

Павлюк Д.О., д.т.н., професор
Шуляк І.С., аспірант
Національний транспортний університет, м. Київ

СПОСІБ ОЦІНЮВАННЯ КОЛІЄСТІЙКОСТІ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто спосіб оцінювання колієстійкості нежорстких дорожніх одягів, що полягає в аналізі розмірів і форми лунки, яка утворюється при повторному динамічному навантаженні поверхні дорожнього покриття сферичним штампом безпосередньо в польових умовах. За результатами експериментальних досліджень на дослідних ділянках виявлено залежності форми й глибини лунки від типу асфальтобетону і температури поверхні покриття. Встановлено, що колієстійкість дорожніх одягів визначається не тільки глибиною лунки після виконання серії ударів, а й здатністю дорожніх одягів відновлювати форму поверхні покриття після закінчення випробувань. Порівняно результати випробувань з фактичним станом ділянок за їх колійністю, що дає змогу зробити припущення про можливість застосування запропонованого способу для оцінювання колієстійкості дорожнього покриття та прогнозування можливості її виникнення в процесі подальшої експлуатації дороги, зокрема при пробному вкладанні асфальтобетону на стадії влаштування дорожнього одягу.

Ключові слова: нежорсткий дорожній одяг, транспортне навантаження, глибина лунки, серія ударів, лазерний профілограф.

Павлюк Д.А., д.т.н., професор
Шуляк І.С., аспірант
Національний транспортний університет, г. Киев

СПОСОБ ОЦЕНКИ КОЛЕЕСТОЙКОСТИ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассмотрен способ оценки колеестойкости нежестких дорожных одежд, заключающийся в анализе размеров и формы лунки, которая образуется при повторном динамическом нагружении поверхности дорожного покрытия сферическим штампом непосредственно в полевых условиях. За результатами экспериментальных исследований на опытных участках выявлены зависимости формы и глубины лунки от типа асфальтобетона и температуры поверхности покрытия. Установлено, что колеестойкость дорожных одежд определяется не только глубиной лунки после выполнения серии ударов, но и способностью дорожных одежд восстанавливать форму поверхности покрытия после окончания испытаний. Сравнено результаты испытаний с фактическим состоянием участков по их колеевости, что позволяет сделать предположение о возможности применения предложенного способа для оценки колеестойкости дорожного покрытия и прогнозирования возможности ее возникновения в процессе последующей эксплуатации дороги, в частности при пробном укладывании асфальтобетона на стадии устройства дорожной одежды

Ключевые слова: нежесткая дорожная одежда, транспортная нагрузка, глубина лунки, серия ударов, лазерный профилограф.

ASSESSMENT METHOD OF RESISTANCE TO RUTTING OF ROAD CONSTRUCTION

Known methods for evaluating resistance to asphalt rutting using laboratory facilities do not reflect the real stress-strain state road construction, as well as characteristics of the load does not correspond to the real conditions of road. Also investigated only a layer of asphalt pavement, which put on a metal base in a form that limits lateral deformation of the sample. In the real world track can be formed by deformation of bases or soil subgrade.

In the article refers to the method of assessment of resistance to rutting flexible pavements, based on analysis of the size and shape of the hole formed during repeated dynamic load spherical surface coating stamped directly on the road in the field.

In contrast to the known analogues way to simulate the long-term effect of transport loads on pavements in a short period of time.

Repeated stress created by the dynamic settings with falling load, such as using a unit measuring the strength of «Universal road measuring equipment» «URME-NTU», equipped with spherical stamp.

Installation of automated control system equipped with measurement processes allows you to perform a series of strikes any number of different intervals. This allows you to more fully recreate real mode of deformation of road structures exposed to traffic.

The size and shape of the hole recorded laser scanner, which consists of a beam on two supports and measuring carriage with a set of required sensors. The main working part of the device is a laser sensor mounted inside the measuring carriage.

The device scans and automatic recording marks in the surface coatings file. Thus, unlike the known analogues, the frequency of recording marks much more surface coverage (through ≈ 1 cm).

Testing method on test plots can detect shape and depth depending on the type of hole and the surface temperature of asphalt covering. Revealed the possibility of establishing such form the rutting hole.

Found that resistance to rutting pavements determined not only by the depth of the hole after a series of blows, but their ability to recover form the coating surface after its completion.

Comparison of test results with the actual condition of areas on rut allows you to make assumptions about the applicability of the proposed method for assessing resistance to rutting coatings and forecasting capabilities of its occurrence in the future period of operation of the road. It is advisable to use the method as a component of research at trial investing asphalt.

Keywords: *flexible pavement, traffic load, depth of wells, a series of shocks, laser profilograph.*

Вступ. Останнім часом у результаті постійного зростання інтенсивності руху і збільшення в складі транспортного потоку кількості великовагових транспортних засобів проблема колійності на автомобільних дорогах України набула загрозливого характеру (рис. 1).

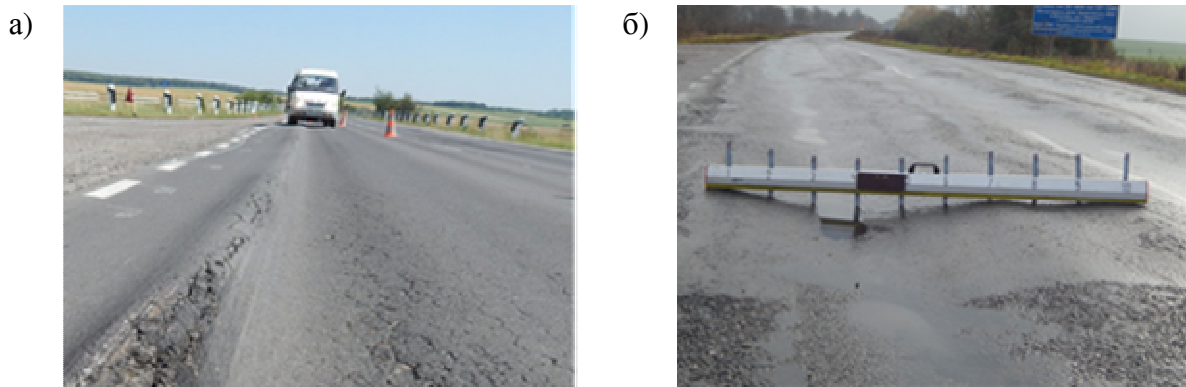


Рисунок 1 – Залишкові пластичні деформації у вигляді колії на автомобільних дорогах України: а – М-19; б – Р-32

Порушення поперечної рівності асфальтобетонного покриття у формі утворення колії створює небезпечні умови для руху автомобілів: підвищується ризик втрати управління автомобілем під час здійснення маневрів; застій води в колії може призводити до аквапланування коліс автомобіля і, як наслідок, до втрати управління автомобілем; у зимовий період є небезпека замерзання води в колії, а також ускладнюється ефективне видалення з колії сніжно-льодових відкладень, що збільшує зимову ковзкість у смузі накату та ін. [1].

