр. 0-70 мм неукріплена оптимального складу із міцних гранітних порід М 1000...1200,  $h = 25$  см;
- щебенево-піщана суміш ЦПС С 5 фр. 0-70 мм неукріплена оптимального складу із міцних гранітних порід М 1000...1200,  $h = 25$  см;

- термоскріплений розділяючий та армуючий геотекстильний матеріал TYPAR SF 56 з міцністю на розрив 13,5 кН/м, відносним видовженням 55%;
- ущільнений ґрунт земляного полотна - суглинок легкий пілуватий з коефіцієнтом ущільнення не менше 0,98,  $E_{sp} = 40,0$  МПа,  $\varphi = 18$  град,  $c = 0,012$  МПа.

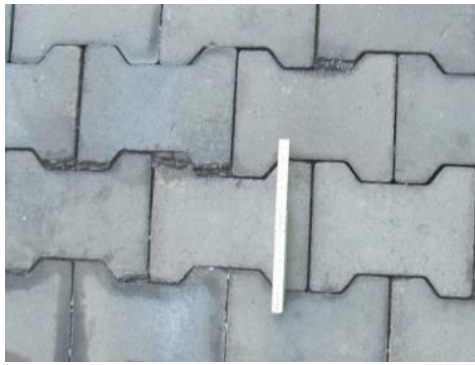


**Рисунок 3** – Загальний вигляд брукованого покриття по вулиці Андріївський узвіз

При поетапному прийманні шарів дорожнього одягу рекомендувалося виконувати контроль за допомогою падаючого динамічного навантаження. Остаточне визначення динамічного модуля пружності по верх брукованого покриття дало результати в межах 800...1400 МПа.

При останньому огляді покриття виявлено наступні дефекти: розкришування кромки (рис. 4а) та утворення тріщин розтягу в бетонних елементах мощення (рис. 4б). Обидва дефекти виявлені лише на ділянці заїзду автомобілів до виходу з торгового центру на другому поверсі, мають незначний обсяг. На основній частині покриття паркінгу дефектів не виявлено (рис. 4в).

Розкришування кромки бетонних елементів мощення імовірно спровоковано відсутністю фаски по периметру лицевої поверхні. При влаштуванні покриття використовувалися елементи мощення без фаски, оскільки таке побажання висловив замовник, з метою зменшення шуму і вібрації під час руху магазинних візків з колесами малого радіусу по покриттю.



а)



б)

в)



**Рисунок 4** – Загальний вигляд та дефекти брукованого покриття по вулиці Саперно-Слобідська, 93, в Києві

Дані тріщини характерні для каменів мощення даної форми. Оскільки під час сприймання навантаження в них виникають розтягуючі напруження. А бетонні елементи брукування не мають армування.

На покритті паркінгу, що знаходиться на горизонтальній площині і під накриттям, таких руйнувань не виявлено. Можливо руйнуючий вплив на бетонні елементи був підсилений впливом атмосферних чинників та підвищеними зусиллями від коліс транспортних засобів, що рухаються на підйом або спускаються із пригальмовуванням і викликають надмірний контактний тиск на гранях бруківки.

Загалом стан покриття можна оцінити на відмінно. Також хотілося б підкреслити доцільність застосування армування дорожніх одягів геотекстильними матеріалами на площадках з неоднорідною підстилаючою основою для забезпечення рівномірності конструкції в цілому.

Для розрахунку КДО необхідно мати розрахунковий модуль пружності шару дорожнього одягу. Для визначення  $E_{брук}$  28 вересня 2013 року проведено випробування несної здатності КДО із брукованими покриттями. Випробування проводилися на території ТОВ «Бетон Комплекс» за адресою: м. Київ, вул. Резервна, 8. Випробування проводили на чотирьох ділянках. Дві ділянки складської території, одна з ділянок в місці без руху транспортних засобів, а інша з рухом автотранспорту загальною масою 5 т, покриття влаштоване з елементів брукування «фалка» (300x150x100 мм). Та дві ділянки для паркування легкових автомобілів, покриття однієї влаштоване з елементів брукування «фалка» (240x130x80 мм), а іншої – «подвійне Т» (200x165x80 мм).

Із розрахунків, що проведені за результатами експериментального вимірювання модуля пружності приладом INSPECTOR 3, отримано наступні деформативні характеристики покриттів із бетонних елементів брукування. Модуль пружності шару покриття з бетонної бруківки типу «фалка» розміри в мм (300x150x100), по котрій відсутній рух транспортних засобів становить 495,7 МПа. Однак шар покриття з такої ж бруківки («фалка» розміри в мм (300x150x100)), який регулярно сприймає навантаження рухомого транспорту (автотранспорту масою 5 т) становить 952,7 МПа. Очевидно дане явище спровоковане ущільненням матеріалу швів та ліпшої роботі механізму заземлення. Модуль пружності шару покриття з бетонної бруківки типу «фалка» розміри в мм (240x130x80), що сприймає навантаження від легкових автомобілів, становить 680,6 МПа. А модуль пружності шару покриття з бетонної бруківки типу «подвійне Т» розміри в мм (200x165x80), що сприймає навантаження від легкових автомобілів, становить 1008 МПа.

