



Co-funded by the
Tempus Programme
of the European Union

Публікація є результатом реалізації проекту:
TEMPUS CERES: Центри передового досвіду для молодих вчених
This publication is the result of the project implementation:
TEMPUS CERES: Centers of Excellence for young REsearchers.
Reg.no.544137-TEMPUS-1-2013-1-SK-TEMPUS-IPHES



УДК 625.7/.8

Шуляк І.С.

ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МЕТОДУ ВИПРОБУВАНЬ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

Анотація. В статті йдеться про новий спосіб визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару, який дає змогу удосконалити метод динамічних штампових випробувань за рахунок виключення необхідності застосування реперних балок, що в свою чергу підвищує продуктивність, точність та безпеку випробувань.

Об'єкт дослідження – дорожні конструкції.

Мета роботи – удосконалення динамічного методу оцінювання деформативних характеристик дорожніх конструкцій шляхом спрощення вимірювальних операцій і зменшення похибки вимірювань.

Методи дослідження – методи теорії пружності, теоретичної механіки, математичного моделювання.

Ключові слова: динамічні штампові випробування, дорожня конструкція, прилад динамічної дії, пружний прогин, реперна балка, тривалість удару, фактичний модуль пружності.

UDC 625.7/.8

Shuliak I.S.

ON IMPROVEMENT OF THE DYNAMIC TESTING METHOD OF ROAD CONSTRUCTIONS

Abstract. This paper discusses a new method of determining the actual modulus of elasticity for the duration of the impact, which allows improve the method of dynamic stamps tests by eliminating the need for application of reference beams, which in turn increases productivity, accuracy and safety of tests.

The object of study – road constructions.

Purpose – improving the dynamic method of evaluation the deformability characteristics of road constructions by simplifying the measurement operations and reduce measurement error.

Research methods – methods of the theory of elasticity, theoretical mechanics, mathematical modeling.

Key words: dynamic stamps tests, road construction, dynamic action device, elastic deflection, reference beam, impact duration, actual elastic modulus.

УДК 625.7/.8

Шуляк І.С.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. В статье идет речь о новом способе определения фактического модуля упругости по длительности удара, который позволяет усовершенствовать метод динамических штамповых испытаний за счет исключения необходимости применения реперных балок, что в свою очередь повышает производительность, точность и безопасность испытаний.

Объект исследования – дорожные конструкции.

Цель работы – совершенствование динамического метода оценки деформативных характеристик дорожных конструкций путем упрощения измерительных операций и уменьшения погрешности измерений.

Методы исследования – методы теории упругости, теоретической механики, математического моделирования.

Ключевые слова: динамические штамповые испытания, дорожная конструкция, прибор динамического действия, упругий прогиб, реперная балка, длительность удара, фактический модуль упругости.

Вступ

На сьогоднішній день як в Україні так і за кордоном широко застосовуються прилади, що реалізують динамічний метод оцінювання деформативності дорожніх конструкцій. Вони мають більш високу продуктивність в порівнянні з методами та засобами, що реалізують статичний метод випробування.

Принцип роботи цих приладів полягає у вимірюванні максимального осідання штампа, на який діє короткочасне динамічне навантаження. За величиною максимального осідання штампа оцінюють деформативні характеристики дорожньої конструкції.

Основна частина

Головним недоліком більшості відомих засобів для динамічних штампових випробувань [1 – 4] є наявність реперної балки, необхідної для вимірювання пружного прогину і визначення динамічного модуля пружності за формулою [5, 6]:

Introduction

For today, both in Ukraine and abroad widely used devices that implement dynamic evaluation method of deformability of road constructions. They have better performance compared to the methods and means that implement the static test method.

The principle of these devices is to measure the maximum subsidence of stamp, which operates short-term dynamic loading. The magnitude of the maximum subsidence of stamp evaluate deformability properties of road construction.