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Найбільше піддаються впливу великовагових транспортних засобів верхні шари асфальтобетонного покриття [2, 3].

У наш час існує велика кількість методів оцінювання колієстійкості асфальтобетонних покриттів, які умовно можна поділити на дві основні групи: лабораторні та польові.

За кордоном стійкість асфальтобетонів до колієутворення в лабораторних умовах в основному оцінюють за допомогою методів, що моделюють колісне навантаження: метод із застосуванням установки прискореного навантаження (FHWA Accelerated Loading Facility – ALF); метод з використанням французького приладу для випробування покриттів на колієутворення (French Pavement Rutting Tester – FPRT); метод із застосуванням випробувальної установки навантаження колесом штату Джорджія (Georgia Loaded Wheel Tester – GLWT); метод з використанням німецького пристрою колієутворення (Hamburg Wheel Tracking Device – HWTD) та інше [4 – 8].

Згадані методи передбачають вимірювання колії в асфальтобетонному зразку після певної кількості проходів колеса з певним навантаженням. Відмінності полягають саме в типі колеса, через яке передається навантаження на зразок [9]. Так, у французькому приладі [6, 7] це пневматичне колесо, а в американському [8] – металеве.

Можна припустити, що результати колієутворення, отримані за допомогою пневматичного колеса, є більш достовірними, оскільки більшою мірою відображають вплив колеса автомобіля на покриття автомобільної дороги [9].

Останнім часом подібні установки широко використовуються і в країнах СНД. Так, у Росії розроблено установку для випробування асфальтобетону на колієутворення «УК-1» з пневматичним колесом [10]. В Україні проводять випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій з використанням установки, що має прогумоване або непрогумоване сталеве колесо [11 – 13].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Наскільки б лабораторні установки не були наближені до експлуатаційних умов роботи асфальтобетону, вони не в змозі відобразити реальний напружено-деформований стан дорожніх конструкцій, тому що час, швидкість і кількість прикладень розрахункового навантаження не відповідають фактичним умовам роботи автомобільної дороги [14]. Питання оцінювання колієстійкості нежорстких дорожніх одягів з асфальтобетонним покриттям у реальних умовах на конкретних ділянках автомобільних доріг на цей час залишається не вирішеним.

Мета дослідження полягає в тому, що для попередження виникнення колійності на автомобільних дорогах необхідно розробити спосіб оцінювання схильності реальних дорожніх одягів до накопичення залишкових пластичних деформацій.

З метою реалізації поставленої мети потрібно розробити пристрій, який дозволить у польових умовах створити навантаження на дорожній одяг, а потім оцінити величину та характер пластичних деформацій покриття, що виникають під цим навантаженням.

Основний матеріал і результати дослідження. Проблему створення навантаження можна розв'язати шляхом удавлювання в покриття жорсткого металевого штампа. Подібний спосіб набув широкого розповсюдження в процесі оцінювання реологічних властивостей литих асфальтобетонних сумішей. Основним показником, що характеризує стійкість литого асфальтобетону до накопичення пластичних деформацій, є глибина вдавлювання плоского штампа циліндричної форми площею $5,0 \text{ см}^2$ при температурі $+40^\circ\text{C}$. Визначення цього показника здійснюється в лабораторних умовах з використанням спеціального лабораторного устаткування [15] шляхом випробування зразків кубоподібної форми розміром $7,07 \times 7,07 \times 7,07 \text{ см}$. Методика проведення цих випробувань у європейських країнах (EN 12697-20:2012 [16]) та в Росії (ГОСТ Р54400-2011 [17]) фактично нічим не відрізняється.

Відомі дослідження з удавлювання в конструктивні шари дорожніх одягів сферичних штампів під дією статичного навантаження в польових умовах [18 – 20].

Подібні випробування досить трудомісткі, потребують значних затрат часу та використання джерела навантаження. Крім того, випробувальне обладнання досить важке та громіздке. Ще одним суттєвим недоліком статичних випробувань є неможливість створення циклічного навантаження на дорожній одяг, яке найбільш повно імітує дію рухомого транспорту.

Тому доцільно використовувати для цих цілей динамічні установки з падаючим вантажем [21], які позбавлені вищезгаданих недоліків. Серед вітчизняного обладнання цього типу існує можливість застосування вузла вимірювання міцності установки «УДВО-НТУ» [22], обладнаного сферичним штампом (рис. 2).

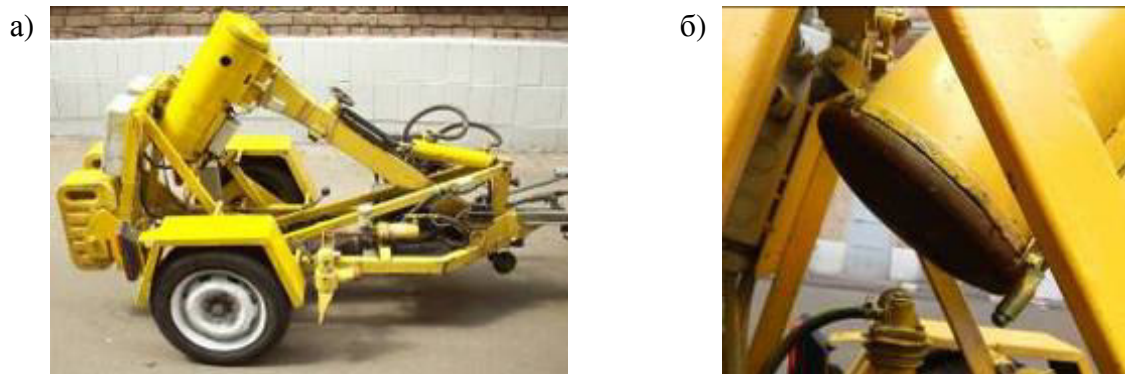


Рисунок 2 – Універсальне дорожнє вимірювальне обладнання «УДВО-НТУ»:

а – загальний вигляд установки;

б – вузол вимірювання міцності, обладнаний сферичним штампом

Така установка обладнана автоматизованою системою керування вимірювальними процесами [22], що дозволяє виконати серію ударів будь-якої кількості з різними інтервалами часу. Це дає змогу найбільш повно відтворити реальний напружено-деформований стан дорожніх конструкцій при дії на них рухомого транспорту.

Величину та характер залишкових пластичних деформацій покриття, викликаних ударним навантаженням, у польових умовах можна оцінити за допомогою рейок, геодезичних приладів [23, 10], ультразвукових і лазерних профілографів [23 – 28], ручних цифрових вимірювачів, що дозволяють виконувати статичні вимірювання поперечного профілю шляхом безперервної реєстрації відхилень датчика, який переміщується вздовж рейки [26, 29, 30].

У Національному транспортному університеті розроблено лазерний профілограф для сканування поверхні дорожнього покриття (рис. 3) [31].



Рисунок 3 – Прилад «Коліємір-НТУ»

Прилад складається з балки на двох опорах і вимірювальної каретки з комплектом необхідних датчиків. Основним робочим елементом приладу є лазерний датчик, встановлений усередині вимірювальної каретки.

