

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ УДАРНИКА З ПОКРИТТЯМ ПРИ ДИНАМІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ

Викладено експериментальні дослідження щодо перевірки математичної моделі взаємодії ударника з покриттям при випробуваннях дорожніх конструкцій динамічним методом.

Изложены экспериментальные исследования по проверке математической модели взаимодействия ударника с покрытием при испытаниях дорожных конструкций динамическим методом.

There are accounted experimental researches concerning verification of mathematical model of striker and coat interaction under road construction trials by dynamic method.

Постановка проблеми. Питання оцінки експлуатаційного стану автомобільних доріг є надзвичайно важливим та актуальним для дорожньої галузі. Об'єктивна оцінка деформативності існуючих дорожніх конструкцій необхідна для виявлення ділянок доріг з недостатньою міцністю і своєчасного проведення заходів щодо їх посилення. При цьому у дорожній практиці все більшого поширення набувають засоби та пристрої, що реалізують динамічний метод випробувань дорожніх конструкцій.

Подальше удосконалення динамічних установок для оцінки міцності та деформативності дорожніх конструкцій засноване на побудові та аналізі математичних моделей взаємодії ударника з покриттям. Математичні моделі навантаження дорожніх конструкцій при динамічних випробуваннях повинні враховувати не лише пружні, а й їх в'язкі властивості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Описання взаємодії навантажувальних пристроїв з середовищем, яке підлягає випробуванням динамічним методом, виконувалось багатьма дослідниками. При цьому використовувалися різноманітні моделі та підходи до їх побудови, залежні від поставлених дослідниками задач.

У роботі [1] дорожня конструкція представлена у вигляді стержня (циліндра) з заданим миттєвим модулем пружності, у верхній частині якого розміщені в'язкий елемент та пружина з заданим модулем еластичності. На стержень падає вантаж. Як результат досліджень наведені формули для визначення контактної сили як функції часу та її максимального значення.

У роботі [2] для визначення нормальних напружень в зоні контакту штампа з ґрунтом при ударній дії навантаження використовувався закон збереження імпульсу.

На відміну від згаданих підходів, у роботах [3,4,5,6,7,8] виконані спроби аналітичного розрахунку осідання як функції часу з урахуванням пружного і

в'язкого опору штампа при одноразовому статичному чи динамічному навантаженні півпростору.

Випадок багаторазового навантаження, який має місце при роботі вузла вимірювання деформативних характеристик дорожніх конструкцій в установках «УДВО-НТУ» [9] описаний у роботі [10]. Математична модель руху ударника «УДВО» та його взаємодії з покриттям (рис.1)

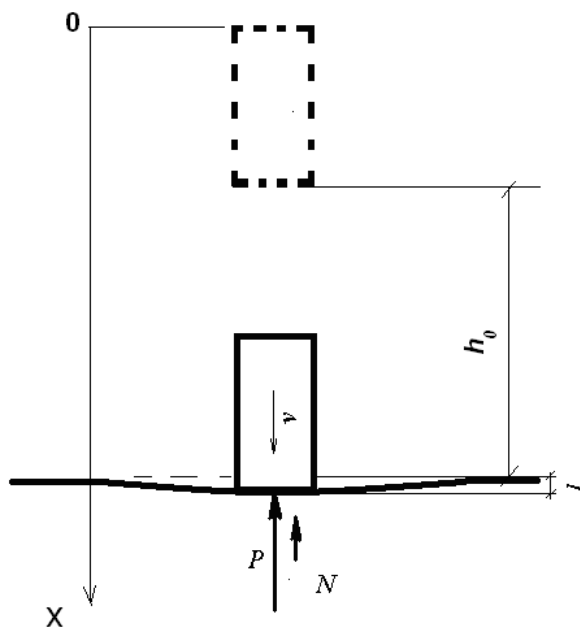


Рис.1. Розрахункова схема

має вигляд, наведений у табл.1.

