

## ДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОННИХ ШЛЯХОВИХ ПОКРИТТЯ НА УКРІПЛЕНИХ ЦЕМЕНТОМ ОСНОВАХ

© Думич І.Ю., Сало В.Ю., Балаян Н.О., 2012

Наведено результати випробувань моделей бетонних покриттів на укріплених цементом основах за різної товщини нежорсткого прошарку між плитами покриття та основи. Встановлена можливість дробового резонансу за певної товщини цього прошарку.

**Ключові слова:** цементобетонне покриття, динамічні прогини, амплітуди коливань, частоти коливань.

The article shows the results of testing concrete coverage models on bases strengthened with cement with different thickness of a non-rigid layer between a cover plate and a plate of a base. It is determined that there is a possibility of a fractional resonance at a certain thickness of this layer.

**Key words:** cement coating, dynamic deflection, amplitude, frequency fluctuations.

**Постановка проблеми.** Дія рухомого автомобільного навантаження на дорожнє покриття завжди має динамічний характер, оскільки зростання навантаження від нуля до максимального значення проходить протягом часу, що вимірюється сотими частками секунди. Що більша швидкість руху автомобіля, то менший час прокладання навантаження, то більший, за інших однакових умов, його динамічний характер. Крім швидкості, на динамічність автомобільного навантаження істотно впливають нерівності покриття, а також коливальна система автомобіля. Динамічна дія автомобіля має ударний характер за значних швидкостей, тому на жорстких цементобетонних покриттях, що мають незначне демпфування, динамічний ефект від рухомого навантаження проявляється більше, ніж на нежорстких асфальтобетонних.

**Мета роботи.** Динамічні навантаження на цементобетонні покриття не тільки збільшують їх напружено-деформівний стан, а й спричиняють небажані прискорення в приконтатному ґрунтовому шарі земполотна. При прискореннях коливань покриття в межах від 0,05 до 0,2g проходить доущільнення і зниження опору ґрунтів зсуву, особливо піщаних і супіщаних. Величини критичних прискорень, що не спричиняють зниження опору ґрунтів зсуву, дуже малі і вимірюються сотими частками g. Отже, динамічна дія автомобільного транспорту істотно впливає на вертикальну стійкість бетонних покриттів. Одним із способів підвищення демпфувальних властивостей цементобетонних покриттів є влаштування основ із матеріалів, укріплених цементом. Така основа працює як плита, а загалом дорожня конструкція являє собою двоплитну систему з нежорстким прошарком між ними. У деякому наближенні цю систему можна подати як двомасову пружно-в'язкопластичну модель.

**Результати досліджень.** Замінивши сили в'язкого і пластичного опорів дисипативною силою введенням комплексної змінної і коефіцієнтів непружного опорю, отримуємо диференціальні рівняння коливного руху системи.

$$m_1 \cdot z_1'' + (1 + i \cdot \gamma_1) \cdot c_1 \cdot z_1' - (1 + i \cdot \gamma_2) \cdot c_2 \cdot (z_2 - z_1) = 0; \quad (1a)$$

$$m_2 \cdot z_2'' + (1 + i \cdot \gamma_2) \cdot c_2 \cdot (z_2 - z_1) = P \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (1б)$$

де  $z_1$  і  $z_2$  – вертикальні переміщення плит основи і покриття;  $\gamma_1$  – коефіцієнт непружного опорю плити основи на ґрунтовому шарі;  $\gamma_2$  – те саме плити покриття на нежорсткому прошарку.

Наведені диференціальні рівняння мають комплексний вид. Введення уявної одиниці і означає, що сили непружного опору (дисипативні сили) зсунуті по фазі на кут  $90^\circ$  відносно пружних сил. Це положення теоретично встановлено і експериментально підтверджено в роботах Е.С. Сорокіна\*.

Використавши рівняння (1), розв'язок яких є в багатьох літературних посібниках, проаналізуємо коливний рух бетонного покриття на цементогрунтовій основі за різної товщини нежорсткого прошарку між ними за дії циклічного динамічного навантаження.

Параметри рівнянь (1) – маси, жорсткості та коефіцієнти непружного опору – визначені експериментально за допомогою моделі бетонного покриття, виконаній в лабораторії в масштабі 1:3. Циклічне динамічне навантаження утворювалось віброустановкою, спеціально сконструйованою для динамічних випробувань. Частота коливань установки – 23 Гц, амплітуда циклічного динамічного навантаження – 25 кН.

Коефіцієнти непружного опору  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  визначаються по осцилограмах вільних коливань плит основи і покриття від ударного навантаження за формулою:

$$g = \frac{\ln(A_n / A_{n+1})}{p}, \quad (2)$$

де  $A_n$  і  $A_{n+1}$  – величини двох послідовних максимальних амплітуд вільних коливань.

Жорсткості  $C_1$  і  $C_2$  плит основи і покриття визначаються шляхом прикладання статичного навантаження в центрі плит з врахуванням послідовного з'єднання двох пружних елементів (основи і покриття). За наявності нежорсткого прошарку між плитами основи і покриття маса  $m_2$  визначається як сума мас покриття і віброустановки. Маса  $m_1$  містить масу плити основи, масу прошарку і масу приєднаного ґрунтового шару завтовшки 25–35 см для моделі або 0,8–1 м для натурних умов.

Розв'язок рівнянь (1) відносно амплітуд коливань основи і покриття, а також формули для підрахунку власних частот цих елементів є дуже громіздкими і в статті не наводяться. Підрахунки повністю виконані на ЕОМ. Вхідні параметри і результати обчислень наведено в таблиці.