Прилад здійснює сканування та автоматичний запис відміток поверхні покриття у файл, який зберігається в комп'ютері. При цьому, на відміну від відомих аналогів, частота запису відміток поверхні покриття набагато більша (через ≈ 1 см). У результаті випробувань отримуємо детальний профіль поверхні покриття.

На дослідних ділянках на території Київської області (як з наявністю, так і відсутністю залишкових пластичних деформацій у вигляді колії) було проведено ряд експериментальних досліджень щодо оцінювання колієстійкості нежорстких дорожніх одягів у польових умовах (рис. 4) [32].

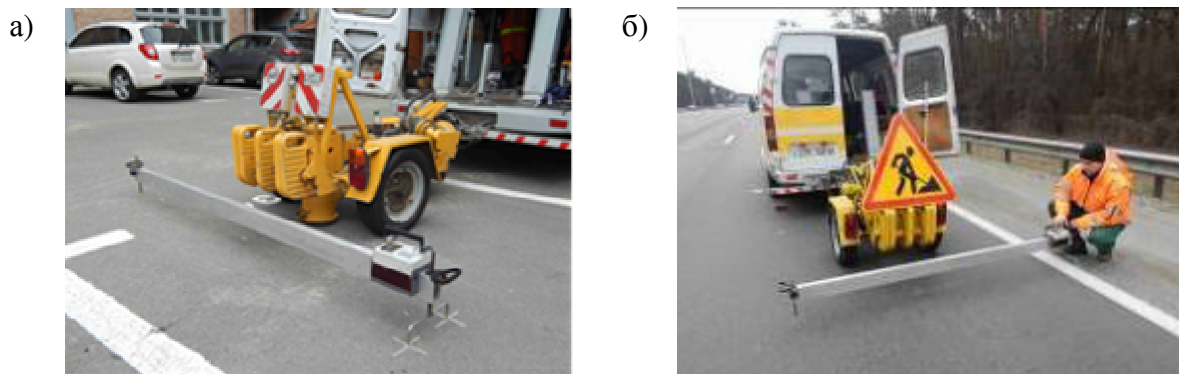


Рисунок 4 – Експериментальні дослідження колієстійкості дорожніх одягів

Дослідження виконувались на ділянках доріг з різноманітними конструкціями нежорстких дорожніх одягів у різні пори року як при високих, так і низьких температурах на поверхні покриттів. Детальна схема розміщення дослідних ділянок наведена на рис. 5.

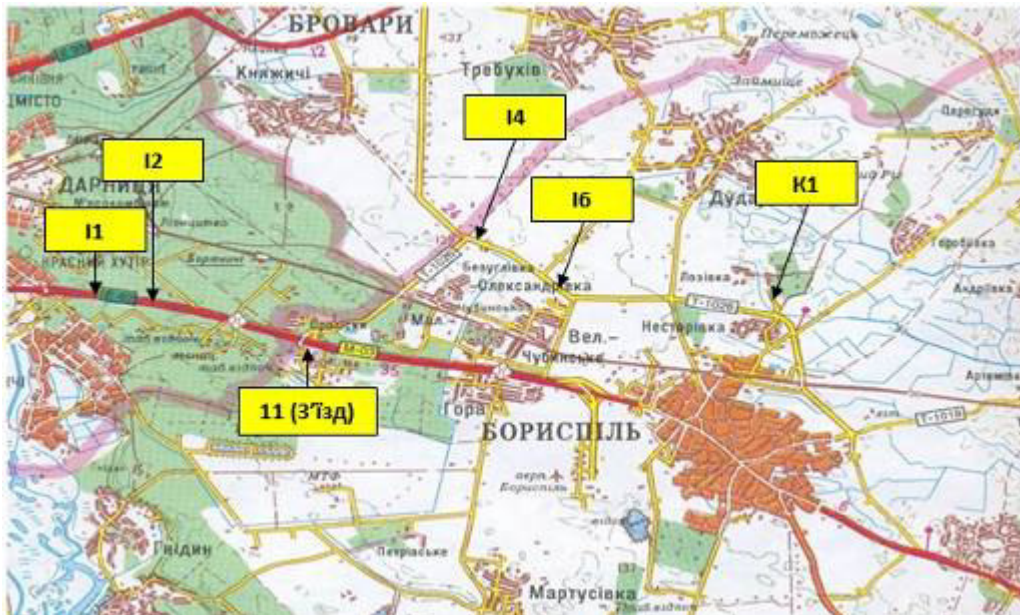


Рисунок 5 – Розміщення дослідних ділянок

Методика проведення експериментальних досліджень полягала у наступному. За допомогою лазерного профілографа фіксували поперечний профіль поверхні покриття до навантаження. При цьому на поперечному профілі обирали точку для подальших навантажень, яку позначали на поверхні покриття фарбою. Також на поверхні покриття фарбою фіксували положення опор профілографа з метою забезпечення можливості повторного сканування цього ж профілю після здійснення серії ударних навантажень.

Установивши прилад «УДВО-НТУ» так, щоб сферичний штамп ударника розміщувався в точці навантаження, здійснювали серію ударів, після яких на покритті залишалася лунка (рис. 6).



Рисунок 6 – Лунка на покритті, що утворилася після серії ударних навантажень

Зміни поперечного профілю лунки після кожного удару фіксували за допомогою лазерного профілографа. У результаті отримали графіки залежностей глибини та параметрів поперечного профілю лунки від кількості ударів, які наведено на рис. 7 – 11.

У процесі проведення експериментальних досліджень розглядалося питання впливу температури поверхні покриття на розміри лунки.

На ділянці «11 (з'їзд)», розміщеній на з'їзді автомобільної дороги М03 Київ – Харків – Довжанський, з однаковою конструкцією дорожнього одягу та відстанню між точками не більше 10 м були виконані три серії випробувань при температурах поверхні покриття $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно. Отримані результати випробувань наведено на рис. 7.