Таблиця 1

Математична модель руху ударника «УДВО» та його взаємодії з покриттям

I Рух ударника при падінні до контакту з покриттям		
Закон руху	$S = \frac{gt^2}{2} - h_0.$	(1)
Швидкість	$V = gt.$	(2)
Прискорення	$a = g.$	(3)
Тривалість вільного падіння ударника	$t_1 = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}.$	(4)
Швидкість в кінці падіння	$V_1 = \sqrt{2gh_0}.$	(5)
II Взаємодія ударника з покриттям при першому ударі		
Диференційне рівняння взаємодії	$\frac{d^2l}{dt^2} + 2n \frac{dl}{dt} + k^2l = 0$	(6)
Прогин покриття	$l = \frac{V_0}{\omega_1} e^{-nt} \sin \omega_1 t.$	(7)
Швидкість ударника і поверхні покриття	$V = \frac{V_0}{\omega_1} e^{-nt} [\omega_1 \cos \omega_1 t - n \sin \omega_1 t]$	(8)

Прискорення ударника і поверхні покриття	$a = \frac{V_0}{\omega_1} e^{-nt} [(n^2 - \omega_1^2) \sin \omega_1 t - 2n\omega_1 \cos \omega_1 t]$	(9)
Момент часу, при якому прогин максимальний	$\Theta = \frac{1}{\omega_1} \operatorname{arctg} \frac{\omega_1}{n}$	(10)
Момент відриву ударника від покриття	$t_e = \frac{\pi}{\omega_1}$	(11)
III Перший відскок від покриття		
Закон руху	$S = -V_0 t + \frac{gt^2}{2}$	(12)
Швидкість	$V = gt - V_e$	(13)
Прискорення	$a = g$	(14)
Максимальна висота відскоку	$h_{\max} = -\frac{V_e^2}{2g}$	(15)
Повний час відскоку (тривалість вільного падіння між першим та другим ударами)	$t_{en} = \frac{2V_e}{g}$	(16)
IV Взаємодія ударника з покриттям при другому ударі		
Див. формули (6)-(11)		
V Другий відскок від покриття		
Див. формули (12)-(16)		
і.т.д.		

де S – шлях ударника при вільному падінні, виміряний від верхньої точки (рис.1);

g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²;

h_0 - висота підйому ударника, м;

$$n = \frac{c}{2m}; \quad (17)$$

c – узагальнений коефіцієнт в'язкості, Н/(м/с);

m – маса ударника, кг;

$$k = \sqrt{\frac{A}{m}}; \quad (18)$$

$$A = \frac{\pi E D}{4\xi}; \quad (19)$$

E – загальний модуль пружності дорожнього одягу, МПа;

D - діаметр ударника, м;

ξ - коефіцієнт, що враховує умови передачі навантаження та поперечну деформацію шарів дорожньої конструкції;

$$\omega_1 = \sqrt{k^2 - n^2}. \quad (20)$$

Цілі статті. Метою даної публікації є порівняння результатів розрахунків за наведеними формулами з експериментальними даними.

Виклад основного матеріалу досліджень. Результати розрахунку за формулами (10), (11), (7), (8), (9) при значеннях параметрів, наведених у таблиці 2,

Таблиця 2

Значення параметрів, при яких виконувалися розрахунки кінематичних характеристик ударника

ξ	E, МПа	D, м	m, кг	V_0 , м/с	c, Н/(м/с)
0,891	200	0,33	100	3,96	40000

Величини Θ і моменту відриву t_e ударника від покриття, наведені в табл. 3,

Таблиця 3

Величини Θ і моменту відриву t_e ударника

Θ , с	t_e , с
0,001774	0,004267

а також графіки, наведені на рис. 2.