Main part

The main disadvantage of most known means for dynamic stamps tests [1 - 4] is the availability of reference beam, necessary for measuring the elastic deflection and determination of the dynamic elastic modulus by the formula [5, 6]:

$$E_{\phi} = \frac{K_q p D (1 - \mu^2)}{l}, \quad (1)$$

$$E_{\phi} = \frac{K_q p D (1 - \mu^2)}{l}, \quad (1)$$

де K_q – коефіцієнт, що залежить від характеру передачі навантаження на покриття: так при випробуванні за допомогою жорсткого штампа $K_q = 0,25\pi$, а за допомогою спареного колеса – $K_q = 1,0$;

p – тиск на покриття;

D – діаметр штампа;

μ – коефіцієнт Пуассона;

l – прогин покриття, м.

Необхідність в установці реперної балки призводить до додаткових витрат сил та часу оператора. Під час вимірювань йому необхідно виходити з автомобіля, а це підвищує небезпеку випробувань. Показання прогину покриття від створеного навантаження необхідно записувати вручну, що створює додаткові незручності, особливо при несприятливих погодних умовах.

Крім цього, механізм підйому – опускання рухомого штампу та реперної балки має доволі складну конструкцію і часто виходить з ладу, пошкоджуючи при цьому вимірювальні датчики.

Очевидним є те, що позбутись даного недоліку та спростити процес вимірювань при динамічних штампових випробуваннях можливо лише шляхом відмови від використання реперних балок.

Це в свою чергу потребує вибору нового параметру, який слід визначати замість пружного прогину при випробуваннях дорожніх конструкцій.

За кордоном існує спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій з використанням пристрою «ZFG-2000» [7], за допомогою якого проводять динамічне навантаження поверхні дорожнього одягу, реєструють сигнал від обладнання, отримують середнє значення осідання дорожньої конструкції та розраховують динамічний модуль деформації за формулою:

where K_q – coefficient, depending on the character of the transmission load on pavement: so when tested using rigid stamp $K_q = 0,25\pi$, and using twin wheels – $K_q = 1,0$;

p – pressure on pavement;

D – diameter of stamp;

μ – Poisson's ratio;

l – deflection of pavement, m.

The need to install the reference beam leads to additional costs time and effort of operator. During the measurement, it must to leave the car, and this increases the risk of testing. Indications of pavement deflection created by the load must record manually, which creates additional inconveniences, especially during adverse weather conditions.

In addition, the mechanism of recovery – lowering rolling stamp and the reference beam is rather complex structure and often breaks down, damaging the measuring sensors.

It is obvious, that to get rid of this disadvantage and simplify the measurements at the dynamic stamps tests, can only by abandoning the use of reference beams.

This in turn requires the selection of a new parameter that should be measured instead of elastic deflection during testing of road constructions.

Abroad, there is a way to determine the deformation characteristics of road constructions using the device «ZFG-2000» [7], by which conducting dynamic load the surface of pavement, recording the signal from equipment, get the average of subsidence of road construction and calculate dynamic deformation module by the formula:

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma_{\max}}{S_{\max}}, \quad (2)$$

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma_{\max}}{S_{\max}}, \quad (2)$$

де r – радіус штампа;

$\overline{S_{\max}}$ – середнє з осідань $S_{4\max}$, $S_{5\max}$, $S_{6\max}$ штампа при трьох ударах;

σ_{\max} – нормальне напруження під штампом ($\sigma_{\max} = 0,1 \text{ MN/m}^2$).

Незважаючи на те, що при проведенні випробувань відсутня необхідність у використанні реперних балок, даний спосіб також не є досконалим та має свої недоліки, головним з яких є складність визначення осідання дорожньої конструкції.

Реєстрація сигналу відбувається датчиком прискорення. Обробка сигналу прискорення для отримання осідання дорожньої конструкції вимагає подвійного інтегрування, а цей процес є досить складним

В роботі [8] Булахом Є.О. була побудована математична модель взаємодії ударника установки «УДВО-НТУ» з покриттям.

Формулу (1) можна подати у вигляді:

$$E = \frac{4\xi P}{\pi D l}, \quad (3)$$

де ξ – коефіцієнт;

P – навантаження на штамп;

звідки знайдемо залежність між пружною реакцією P і прогином покриття l :

$$P = \frac{\pi E D l}{4\xi}. \quad (4)$$

Ця залежність була використана для складання рівняння руху ударника «УДВО» після дотикання до поверхні покриття [8].