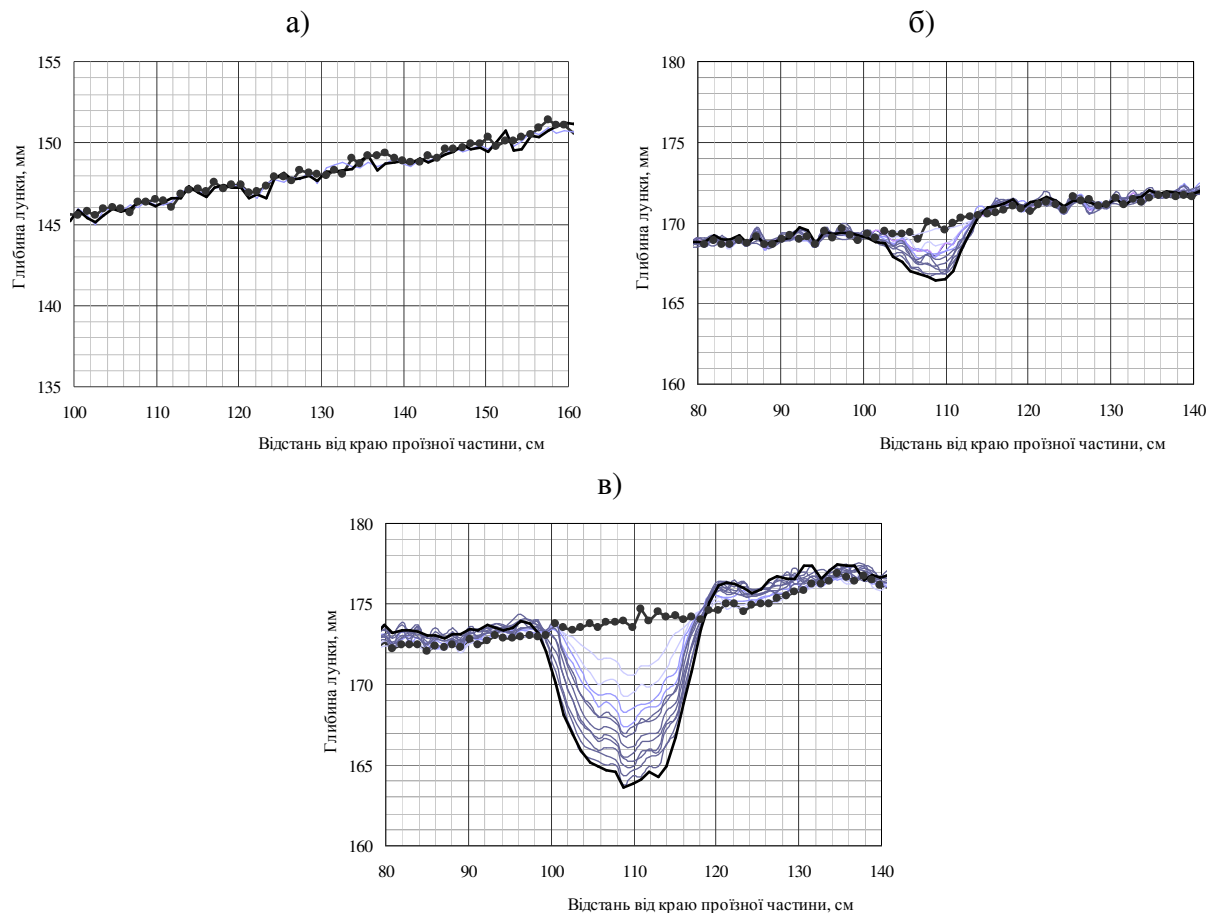


Рисунок 7 – Результати досліджень впливу температури на розміри лунки
 (суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття;
 суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів)
 при температурі покриття: а – $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$; б – $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$; в – $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$

З рис. 7, а видно, що при температурі $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ лунки не утворюється, тобто колієстійкість покриття забезпечена. При цьому максимальна глибина лунки з підвищенням температури покриття збільшується. Так, при температурі $+33\text{ }^{\circ}\text{C}$ глибина лунки після 13 ударів становила 3,5 мм, а при температурі $+54\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 10,5 мм відповідно. Тобто цей метод чутливий до температури поверхні покриття, що дає можливість оцінити колієстійкість нежорстких дорожніх одягів залежно від температури.

У процесі подальших досліджень на дослідній ділянці, розміщеній у дворі НТУ, виявили вплив температури поверхні покриття не тільки на глибину, а й на форму лунки (рис. 8).

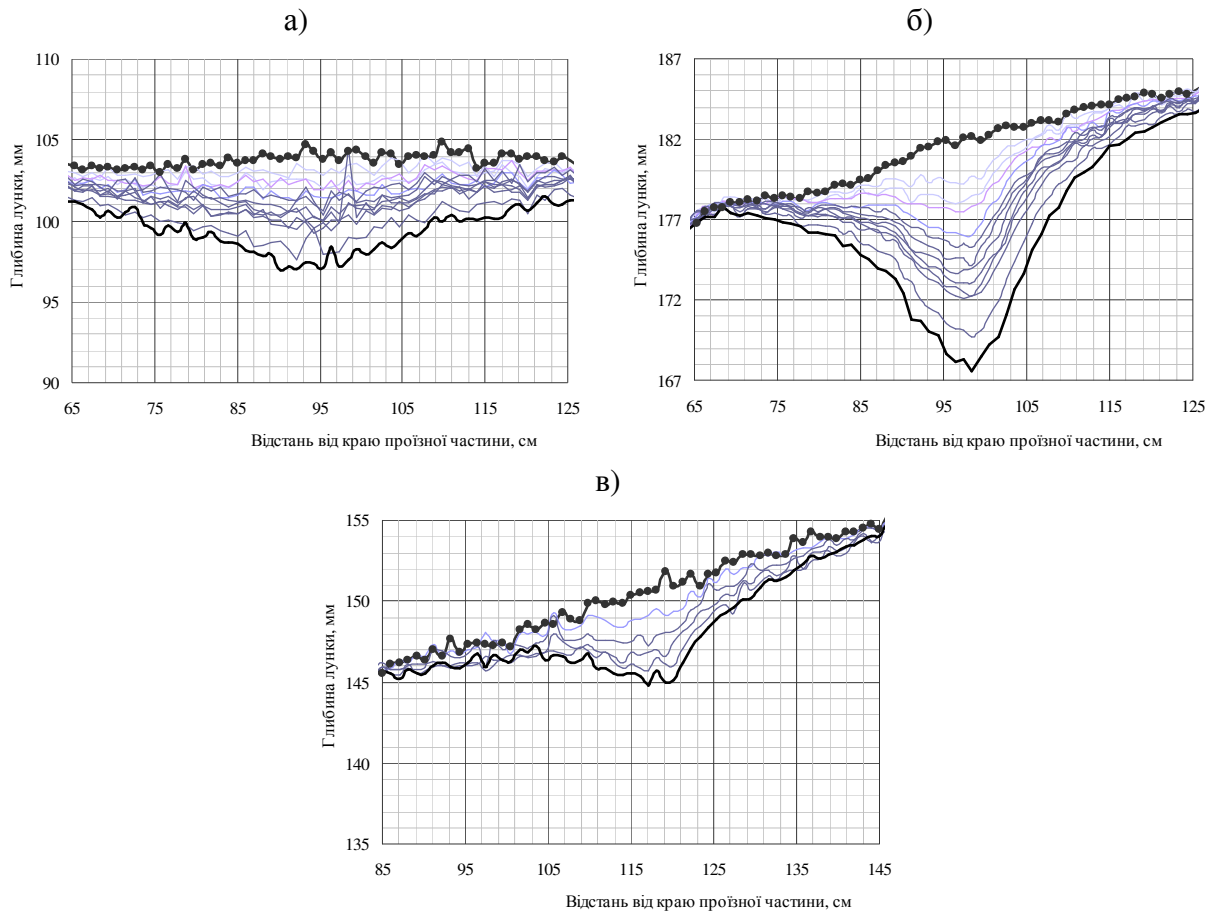


Рисунок 8 – Результати досліджень впливу температури на форму лунки
 (суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття;
 суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів)
 при температурі покриття: а – +8 °С; б – +30 °С; в – +39 °С

Так, при температурі поверхні покриття +8 °С схили лунки є більш пологими. Крутизна схилів збільшується з підвищенням температури (рис. 8, б, в).