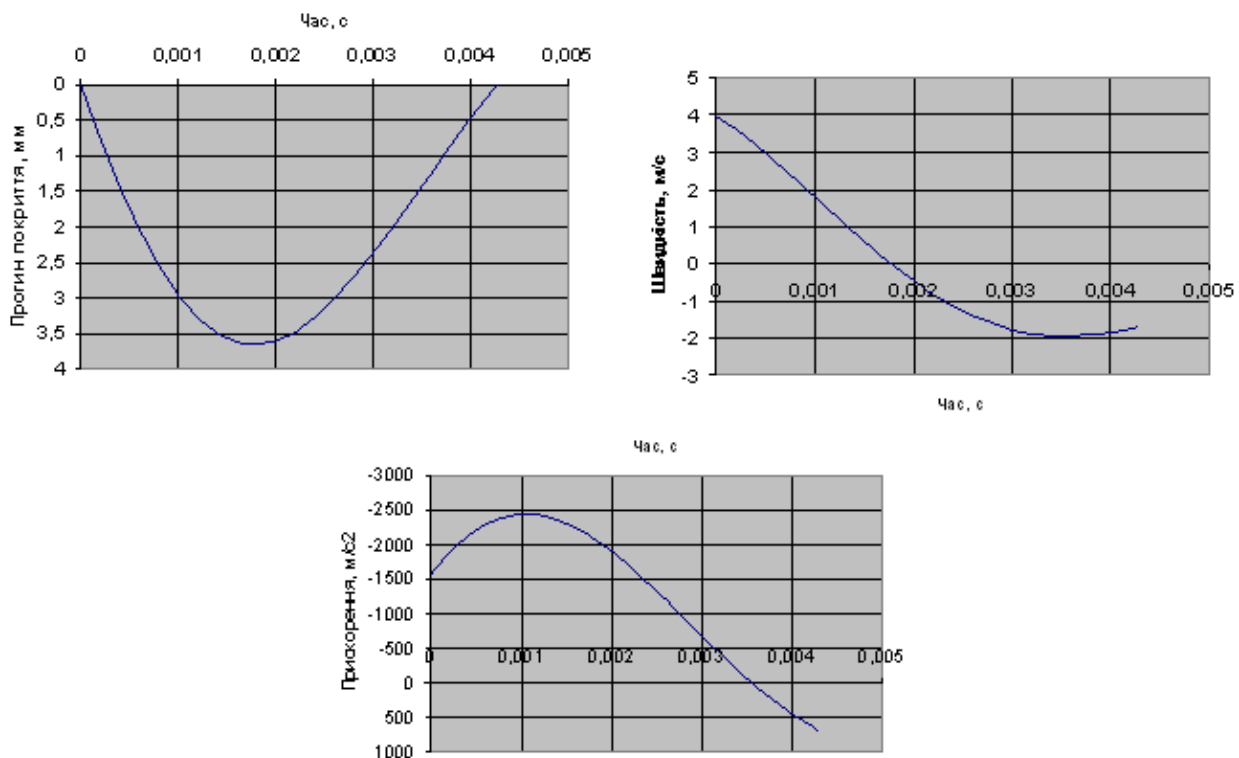


Рис.2. Графіки залежності кінематичних характеристик ударника від часу

Графік залежності прогину від часу має явну асиметрію. Внаслідок в'язкого опору відновлення форми покриття відбувається повільніше, ніж переміщення його поверхні при навантаженні. Початкова швидкість ударника після відриву від покриття не дорівнює швидкості при початку контакту з покриттям. У розглянутому випадку вона дорівнює 1,69 м/с. Це свідчить про затухаючий характер руху ударника і відповідає його реальній поведінці при взаємодії з покриттям. Що ж стосується прискорення, то розрахунки показують (рис. 2) його різкий скачок на початку удару, а також те, що під час удару воно змінює знак.

Для перевірки отриманих теоретичним та розрахунковим шляхом результатів ударник УДВО було обладнано датчиком прискорення та було розроблено спеціальну дослідницьку програму „UDVO5PCkadi”, робоче вікно якої наведено на рис. 3.