Після статистичної обробки результатів випробувань рекомендовано прийняти наступні розрахункові значення модулів пружності для шарів із бетонних елементів брукування:

- бетонна бруківка «фалка» розміри в мм (300x150x100) – 900 МПа;
- бетонна бруківка «фалка» розміри в мм (240x130x80) – 650 МПа;
- бетонна бруківка «подвійне Т» розміри в мм (200x165x80) – 900 МПа.

Ці характеристики рекомендується внести в норми по проектуванню дорожніх одягів нежорсткого типу.

### **Висновки**

Бруковані покриття необхідно використовувати в якості покриттів в конструкціях дорожніх одягів населених пунктів місцевого значення та ділянок

із рухом великовагових транспортних засобів. Для підвищення надійності та довговічності даного типу покриттів на всіх етапах життєвого циклу (проектування, будівництво та експлуатація) необхідно удосконалити нормативно-технічну базу. Дана база має ґрунтуватися на поєднанні теоретичного та практичного досвіду як вітчизняного так і закордонного. Дефекти, що виникають у процесі експлуатації КДО повинні аналізуватися з послідувачим коригуванням норм проектування, будівництва, експлуатації. На прикладі дослідних ділянок нами було виявлено ряд недоліків, які в майбутньому необхідно враховувати для запобігання їх подальшого повторення. За результатами випробувань визначено розрахункові деформативні характеристики брукованих шарів, що дає можливість розраховувати КДО із заданою надійністю.

На даний момент бруковані покриття влаштовуються переважно із бетонних елементів мощення висотою до 10 см. В подальшому необхідно збільшувати висоту каменів брукування для дорожніх покриттів під великовагові транспортні засоби із навантаженням на вісь 115-130 кН і більше, в тому числі для аеродромів. Це дасть можливість визначити їх розрахункові характеристики, та практично порівняти їх з монолітними цементобетонними покриттями.

#### **Література**

1. Grant M. History of Rome. – New York : Charles Scribner, 1978. – 537 p.
2. Рудюк В.В. Проектирование дорожных одежд многополосных городских улиц и дорог с учетом распределения транспортных нагрузок по проезжей части : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.14. – К., 1998. – 271 с.
3. Бабков В.Ф., Афанасьев М.Б., Васильев А.П., Дивочкин О.А., Залуга В.П., Иванов В.Н., Кашкин С.К., Кременец Ю.А., и др. Дорожные условия и режимы движения автомобилей. – М. : Транспорт, 1967. – 24 с.
4. Бесараб О.М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.11. – К., 2003. – 252 с.
5. Гамеляк І.П., Карафізі Л.М. Попередження руйнувань та деформацій брукованих покриттів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К. : НТУ, Випуск 90, Науково-технічний збірник, 2013. – С. 106–117.
6. СТБ ЕН 1338-2007. Камни мощения бетонные. Требования и методы испытаний. – Минск : Госстандарт, 2007. – 49с.
7. Huurman, M. Houben, L.J.M., Geense, C.W.A. and J.J.M. van der Vring. The upgraded dutch design method for concrete block road pavements. The 7th International Conference on Concrete Block Paving, Sun City, South Africa. Pave 2003. – 20 p.
8. РСВДО 01. Рекомендації по стандартизації влаштування верхніх шарів дорожнього одягу об'єктів транспортного будівництва. – Дрезден : Наукове товариство доріг і транспорту, 2001. – 71 с.
9. Mentlein H. Pflaster atlas. Planung, konstruktion und herstellung. – 2 Auflage. – Koln : Rudolf Muller, 2007. – 208 p.
10. Concrete block paving. – Midrand, South Africa: Concrete Manufacturers Association, 2009. – 32 p.
11. Иванов А.М. Моя профессия мостовщик. – Ленинград. : Стройиздат, 1970. – 88 с.

#### **Рецензенти:**

Жданюк В.К., д-р техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.  
Нагайчук В.М., канд. техн. наук, ДП "ДерждорНДІ".

#### **Reviewers:**

Zhdaniuk V.K., Dr. Tech. Sci., Kharkiv National Automobile and Highway University.  
Nahaichuk V.M. Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), "DerzhdorNDI".

Стаття надійшла до редакції: **10.08.2016 р.**