За формою лунки можна оцінити тип колійності, який залежить від жорсткості основи дорожнього одягу. Так, на дослідній ділянці «К1» (рис. 9, а) з покриттям у вигляді поверхневої обробки по верху шару чорного щебеню та основою низької міцності, випори не спостерігаються. Цього не можна сказати про ділянку «І2» з покриттям у вигляді кількох шарів дрібнозернистого асфальтобетону та жорсткою основою (рис. 9, б). На цій ділянці лунка має по краях випори внаслідок випирання асфальтобетону (рис. 9, б).

У результаті проведення досліджень на дослідній ділянці «І1», розміщеній на 19 км автомобільної дороги М-03, при температурі поверхні покриття +38 °С лунки не спостерігалося (рис. 10, а).

Лунка не утворилась і при випробуваннях на дослідній ділянці «І7», розміщеній на 38 км автомобільної дороги М-06, при температурі поверхні покриття +35 °С (рис. 10, б).

Це свідчить про високу міцність конструкцій дорожніх одягів, а також пояснюється застосуванням для будівництва шарів покриття щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей.

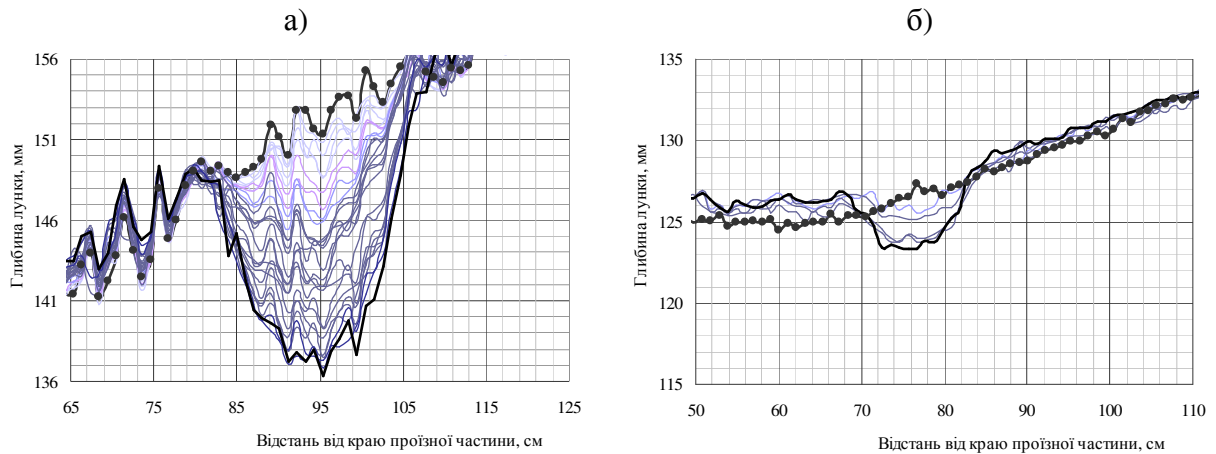


Рисунок 9 – Результати досліджень на ділянках доріг з різними конструкціями дорожніх одягів
 (суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів):
 а – з покриттям у вигляді поверхневої обробки та слабкою основою;
 б – з покриттям у вигляді кількох шарів дрібнозернистого асфальтобетону та жорсткою основою

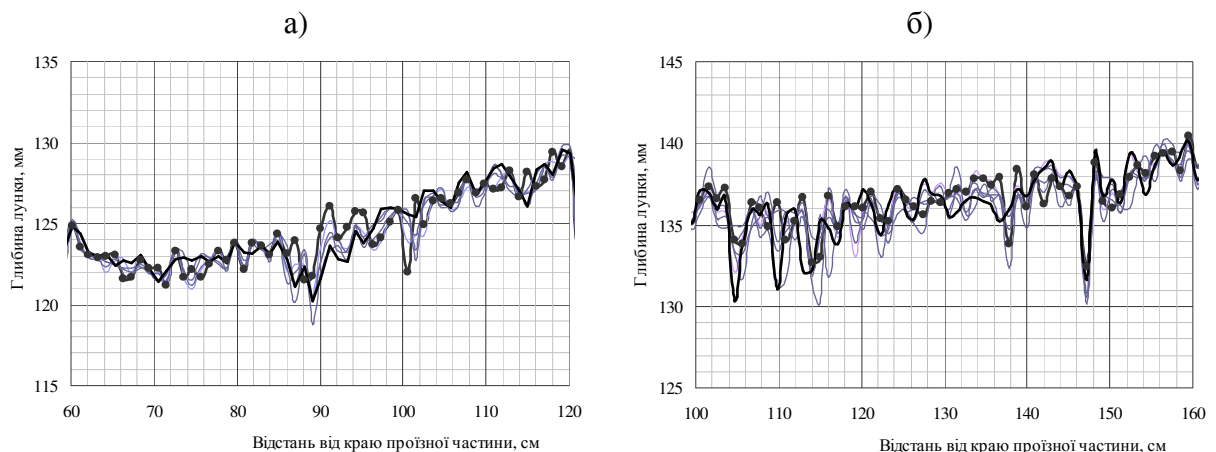


Рисунок 10 – Результати досліджень на ділянках доріг з покриттям із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей
 (суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття; суцільні лінії без маркерів – після нанесення ударів):
 а – на ділянці автодороги М-03; б – на ділянці автодороги М-06

У процесі експериментальних досліджень було виявлено ще одну цікаву особливість поведінки асфальтобетону, пов'язану з відновленням форми лунки після припинення ударів.

Ця особливість була помічена при дослідженні відновлення форми лунки протягом 35 – 40 хв. На рис. 11, б показано, що на ділянці «І4», після остаточного припинення ударів лунка не відновилася, а на ділянці «І6» з таким же типом покриття вона відновилася на 60 % (рис. 11, а).

При цьому на ділянці «І4» спостерігалася значна колія на покритті, а на ділянці «І6» колія була відсутня.

