

УДК 625.7./ 8.

Шур'яков М.В.,  
Національний транспортний університет, м. Київ

## АНАЛІЗ ФОРМУЛ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦІЇ ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЙ

*Проаналізовані формули для визначення динамічного модуля деформації дорожніх конструкцій.. Встановлено походження формул, які містяться в німецьких приладах з легкою падаючою гирею для динамічних випробувань основ дорожніх конструкцій*

**Ключові слова:** динамічний модуль, модуль пружності, дорожні конструкції.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** За діючими в Україні нормативними документами [1,2] для оцінки жорсткості ґрунтових основ, основ дорожнього одягу та дорожньої конструкції в цілому використовують значення загального модуля пружності.

Модуль пружності - величина, що характеризує пружні властивості матеріалу при малих деформаціях. Вона дорівнює відношенню напруження до викликаної ним пружної відносної деформації.

Дані про модуль пружності одержують шляхом польових випробувань дорожніх одягів методами статичного або динамічного навантаження.

При статичних і динамічних штампових випробуваннях фактичний загальний модуль пружності основи чи дорожньої конструкції в цілому визначають за результатами вимірювання пружного оборотного прогину поверхні  $l_{np}$ , який має місце піля знімання розрахункового навантаження. При цьому використовують формулу [3]:

$$E_{np} = \frac{\pi p D (1 - \mu^2)}{4 l_{np}}$$

$p$  – питомий тиск на поверхню напівпростору, МПа;

$D$  – діаметр штампа;

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона.

Модуль пружності – не єдиний показник, що використовується для оцінки жорсткості дорожньої конструкції та її шарів. З початку минулого століття і до середини його 60-х років в Радянському союзі як основний показник для розрахунку і оцінки міцності дорожніх конструкцій використовувався модуль деформації [4], котрий визначався за формулою [5]:

$$E = \frac{pD}{l_n}, \text{ МПа} \quad (2)$$

де  $p$  – тиск на штамп, виміряний при заданому розрахунковому повному прогині  $l_n$  поверхні напівпростору, МПа.

**Аналіз останніх досліджень.** В німецьких Технічних вказівках щодо випробувань ґрунтів та скельних порід з використанням приладу з легкою падаючою гирею [6] наведена формула для визначення динамічного модуля деформації  $E_{vd}$  за максимальним осіданням  $S_{max}$  штампу при вертикальному ударному навантаженні тривалістю  $t_{max}$  (рис. 1):

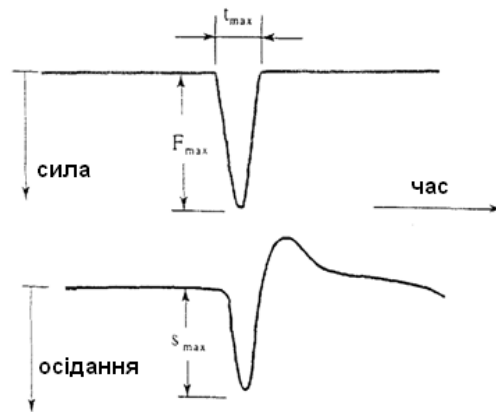


Рис. 1. Зміна навантаження і осідання штампу з плином часу при динамічному навантаженні

$$E_{vd} = 1,5 \cdot r \cdot \frac{\sigma_{max}}{S_{max}}, \text{ МПа} \quad (3)$$

де  $r$  – радіус штампа, м;

$S_{max}$  - середнє з осідань  $S_{4max}$ ,  $S_{5max}$ ,  $S_{6max}$  штампа при трьох послідовних ударах (перші три удари – привантажувальні, осідання штампу при їх виконанні не реєструються);

$\sigma_{max}$  - нормальне напруження під штампом, МН/м<sup>2</sup>.

Формули (3) та (2) відрізняються між собою, що обумовлює необхідність в'яснити походження числа 1,5 в формулі (3).

**Викладення основного матеріалу дослідження.** За означенням модуля деформації, модуля пружності

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon}, \text{ МПа} \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – відносна деформація .

Оскільки початкові розміри напівпростору не визначені, за відносну деформацію використовують відношення абсолютного осідання штампу до його діаметра:

$$\varepsilon = \frac{S}{2r}, \text{ МПа} \quad (5)$$

Підставляючи вираз (5) в (4), отримаємо

$$E = 2r \frac{\sigma_{\max}}{S}, \quad (6)$$

що, знову ж таки, не співпадає з (3).

У той же час, формулу (1) можна подати у вигляді:

$$E = \frac{0,25\pi r^2 (1 - \mu^2)}{l}. \quad (7)$$

Прирівнюючи праві частини формул (3) і (7), можна припустити, що число 1,5 в формулі (3) отримується при перемноженні сталих, що містяться в формулі (7):

$$1,5 = 0,25 \cdot \pi \cdot 2 \cdot (1 - \mu^2). \quad (8)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно коефіцієнта Пуасона, отримаємо

$$\mu = 0,211.$$

Таким чином, в німецьких приладах з легкою падаючою гирею [6] для визначення динамічного модуля деформації  $E_{vd}$  за максимальним осіданням  $S_{\max}$  штампу використовується формула:

$$E_{vd} = \frac{\pi}{2} \cdot r \cdot \frac{\sigma_{\max}}{S_{\max}} (1 - \mu^2), \quad (9)$$

в якій  $\mu$  приймає згадане значення.