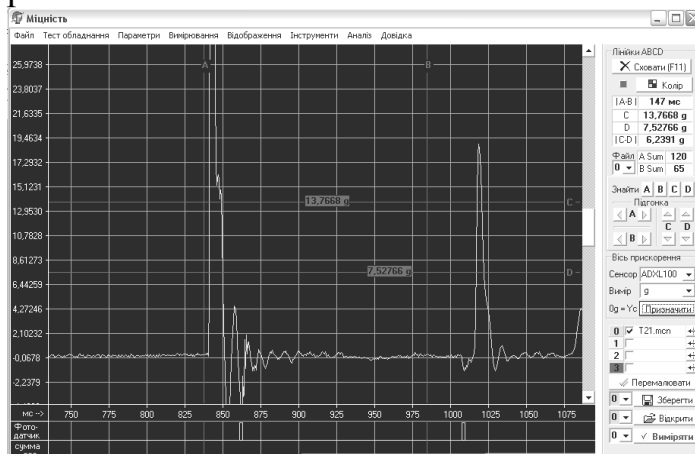


Рис.3. Робоче вікно спеціальної дослідницької програми „UDVO5PCkadi” запису та аналізу прискорення

Вимірювальна система дає змогу визначати прискорення ударника в будь-який момент часу.

Спочатку визначали фактичну тривалість вільного падіння ударника. Перший відлік часу відповідає початку вільного падіння - зміни прискорення ударника з 0 до -1,0172 g (рис. 4) складає 459 мс.

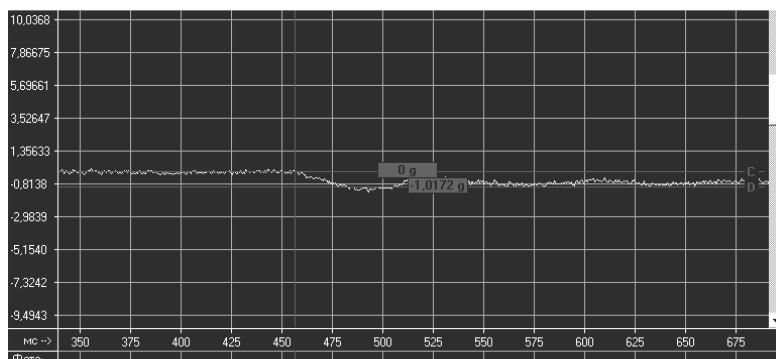


Рис.4. Визначення початку вільного падіння ударника

Кінець вільного падіння відповідає початку удару – різкої зміни прискорення (рис. 5) і складає 840 мс. Тривалість визначаємо як різницю $840 - 459 = 381$ мс. Визначена за формулою (4) тривалість вільного падіння складає 0,40386 с.

Розрахункова тривалість першого удару, визначена за формулою (11), складає 0,004267с. За фактичну тривалість удару можна вважати половину відрізка АВ (рис. 6), що складає 4-5 мс.

Коливальний характер зміни прискорення обумовлений власними коливаннями елементів конструкції УДВО. Максимальне розрахункове прискорення складає близько 2500 м/с^2 (рис. 2), у той час як виміряне його значення – 1760 м/с^2 . Очевидно, що ця розбіжність обумовлена наявністю гумової накладки на підшві ударника, яка згладжує фактичне прискорення.