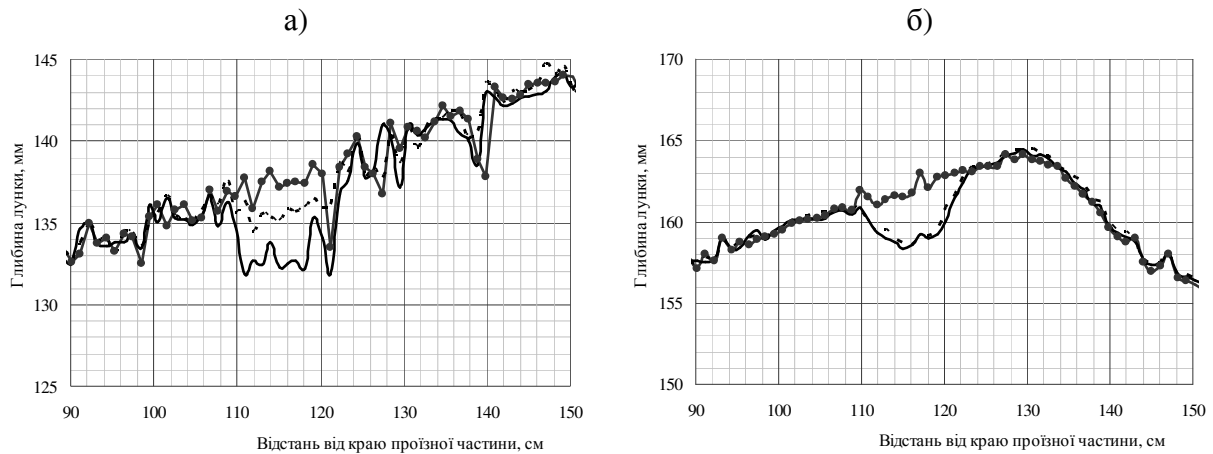


Рисунок 11 – Результати досліджень відновлення форми лунки після припинення ударів

(суцільна лінія з маркерами – початковий стан поверхні покриття;
без маркерів – після нанесення ударів;

штрихова лінія – відновлення через 40 хв) на дослідних ділянках: а – «I6»; б – «I4»

Висновки. Наведені результати вказують на те, що колієстійкість дорожніх одягів визначається не тільки глибиною лунки після виконання серії ударів, а й їх здатністю відновлювати форму поверхні покриття після закінчення ударів. Отже, розроблена методика дає можливість оцінити колієстійкість не тільки за глибиною та параметрами лунки, а й за характером відновлення поверхні покриття після серії ударів.

Загальні висновки по роботі:

1. Відомі методи оцінювання стійкості асфальтобетонів до колієутворення за допомогою лабораторних установок не в змозі відобразити реальний напружено-деформований стан дорожніх конструкцій, тому що час, швидкість і кількість прикладань розрахункового навантаження не відповідають фактичним умовам роботи. Крім того, досліджується лише шар асфальтобетонного покриття, який вкладають на металеву основу у форму, що обмежує поперечні деформації зразка. У реальних умовах колія може утворюватися за рахунок деформації основи чи ґрунту земляного полотна.

2. Розроблено спосіб оцінювання колієстійкості нежорстких дорожніх одягів, що полягає в аналізі розмірів і форми лунки, яка утворюється при повторному динамічному навантаженні поверхні дорожнього покриття сферичним штампом безпосередньо в польових умовах. На відміну від відомих аналогів, спосіб дозволяє моделювати тривалу дію транспортних навантажень на дорожній одяг за короткий проміжок часу.

3. Виконано апробацію запропонованого способу оцінювання колієстійкості на дослідних ділянках. Установлено залежності форми і глибини лунки від типу асфальтобетону й температури поверхні покриття. Виявлено можливість установлення типу колійності за формою лунки.

4. Досліджено поведінку дорожніх конструкцій після повторних динамічних навантажень. Виявлено, що колієстійкість дорожніх одягів визначається не тільки глибиною лунки після виконання серії ударів, а й здатністю їх відновлювати форму поверхні покриття після її закінчення.

5. Порівняння результатів випробувань з фактичним станом ділянок за колійністю дає змогу зробити припущення про можливість застосування запропонованого способу для оцінювання колієстійкості покриття та прогнозування можливості її виникнення в процесі майбутнього періоду експлуатації дороги. Доцільне також застосування способу як складової досліджень при пробному вкладанні асфальтобетону.

Література

1. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів / А. М. Онищенко, В. Ф. Невінгловський, М. В. Гаркуша, О. С. Різніченко, С. Ю. Аксьонов, О. О. Білан // Вісник Донбаської національної академії будівництва та архітектури. – Макіївка : ДонНАБА, 2013. – Вип. 1 (99). – С. 58 – 65.
http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=vdnaba_2013_1_12
2. Schäfer F. Asphaltbeanspruchung aus Beschleunigungsvorgängen / F. Schäfer // Dissertation von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs. – 2009. – 127 s.
3. Brown E. R. A national study of rutting in hot mix asphalt pavements / E. R. Brown, S. A. Cross. – Auburn: Auburn University, National Center for Asphalt Technology, 1992. – 41 p.
4. Обзорная информация об отечественных и зарубежных методах предотвращения колеобразования на асфальтобетонных покрытиях в условиях современных транспортных нагрузок. – М. : Росавтодор, 2005. – 130 с.
5. Проектирование состава асфальтобетона и методы его испытаний. Обзорная информация / Информавтодор. – 2005. – Вып. 6. – 104 с.
6. Aschenbrener T. Comparison of Results Obtained from the French Tester with Pavements of Known Performance / T. Aschenbrener, K. Stuart. – Denver: Colorado Department of Transportation, 1992. – 71 p.
7. Sybilski D. Validation of empirical test for polymer-modified bitumens / D. Sybilski // Eurobitume workshop. – 1999. – № 88. – P. 19 – 22.
8. Prithvi S. K. Evaluation of permanent deformation of asphalt mixtures using Loaded Wheel Tester / K. S. Prithvi, Jr. L. Allen Cooley. – Auburn: Auburn University, National Center for Asphalt Technology, 2002. – 16 p.
9. Золотарев В. А. Сравнение показателей сдвигоустойчивости при кручении и колеобразовании / В. А. Золотарев, Д. Сибильски, С. А. Чугуенко // Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університету. – Х. : ХНАДУ, 2005. – Вып. 29. – С. 255 – 258.
<http://www.khadi.kharkov.ua/nauka/naukovo-doslidna-chastina/naukovi-vidannja/visnik-kharkivskogo-nacionalnogo-avtomobilno-dorozhnogo-universitetu.html>
10. Каталог продукции ООО «Спецдортехника». – Саратов: ООО «Спецдортехника», 2015. – 64 с.
11. Випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій / В. В. Мозговий, О. М. Куцман, Б. Ю. Ольховий, О. С. Кирієнко // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожного університету. – Х. : ХНАДУ, 2008. – Вип. 40. – С. 73 – 76.
<http://www.khadi.kharkov.ua/nauka/naukovo-doslidna-chastina/naukovi-vidannja/visnik-kharkivskogo-nacionalnogo-avtomobilno-dorozhnogo-universitetu.html>
12. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи / В. В. Мозговой, А. Н. Онищенко, А. В. Прудкий и др. // Каталог-справочник «Дорожная техника – 2010». – 2010. – С. 114 – 128.
13. Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій: СОУ 45.02-00018112-020:2009. – [Чинний від 2009-03-01]. – К. : Укравтодор, 2009. – 14 с.
14. Матуа В. П. Новое лабораторное оборудование и методика проведения испытаний дорожно-строительных материалов / В. П. Матуа, С. А. Мирончук // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2012. – № 4. – С. 16 – 18.
15. Каталог продукции компании «InfraTest». – М. : Компания Би Эй Ви, 2015. – 32 с.
16. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 20: Indentation using cube or cylindrical specimens (CY): EN 12697-20:2012. – [Publication Date 2012-02-26]. – Brussels: European Committee for Standardization, 2012. – 22 p. – (European standard).