В різних модифікаціях, наприклад, приладу ZFG [7] комп'ютерні програми містять формули, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Формули, якими прошитий мікропроцесор різних модифікацій приладу ZFG

Вага гирі, Кг	Діаметр штампу, мм	Формула	Номер формули в цій статті
10	300	$E_{vd} = \frac{22,5}{S_{\max}} \cdot \sigma$	(10)
10	150	$E_{vd} = \frac{45}{S_{\max}} \cdot \sigma$	(11)
15	300	$E_{vd} = \frac{33,75}{S_{\max}} \cdot \sigma$	(12)

Чисельник формули (10) отримано таким чином:

$$\frac{\pi}{2} \cdot r \cdot \sigma_{\max} (1 - \mu^2) = \frac{3,14}{2} \cdot 150 \text{ мм} \cdot 0,1 \text{ МПа} \cdot (1 - 0,211^2) = 22,5.$$

При цьому на штамп передається навантаження

$$F = \sigma_{\max} \pi r^2 = 0,1 \text{ МПа} \cdot 3,14 \cdot 0,15^2 \text{ м}^2 = 0,007065 \text{ МН} = 7065 \text{ Н}$$

Для приладу з штампом діаметром 150 мм при вазі гирі 10 кг нормальне напруження під штампом

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{\pi r^2} = \frac{7065 \text{ Н}}{3,14 \cdot 0,075^2 \text{ м}^2} = 40000 \text{ Па} = 0,4 \text{ МПа}$$

і вираз  $\pi / 2 \cdot r \cdot \sigma_{\max} (1 - \mu^2) = \frac{3,14}{2} 75 \text{ мм} \cdot 0,4 \text{ МПа} \cdot (1 - 0,211^2) = 45,$  □

що співпадає з чисельником формули (11).

Для приладу з штампом діаметром 300 мм при вазі гирі 15 кг нормальне напруження під штампом буде в півтора рази більше, ніж при використанні гирі вагою 10 кг при діаметрі штампку 300 мм:

$$\sigma_{\max} = 1,5 \cdot 0,1 \text{ МПа} = 0,15 \text{ МПа},$$

а вираз

$$\pi / 2 \cdot r \cdot \sigma_{\max} (1 - \mu^2) = \frac{3,14}{2} 150 \text{ мм} \cdot 0,15 \text{ МПа} \cdot (1 - 0,211^2) = 33,75,$$
 □

що співпадає з чисельником формули (12).

### Висновки.

Встановлено походження формул, які містяться в німецьких приладах приладах з легкою падаючою гирею для динамічних випробувань основ дорожніх конструкцій. При цьому використовується значення коефіцієнта Пуассона  $\mu = 0,211$ . Відмінність формул, що застосовуються у різних модифікаціях приладів обумовлена різними значеннями виразу  $\frac{\pi}{2} \cdot r \cdot \sigma_{\max} (1 - \mu^2)$ , обумовленими притаманними для кожної з модифікацій діаметра штампку та значеннями максимального нормального тиску, що створюється під час ударного навантаження.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ВБН В.2.3-218-186-2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К. Укравтодор, 2004. – 156 с.
2. Стандарт Укравтодор. СОУ 45.2-00018112-042:2009. Автомобільні дороги. Визначення транспортно-експлуатаційних показників дорожніх одягів. К. Укравтодор, - 2009. – 46 с.
3. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46—83/Министерство транспортного строительства СССР. М.: Транспорт, 1985. 157 с.
4. Иванов Н.Н., Зацепин А.Н., Корсунский М.Б., Мотылев Ю.Л., Пузаков Н.А., Тулаев А.Я. Проектирование дорожных одежд.

Автотрансиздат. М., 1955. -250 с.

5. Бирюля А.К., Михович С.И. Работоспособность дорожных одежд. - М.: Транспорт, 1968. -172 с.

6. – Köln: Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, 2003 – 75 s.

7. Leichtes Fallgewichtsgerät ZFG-2000. Bedienungsanleitung. Gerhard Zorn Mechanische Werkstätten. Stendal. – 2006 – 21 s.

### **Аннотация**

В статье проанализированные формулы для определения динамического модуля деформации дорожных конструкций. Установлены происхождения формул, которые содержатся в немецких приборах с легкой падающей гирей для динамических испытаний основ дорожных конструкций

**Ключевые слова:** динамический модуль, модуль упругости, дорожные конструкции.

### **Annotation**

In the article the analysed formulas are for determination of the dynamic module of deformation of road constructions. Derived, that is contained in the German devices with easy falling weight for the dynamic tests of bases of travelling constructions.

**Keywords:** dynamic module, module of resiliency, travelling constructions.