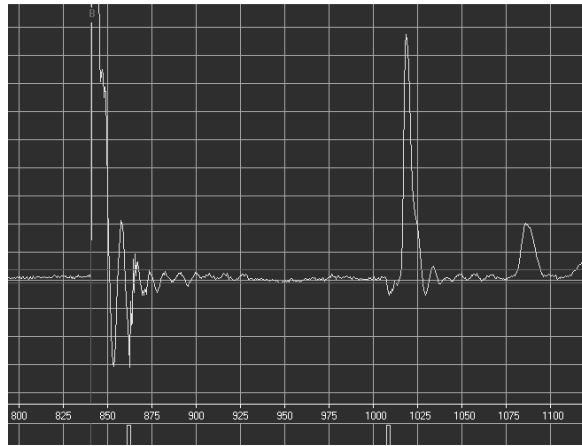


Рис. 5. Визначення моменту закінчення вільного падіння ударника

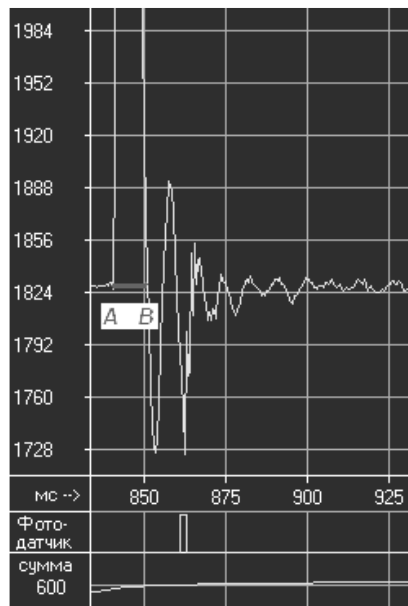


Рис.6. Визначення тривалості удару

Результати моделювання руху ударника і взаємодії його з покриттям при багаторазовому навантаженні покриття наведені на рис. 7.

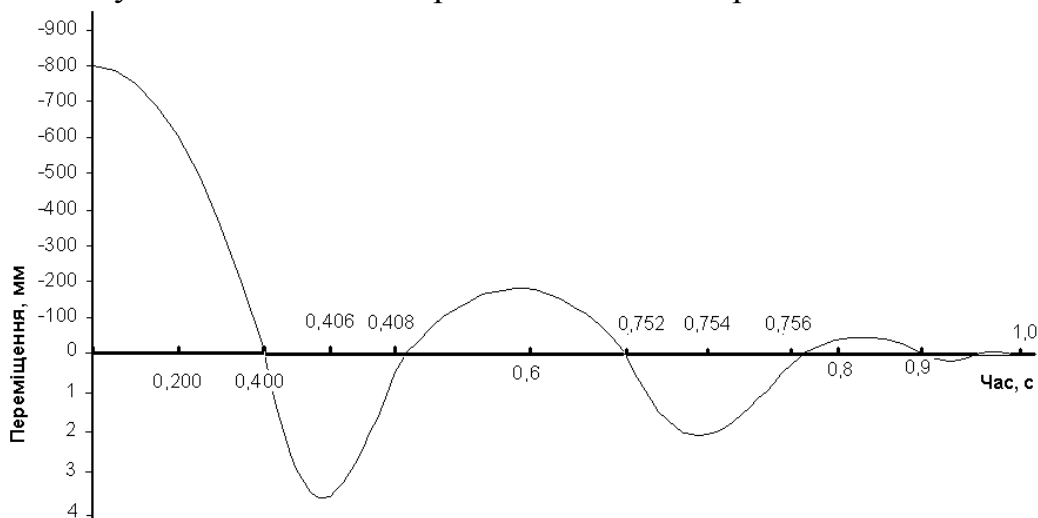


Рис.7. Результати моделювання руху ударника і взаємодії його з покриттям

Цей графік побудовано з використанням різних масштабів, тому що в пропорційних переміщеннях він має вигляд, наведений на рис. 8.

