

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 частой 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
<ul style="list-style-type: none"> - мала товщина блоків мощення; - невідповідна конструкція примикання до колодезів; - відсутність передачі навантаження між блоками; - мала товщина основи під блоками; - слабкі ґрунти. 	<ul style="list-style-type: none"> - невідповідний склад суміші для блоків; - вміст пиловидних та глинистих фракцій в заповнювачі; - використання портландцементу низької якості; - метод виробництва елементів брукування; - невідповідна шорсткість блоків. 	<ul style="list-style-type: none"> - недоуцільнення матеріалів шарів одягу; - невідповідність проектним товщинам шарів одягу; - невиконання вимоги влаштування відповідного похилу; - незабезпечення бокового упору каменів брукування. 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 підмощування до люку колодязя; б) приклади руйнувань покриття викликаних невідповідністю конструкції спряження з колодязем.

При наявності колодязів біля них потрібно влаштовувати укріплені шари підмощення, так як це робили при влаштуванні мостових з природного каменю [2]. Підмощування дозволяє забезпечити механізм защемлення. А також потрібно удосконалити конструкцію спряження покриття з колодязем. Оскільки матеріал підстиляючих шарів вимивається водою створюючи порожнечу, 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 бруківання (розкришування)

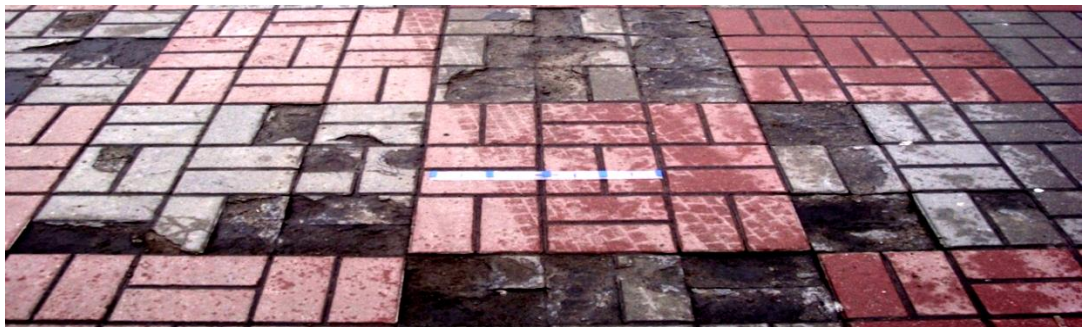


Рисунок 4 – Відшаровування лицевого шару



Рисунок 5 – Відколювання частин бетону з утворенням раковин

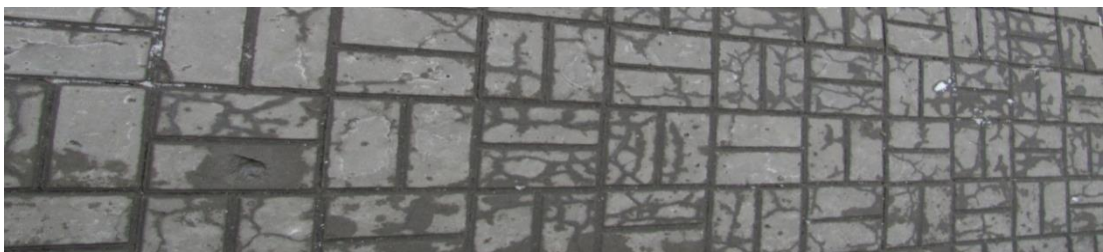


Рисунок 6 – Тріщини, що утворилися при порушенні температурного режиму тепловологісної обробки

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 протижеледних 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 протижеледною 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 брукування.

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 пилувато-глинисті частки та глина в грудках накопичують в собі вологу, котра при замерзанні відколює значні частини бетонних елементів брукування (рис. 5).

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



Рисунок 7 – Просідання брукованих покриттів

З технологічних причин під шаром брукованого покриття 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 брукованим покриттям 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 В30, на розтяг при згині – не менше B_{btb} 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 протижеледних солей ($NaCl$). Середнє значення втрати маси після випробування на замерзання/відтавання, має бути $\leq 1,0$ кг/м² при цьому повна відсутність окремих результатів $> 1,5$ кг/м². 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

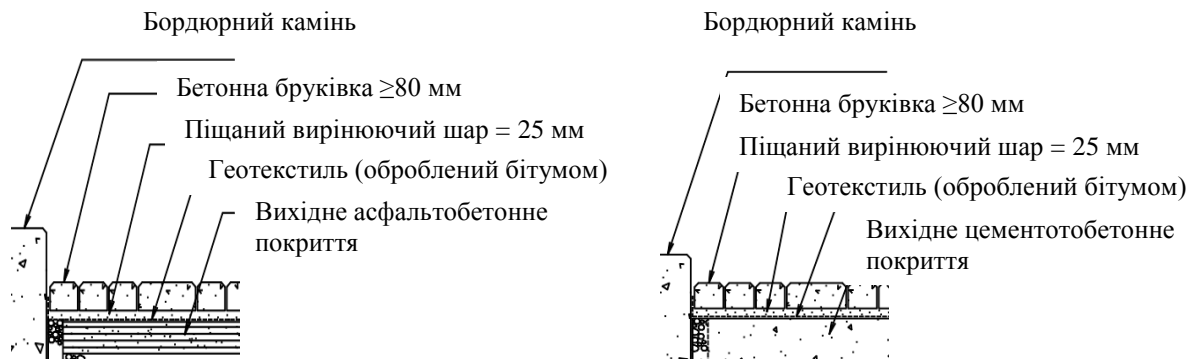


Рисунок 9 – Посилення існуючих покриттів штучними елементами мощення

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 професія 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 I. Проектування Частина II. Будівництво.