#### Вхідні параметри рівнянь (1), амплітуди і власні частоти коливань основ і покриттів за різної товщини прошарку між ними. (Навантаження в центрі плити)

Товщина прошарку, см	$C_1$ , Н/м	$C_2$ , Н/м	$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$Q_1$ , мм	$Q_2$ , мм	$\omega_1$ , 1/с	$\omega_2$ , 1/с
0,0	-	-	-	-	-	-	0,028	0,35	-	-
0,2	$4,8 \cdot 10^7$	$10,1 \cdot 10^7$	1000	500	0,37	0,3	0,036	0,059	590	180
1,0	$4,8 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^7$	1100	500	0,37	0,27	0,028	0,078	381	192
2,0	$4,8 \cdot 10^7$	$7,5 \cdot 10^7$	1200	500	0,37	0,25	0,023	0,061	388	210
5,0	$4,8 \cdot 10^7$	$7,2 \cdot 10^7$	1300	500	0,37	0,23	0,022	0,046	440	209
10,0	$4,8 \cdot 10^7$	$6,5 \cdot 10^7$	1500	500	0,37	0,20	0,020	0,041	453	218

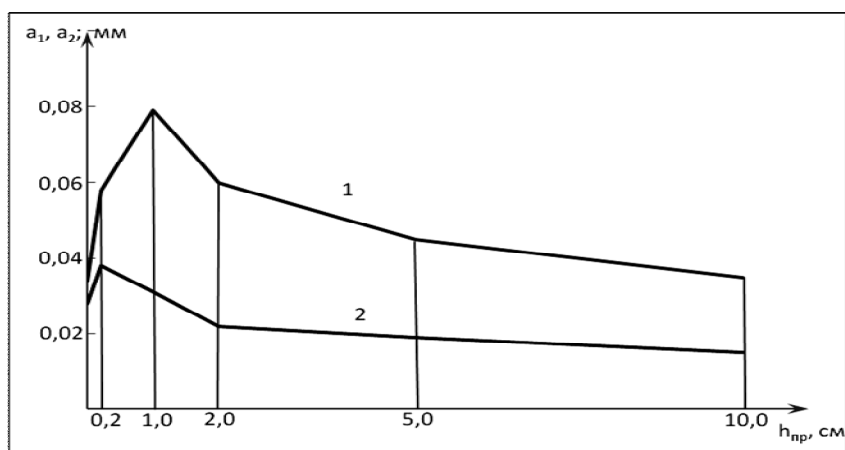
Різке збільшення динамічних прогинів (амплітуд коливань) покриттів за певної товщини нежорстких прошарків обумовлюється виникненням дробового внутрішнього резонансу. Такий резонанс можливий (згідно з дослідженнями М.В. Закревського), якщо хоча б один елемент коливної системи має нелінійний зв'язок, тобто пружна відновлювальна сила не пропорційна переміщенням. У системі “покриття–основа” другий елемент (основа) разом з приєднаним шаром ґрунту має практично нелінійний зв'язок через значні за величиною сили непружного опору. Ця обставина є причиною того, що амплітуди і власні частоти коливань основи значно нижчі ніж у покриття. Суть дробового резонансу в тому, що зростання амплітуд коливань одного з двох елементів системи можливе не тільки у разі збігу власних частот коливань, а й тоді, коли їх відношення дорівнює цілому числу.

\* Сорокин Е.С. К вопросу неупругого сопротивления стройматериалов при колебаниях. – М.: Научное сообщество ЦНИИТ. – 1984. – Вып 15. – 128 с.

У системі “покриття–основа” другий елемент (основа) разом з приєднаним шаром ґрунту має практично нелінійний зв’язок через значні за величиною сили непружного опору. Ця обставина є причиною того, що амплітуди і власні частоти коливань основи значно нижчі ніж у покриття. Суть дробового резонансу в тому, що зростання амплітуд коливань одного з двох елементів системи можливе не тільки у разі збігу власних частот коливань, а й тоді, коли їх відношення дорівнює цілому числу.

Найбільша ймовірність виникнення внутрішнього дробового резонансу в системі “покриття–основа” існує, коли відношення власних частот коливань покриття і основи дорівнює двом (див. таблицю). Внутрішній дробовий резонанс є основною, але не єдиною причиною збільшення напружено-деформованого стану покриття для прошарків завтовшки (0,16–0,25) Н за дії динамічних навантажень.

У таких конструкціях за дії динамічних навантажень, що спричиняють коливний процес, спостерігається явище відриву плити покриття від основи. Аналіз осцилограм вільних коливань покриття в таких конструкціях показує, що після першого півперіоду коливань плита коливалась відносно нового, зміщеного догори центру ваги. Явище відриву спостерігалось як в лабораторних, так і в натурних умовах (рисунок).



*Залежність амплітуд коливань плит покриття і основи від товщини прошарку між ними: 1 – покриття; 2 – основа*

**Висновки.** У натурних умовах резонансні явища мають явно виражений характер тільки під час проїзду по бетонних покриттях суцільних транспортних потоків. При проектуванні і будівництві цементобетонних покриттів на укріплених цементом основах для доріг високих категорій з великою інтенсивністю руху не потрібно влаштовувати нежорсткі прошарки між плитами покриття і основи. Така конструкція, коли відсутні будь-які прошарки між покриттям і основою, працює як об’єднана плита, і ймовірність виникнення резонансних процесів різко знижується.