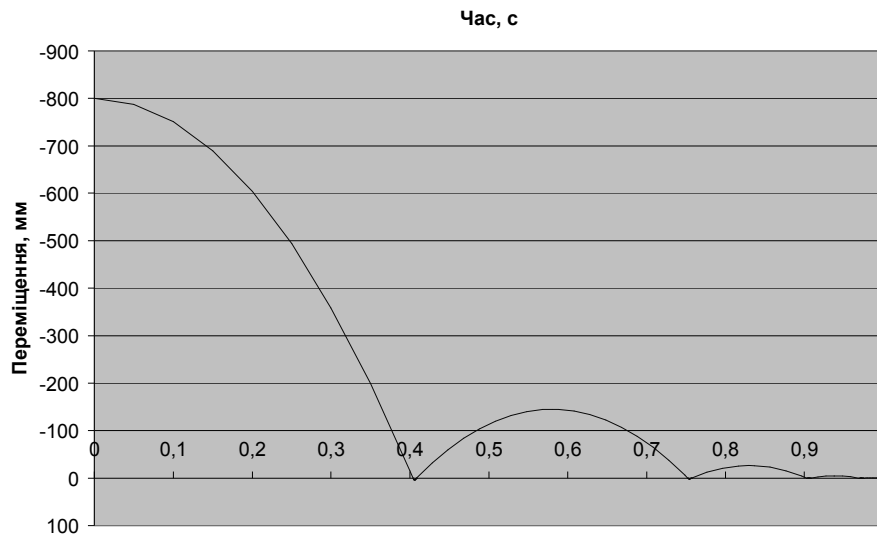


Рис.8. Графік 7 в пропорційних переміщеннях

З рис. 7 і 8 слідує, що рух ударника має затухаючий характер, а значить побудована модель близька до реальних процесів, що мають місце при взаємодії ударника з покриттям.