Позначимо

$$A = \frac{\pi E D}{4\xi}. \quad (5)$$

where r – radius of stamp;

$\overline{S_{\max}}$ – average of subsidence $S_{4\max}$, $S_{5\max}$, $S_{6\max}$ of stamp with three strikes;

σ_{\max} – normal stress under stamp ($\sigma_{\max} = 0,1 \text{ MN/m}^2$).

Despite the fact that during the tests there is no need to use reference beams, this method also is not perfect and has flaws, chief among which is the difficulty determination of subsidence of road construction.

Registration of signal happening an acceleration sensor. Processing of acceleration signal for getting the subsidence of road construction requires double integration, but this process is quite complex and leads to significant error.

In [8] Bulakh E.O. was built mathematical model of interaction of the device drummer "UDVO-NTU" with pavement.

Formula (1) can be represented as:

$$E = \frac{4\xi P}{\pi D l}, \quad (3)$$

where ξ – coefficient;

P – load on stamp;

where find the relationship between the elastic reaction P and deflection of pavement l :

$$P = \frac{\pi E D l}{4\xi}. \quad (4)$$

This relationship was used for the preparation the equation of motion drummer "UDVO" after touches to the surface of pavement [8].

Denote

$$A = \frac{\pi E D}{4\xi}. \quad (5)$$

Тоді вираз (4) матиме вигляд лінійної залежності:

$$P = Al. \quad (6)$$

При падінні ударника, відразу після контакту його підшви з покриттям, на нього діє сила опору руху, яка не вичерпується тільки пружною реакцією P . Насправді, має місце складова сили опору, що залежить від швидкості руху ударника вниз [8].

Було вирішено врахувати в'язкість, як складову частину сили N в'язкого опору руху ударника, що діє з боку дорожньої конструкції (рис. 1) [8].

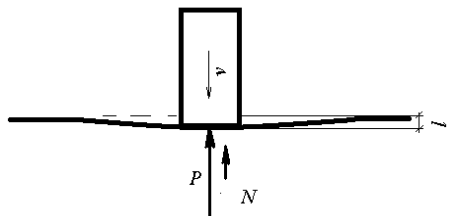


Рисунок 1 – Розрахункова схема до складання рівняння руху ударника при контакті з покриттям

Ця сила пропорційна швидкості деформації покриття:

$$N = c \frac{dl}{dt}, \quad (7)$$

де c – узагальнений коефіцієнт в'язкості дорожньої конструкції, який має розмірність $\text{H}/(\text{m}/\text{c})$ [8].

За другим законом Ньютона:

$$m \frac{d^2l}{dt^2} = -Al - c \frac{dl}{dt}. \quad (8)$$

Таким чином, здійснивши необхідні перетворення автором роботи [8] було отримано лінійне однорідне диференціальне рівняння затухаючих коливань другого порядку

$$\frac{d^2l}{dt^2} + 2n \frac{dl}{dt} + k^2l = 0 \quad (9)$$

Then expression (4) will have form of a linear relationship:

$$P = Al. \quad (6)$$

With falling drummer, immediately after his sole contact with pavement, it operates resistance force, which is not limited only elastic reaction P . In fact, there is a component of the resistance, that depends on the velocity of drummer down [8].

It was decided to consider viscosity as part of the force N of viscous resistance to movement of drummer, acting by of road construction (fig. 1) [8].

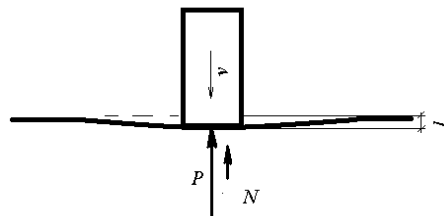


Figure 1 – Diagram to compile equation of motion drummer in contact with pavement

This force is proportional to the deformation rate of pavement:

$$N = c \frac{dl}{dt}, \quad (7)$$

where c – generalized coefficient of viscosity of road construction, which has the dimension $\text{N}/(\text{m}/\text{s})$ [8].