17. Дороги автомобильные общего пользования. Асфальтобетон дорожный литой горячий. Методы испытаний: ГОСТ Р54400-2011. – [Введен с 2011-09-14]. – М. : Стандартинформ, 2012. – 14 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
18. Еремин А. В. Эксплуатационно-прочностные свойства шлаковых асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Андрей Владимирович Еремин. – Воронеж, ВГАСУ, 2000. – 19 с.
19. Волокитин В. П. Определение деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонных слоев нежестких дорожных одежд: дис. ... к-та техн. наук: 05.23.11 / Владимир Павлович Волокитин. – Воронеж, ВГАСУ, 2004. – 195 с.
20. Волокитина О. А. Совершенствование определения расчетных характеристик слоев дорожных одежд методом сферического штампа: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Ольга Анатольевна Волокитина. – Воронеж, ВГАСУ, 2012. – 18 с.
21. Шуляк І. С. Дослідження поведінки нежорстких дорожніх одягів при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження / І. С. Шуляк, Д. О. Павлюк // Матеріали Всеукр. Інтернет-конф. «Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій» (18.03.2015). – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – С. 232 – 235.
22. Універсальне дорожнє вимірювальне обладнання «УДВО-НТУ» / Д. О. Павлюк, О. С. Лебедев, В. В. Павлюк, В. В. Павлюк, Л. Л. Рибіцький та ін. // Автошляховик України. – 2011. – № 1. – С. 40 – 48.
http://www.nbuu.gov.ua/old_jrn/natural/Ashu/2011_1/zmist.htm
23. Леонович И. И. Диагностика автомобильных дорог: учебно-методическое пособие для студентов специальности «Автомобильные дороги» / И. И. Леонович, С. В. Богданович. – Минск: БНТУ, 2012. – 226 с.
24. Le matériel LPC. –Paris : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1997. – 132 p.
25. Соловчук А. А. Автоматизированные методы измерения глубины колеи и использование их результатов при планировании ремонтных работ / А. А. Соловчук // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2000. – № 3. – С. 34 – 35.
26. Жилин С. Н. Современные автоматизированные технические средства диагностики автомобильных дорог. Обзорная информация / С. Н. Жилин, В. И. Ермолаев // Информавтодор. – 2002. – № 5. – 60 с.
27. Sixbey D. G. It makes More than Mirrors to See Your «True Profile» / D. G. Sixbey // Public Roads. – 1998. – Vol. 61, № 5. – P. 36 – 39.
28. Farnell L. Road Measurement Data Acquisition System User's Guide / L. Farnell. – North Mymms, Hatfield (UK), 1996. – 36 p.
29. Field Evaluation of Automated Rutting Measuring Equipment / P. A. Serigos, J. A. Prozzi, B. H. Nam, M. R. Murphy. – Austin: The University of Texas at Austin, Center for Transportation Research, 2012. – 170 p.
30. Hoffman B. R. Verification of Rut Depth Collected with the INO Laser Rut Measurement System (LRMS) / B. R. Hoffman, S. M. Sargand. – Athens: Ohio University, Ohio Research Institute for Transportation and the Environment (ORITE), 2011. – 80 p.
31. Результати наукової та дослідно-конструкторської роботи лабораторії автомобільних доріг та аеродромів Національного транспортного університету / Д. О. Павлюк, В. В. Павлюк, В. В. Павлюк, О. С. Лебедев, А. П. Іващенко та ін. // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31). – С. 401 – 414.
http://www.irbis-nbuu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuu/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=juu_all&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=REF=&S21COLORTERMS=0&S21STR=Vntu
32. Шуляк І. С. Контроль стійкості дорожніх одягів до колієутворення / І. С. Шуляк // Тези XII Міжнар. конф. «Контроль і управління в складних системах» (14–17.10.2014). – Вінниця : ВНТУ, 2014. – С. 73.

References

1. Zahodi z pidvishchennya koliestiykosti asfaltobetonogo pokryttya avtomobilnih dorog z intensivnim ruhom velikovantazhnyh transportnyh zasobiv / A. M. Onishchenko, V. F. Nevinglovskiy, M. V. Garkusha, O. S. Riznichenko, S. Yu. Aksonov, O. O. Bilan // *Visnik Donbaskoyi natsionalnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi*. – Makiyivka : DonNABA, 2013. – Vip. 1 (99). – S. 58 – 65.
http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=vdnaba_2013_1_12
2. Schäfer F. Asphaltbeanspruchung aus Beschleunigungsvorgängen / F. Schäfer // *Dissertation von der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs*. – 2009. – 127 s.
3. Brown E. R. A national study of rutting in hot mix asphalt pavements / E. R. Brown, S. A. Cross. – Auburn: Auburn University, National Center for Asphalt Technology, 1992. – 41 p.
4. Obzornaya informatsiya ob otechestvennyh i zarubezhnyh metodah predotvrashcheniya koleeobrazovaniya na asfaltobetonnyh pokrytyah v usloviyah sovremennyh transportnyh nagruzok. – M. : Rosavtodor, 2005. – 130 s.
5. Proektirovanie sostava asfaltobetona i metody ego ispytaniy. Obzornaya informatsiya / *Informavtodor*. – 2005. – Vyp. 6. – 104 s.
6. Aschenbrener T. Comparison of Results Obtained from the French Tester with Pavements of Known Performance / T. Aschenbrener, K. Stuart. – Denver: Colorado Department of Transportation, 1992. – 71 p.
7. Sybilski D. Validation of emperical test for polymer-modified bitumens / D. Sybilski // *Eurobitume workshop*. – 1999. – № 88. – P. 19 – 22.
8. Prithvi S. K. Evaluation of permanent deformation of asphalt mixtures using Loaded Wheel Tester / K. S. Prithvi, Jr. L. Allen Cooley. – Auburn: Auburn University, National Center for Asphalt Technology, 2002. – 16 p.
9. Zolotarev V. A. Sravnenie pokazateley sdvigoustoychivosti pri kruchenii i koleeobrazovanii / V. A. Zolotarev, D. Sibilski, S. A. Chuguenko // *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*. – H. : HNADU, 2005. – Vyp. 29. – S. 255 – 258.
<http://www.khadi.kharkov.ua/nauka/naukovo-doslidna-chastina/naukovi-vidannja/visnik-kharkivskogo-nacionalnogo-avtomobilno-dorozhnogo-universitetu.html>
10. Katalog produktsii OOO «Spetsdortehnika». – Saratov: OOO «Spetsdortehnika», 2015. – 64 s.
11. Viprobuvannya asfaltobetonu na stiykist do nakopichennya zalishkovih deformatsiy / V. V. Mozgoviy, O. M. Kutsman, B. Yu. Olhoviy, O. S. Kirienco // *Visnik Harkivskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universitetu*. – H. : HNADU, 2008. – Vip. 40. – S. 73 – 76.
<http://www.khadi.kharkov.ua/nauka/naukovo-doslidna-chastina/naukovi-vidannja/visnik-kharkivskogo-nacionalnogo-avtomobilno-dorozhnogo-universitetu.html>
12. Eksperimentalnaya otsenka ustoychivosti asfaltobetonogo pokrytya k obrazovaniyu koleynosti / V. V. Mozgovoy, A. N. Onishchenko, A. V. Prudkiy i dr. // *Katalog-spravochnik «Dorozhnaya tehnika – 2010»*. – 2010. – S. 114 – 128.
13. Budivelni materialy. Asfaltobeton dorozhniy. Metod viprobuvannya na stiykist do nakopichennya zalishkovih deformatsiy: SOU 45.02-00018112-020:2009. – [Chinniy vid 2009-03-01]. – K. : Ukravtodor, 2009. – 14 s.
14. Matua V. P. Novoe laboratornoe oborudovanie i metodika provedeniya ispytaniy dorozhno-stroitelnyh materialov / V. P. Matua, S. A. Mironchuk // *Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli*. – 2012. – № 4. – S. 16 – 18.
15. Katalog produktsii kompanii «InfraTest». – M. : Kompaniya Bi Ey Vi, 2015. – 32 s.
16. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 20: Indentation using cube or cylindrical specimens (CY): EN 12697-20:2012. – [Publication Date 2012-02-26]. – Brussels: European Committee for Standardization, 2012. – 22 p. – (European standard).
17. Dorogi avtomobilnye obshchego polzovaniya. Asfaltobeton dorozhniy litoy goryachiy. Metody ispytaniy: GOST R54400-2011. – [Vveden s 2011-09-14]. – M. : Standartinform, 2012. – 14 s. – (Natsionalny standart Rossiyskoy Federatsii).