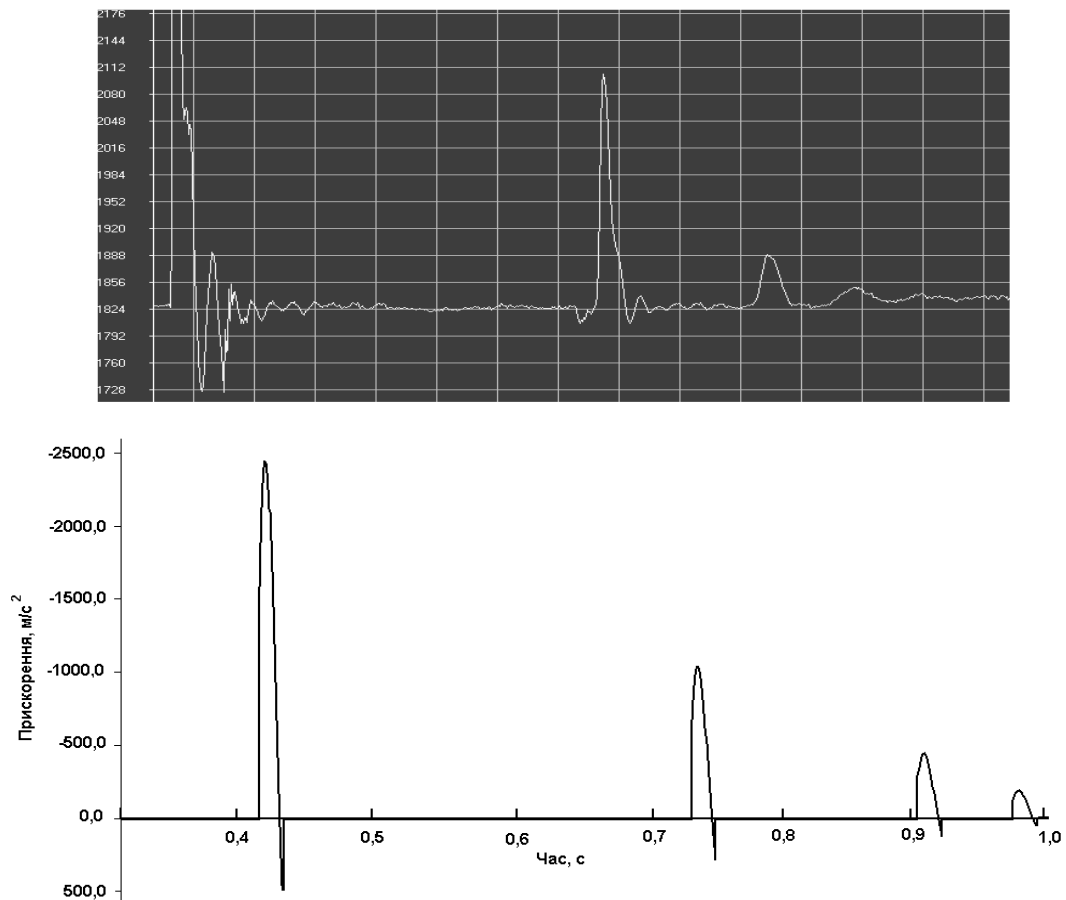


Рис.9. Порівняння результатів моделювання і даних вимірювання прискорення ударника

Порівнюючи емпіричний та побудований за даними розрахунків графіки залежності прискорення від часу (рис. 9),

можна зробити висновок про їх задовільну збіжність, принаймні з якісної точки зору. Відмінності в абсолютних значеннях обумовлені тим, що при розрахунках приймали значення $c = 40000 \text{ Н/(с/м)}$ апіорі. Способів визначення цього показника на даний час ще не винайдено.

Висновок.

В результаті виконаних досліджень встановлено, що розроблена в НТУ математична модель руху ударника та його взаємодії з покриттям при випробуваннях дорожніх конструкцій динамічним методом узгоджується з результатами експериментальних досліджень і може бути використана для обґрунтування напрямків удосконалення методики динамічних випробувань дорожніх конструкцій.

Література

1. Любченко В. А. Исследование взаимодействия нежестких дорожных одежд с импульсными нагрузками / Автореферат дисс. канд. техн. наук: Харьков, 1968. -20 с.
2. Мурашина Н.В. Приспособляемость грунта к повторным нагрузкам и ее учет при проектировании и строительстве автомобильных дорог: Дис.канд.техн.наук: К: 1991.- 238 с.
3. Батраков О.Т. Оценка вязких свойств грунта при вдавливании штампа //Труды ХАДИ: Харьков.-1962, вып. 28.-С. 49-53.
4. Яковлев Ю.М. Оценка и обеспечение прочности дорожных одежд нежесткого типа в процессе эксплуатации: Дис. доктора техн. наук.: / Ю.М. Яковлев // – М.: 1989. – 354 с.
5. Батраков О.Т. Балащенко Ю.О., Покутнев Ю.О. До визначення динамічних параметрів нежорстких дорожніх одягів. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: К., Будовельник. – 1990, №46.– С. 25–30.
6. Лушников Н.А., Лушников П.А. Применение портативных приборов ударного действия для измерения прогиба дорожных конструкций./ МАДИ (ГТУ). Сборник научных трудов. //Проектирование автомобильных дорог. - М., 2003.
7. Лушников Н.А., Лушников П.А. Оценка вязкоупругих свойств дорожных конструкций с помощью портативных приборов / Н.А. Лушников, // Дороги и мосты. / – М. : Вёрстка, 2005. – №13/1.
8. Kopf F., Adam D., Paulmichl I. Untersuchungen des dynamischen Lastplattenversuches mit dem Leichten Fallgewichtsgerät unter Verwendung der Randelement-methode / F. Kopf , D. Adam, I. Paulmichl // Österreichisch Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift / – W., – 2005. – №4-5. – P. 116.
9. Павлюк Д.О., Лебедев О.С., Павлюк В.В., Павлюк В.В., Рибіцький Л.Л.,Булах О.І., Булах Є.О., Сорока О.І., Сорока Д.О., Сорока А.О., Іващенко А.П., Шур'яков М.В., Гавришук В.В. Універсальне дорожнє вимірювальне обладнання «УДВО-НТУ»//Автошляховик України.- 2011, №1.-С.40-48.
10. Булах Е.А., Антонюк Т.В. Математическая модель взаимодействия ударника с покрытием при динамическом нагружении дорожной конструкции. Пути решения проблем дорожной отрасли СНГ/ Сборник докладов международной научно-практической конференции. – Омск, 2010. – с. 142-146.