According to Newton's second law:

$$m \frac{d^2l}{dt^2} = -Al - c \frac{dl}{dt}. \quad (8)$$

Thus, by making the necessary changes by the author of [8] was obtained homogeneous linear differential equation of second order of damped oscillations

$$\frac{d^2l}{dt^2} + 2n \frac{dl}{dt} + k^2l = 0 \quad (9)$$

де

$$k = \sqrt{\frac{A}{m}}, \quad (10)$$

$$n = \frac{c}{2m}, \quad (11)$$

з такими початковими умовами:

$$t = 0; \quad l = 0; \quad \frac{dl}{dt} = V = V_0, \quad (12)$$

де V_0 – початкова швидкість ударника перед дотиканням до покриття. Додатково приймаємо: $c = 0$.

Розв'язком рівняння (9) є функція

$$l = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt. \quad (13)$$

З урахуванням того, що швидкість є похідна осідання по часу, та початкових умов (12) для швидкості ударника матимемо вираз:

$$V = V_0 \cos kt. \quad (14)$$

Максимальний прогин покриття буде мати місце при повній зупинці ударника $V = 0$. Прирівнюючи вираз (14) до нуля, знайдемо момент часу, коли це трапляється:

$$T = \frac{\pi}{2k}. \quad (15)$$

Якщо виміряти час τ удару, який буде в два рази більший, ніж час, визначений за формулою (15):

$$\tau = \frac{\pi}{k}, \quad (16)$$

то можна підрахувати величину параметра k :

$$k = \frac{\pi}{\tau}. \quad (17)$$

З урахуванням виразів (5), (10), (11) матимемо кінцевий вираз (18) для визначення

where

$$k = \sqrt{\frac{A}{m}}, \quad (10)$$

$$n = \frac{c}{2m}, \quad (11)$$

with the following initial conditions:

$$t = 0; \quad l = 0; \quad \frac{dl}{dt} = V = V_0, \quad (12)$$

where V_0 – initial velocity of drummer before touches to the pavement. Additional accept: $c = 0$.

The solution of equation (9) is a function

$$l = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt. \quad (13)$$

Given the fact that the rate is the derivative of subsidence by time and the initial conditions (12) to speed of drummer will have expression:

$$V = V_0 \cos kt. \quad (14)$$

The maximum deflection of pavement will take place with the full stop of drummer $V = 0$. Equating the expression (14) to zero, find point in time when this happens:

$$T = \frac{\pi}{2k}. \quad (15)$$

If measure the time τ of impact, which will be twice more than the time specified by the formula (15):

$$\tau = \frac{\pi}{k}, \quad (16)$$

it is possible to calculate the value of the parameter k :

$$k = \frac{\pi}{\tau}. \quad (17)$$

Given the expressions (5), (10), (11) will

фактичного модуля пружності E :

$$E = \frac{4\pi m(1-\mu^2)}{\tau^2 D}, \quad (18)$$

де m – маса ударника, кг;
 μ – коефіцієнт Пуассона;
 τ – тривалість удару, с;
 D – діаметр штампу, м.

Формула (18) дає можливість відмовитись від використання традиційної формули (1), яка включає пружний прогин, для вимірювання якого необхідно використовувати реперні балки.

Таким чином, отримано новий спосіб визначення деформативних характеристик дорожніх конструкцій [9].

Запропонований спосіб дозволяє відмовитись від складних операцій реєстрації сигналу від обладнання, подвійного інтегрування, отримання середнього значення осідання та розрахунку динамічного модуля пружності на основі цього осідання, що значно спрощує процес динамічних штампових випробувань.

Величину тривалості удару, необхідну для обчислення фактичного модуля пружності можна легко визначити як різницю між абсцисами А і В з графіку залежності прискорення ударника від часу, приклад якого наведено на рис. 2.