18. Eremin A. V. *Ekspluatatsionno-prochnostnye svoystva shlakovykh asfaltobetonnykh pokrytiy avtomobilnykh dorog: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.11 / Andrey Vladimirovich Eremin. – Voronezh, VGASU, 2000. – 19 s.*
19. Volokitin V. P. *Oprezhenie deformatsionno-prochnostnykh harakteristik asfaltobetonnykh sloev nezhestkiy dorozhnykh odezhd: dis. ... k-ta tehn. nauk: 05.23.11 / Vladimir Pavlovich Volokitin. – Voronezh, VGASU, 2004. – 195 s.*
20. Volokitina O. A. *Sovershenstvovanie opredeleniya raschetnykh harakteristik sloev dorozhnykh odezhd metodom sfericheskogo shtampa: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.11 / Olga Anatolevna Volokitina. – Voronezh, VGASU, 2012. – 18 s.*
21. Shulyak I. S. *Doslidzhennya povedinki nezhorstkiy dorozhnykh odyagiv pri vzaemodiyi zi shtampom ustanovki dinamichnogo navantazhennya / I. S. Shulyak, D. O. Pavlyuk // Materiali Vseukr. Internet-konf. «Problemi i perspektivi stalogo rozvittu ta prostorovogo planuvannya teritoriy» (18.03.2015). – Poltava : PolNTU, 2015. – S. 232 – 235.*
22. *Universalne dorozhne vimiryuvalne obladdannya «UDVO-NTU» / D. O. Pavlyuk, O. S. Lebedev, V. V. Pavlyuk, V. V. Pavlyuk, L. L. Ribitskiy ta in. // Avtoshlyahovik Ukraini. – 2011. – № 1. – S. 40 – 48.*
http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/Ashu/2011_1/zmist.htm
23. Leonovich I. I. *Diagnostika avtomobilnykh dorog: uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov spetsialnosti «Avtomobilnye dorogi» / I. I. Leonovich, S. V. Bogdanovich. – Minsk: BNTU, 2012. – 226 s.*
24. *Le matériel LPC. – Paris : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1997. – 132 p.*
25. Solovchuk A. A. *Avtomatizirovannyye metody izmereniya glubiny kolei i ispolzovanie ih rezultatov pri planirovanii remontnykh rabot / A. A. Solovchuk // Nauka i tehnika v dorozhnoy otrasli. – 2000. – № 3. – S. 34 – 35.*
26. Zhilin S. N. *Sovremennyye avtomatizirovannyye tehnikheskie sredstva diagnostiki avtomobilnykh dorog. Obzornaya informatsiya / S. N. Zhilin, V. I. Ermolaev // Informavtodor. – 2002. – № 5. – 60 s.*
27. Sixbey D. G. *It makes More than Mirrors to See Your «True Profile» / D. G. Sixbey // Public Roads. – 1998. – Vol. 61, № 5. – P. 36 – 39.*
28. Farnell L. *Road Measurement Data Acquisition System User's Guide / L. Farnell. – North Mymms, Hatfield (UK), 1996. – 36 p.*
29. *Field Evaluation of Automated Rutting Measuring Equipment / P. A. Serigos, J. A. Prozzi, B. H. Nam, M. R. Murphy. – Austin: The University of Texas at Austin, Center for Transportation Research, 2012. – 170 p.*
30. Hoffman B. R. *Verification of Rut Depth Collected with the INO Laser Rut Measurement System (LRMS) / B. R. Hoffman, S. M. Sargand. – Athens: Ohio University, Ohio Research Institute for Transportation and the Environment (ORITE), 2011. – 80 p.*
31. *Rezultati naukovoyi ta doslidno-konstruktorskoyi roboti laboratoriyi avtomobilnykh dorog ta aerodromiv Natsionalnogo transportnogo universitetu / D. O. Pavlyuk, V. V. Pavlyuk, V. V. Pavlyuk, O. S. Lebedev, A. P. Ivashchenko ta in. // Visnik Natsionalnogo transportnogo universitetu. – K. : NTU, 2015. – Vip. 1 (31). – S. 401 – 414.*
http://www.irbis-nbu.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbu/cgiirbis_64.exe?Z2IID=&I2IDBN=UJRN&P2IDBN=UJRN&S2ISTN=1&S2IREF=10&S2IFMT=juu_all&C2ICOM=S&S2ICNR=20&S2IP01=0&S2IP02=0&S2IP03=PREF=&S2ICOLORTERMS=0&S2ISTR=Vntu
32. Shulyak I. S. *Kontrol stiykosti dorozhnykh odyagiv do kolieutvorennya / I. S. Shulyak // Tezi XII Mizhnar. konf. «Kontrol i upravlinnya v skladnih sistemah» (14–17.10.2014). – Vinnitsya : VNTU, 2014. – S. 73.*

© Павлюк Д.О., Шуляк І.С.
 Надійшла до редакції 05.05.2016