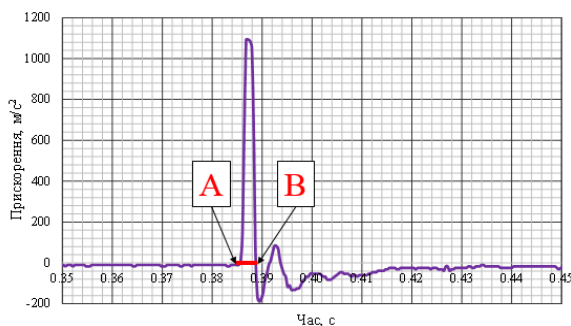


Рисунок 2 – Графік залежності прискорення ударника від часу

Більш точно тривалість удару можна визначити з графіка залежності навантаження від часу.

have the final expression (18) to determine the actual modulus of elasticity:

$$E = \frac{4\pi m(1-\mu^2)}{\tau^2 D}, \quad (18)$$

where m – mass of drummer, kg;
 μ – Poisson's ratio;
 τ – duration of impact, s;
 D – diameter of stamp, m.

Equation (18) makes it possible to abandon the use of traditional formulas (1), which includes elastic deflection, to measure that requires use of reference beams.

Thus, received a new method of determining the deformation characteristics of road constructions [9].

The proposed method allows to refuse of complex operations on registration signal from equipment, double integration, get the average subsidence and calculate the dynamic elastic modulus on the basis of this subsidence, which greatly simplifies the process of the dynamic stamps tests.

The value of the duration of impact, required to calculate the actual elastic modulus, can be easily identified as the difference between abscissas A and B with the graph of acceleration drummer from time, an example of which is shown on fig. 2.

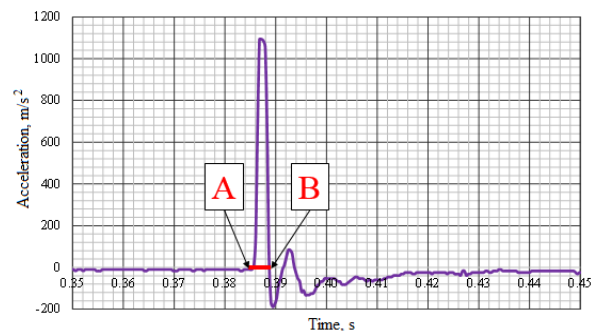


Figure 2 – Graph of acceleration drummer from time

More accurately, the duration of impact can be determined with the graph of load from time.

Висновки

1. Розроблено новий спосіб визначення фактичного модуля пружності за тривалістю удару.
2. Даний спосіб дає змогу удосконалити метод динамічних штапових випробувань за рахунок виключення необхідності застосування реперних балок, що в свою чергу підвищує продуктивність, точність та безпеку випробувань.

Література

1. Шуляк І.С. Дослідження поведінки нежорстких дорожніх одягів при взаємодії зі штампом установки динамічного навантаження / І.С. Шуляк // Матеріали Всеукр. Інтернет-конф. молодих учених і студентів «Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій» (18.03.2015). – Полтава : ПолтНТУ, 2015. – С. 232 – 235.
2. Установка динамического нагружения Дина-3М. Паспорт КБ 0024.00.00.000 ПС. С. : ГУП СНПЦ «Росдортех», 1996. – 11 с.

Conclusions

1. Received a new method of determining the actual modulus of elasticity for the duration of the impact.
2. This method makes it possible to improve the method of dynamic stamps tests by eliminating the need for application of reference beams, which in turn increases productivity, accuracy and safety of tests.

Literature

1. Shulyak I.S. Research of behavior of flexible pavements in the interaction with the stamp of dynamic load device / I.S. Shulyak // Materials of Nationwide Internet-conference of young scientists and students «Problems and prospects of sustainable development and spatial planning areas» (18.03.2015). – Poltava : PoltNTU, 2015. – P. 232 – 235.
2. The dynamic load device «Dina-3M». Passport KB 0024.00.00.000 PS. – Saratov : HCM SSPC «Rosdorteh», 1996. – 11 p.

Рецензенти:

Кизима С.С., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

Reviewers:

Kyzyma S.C., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **26.10.2016 р.**