

ДИНАМІКА БЕТОННИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ НА РІЗНИХ ОСНОВАХ

© Думич І.Ю., Сало В.Ю., Балаян Н.О., 2007

Наведено результати випробування моделей бетонних дорожніх покриттів на укріплених цементом основах у разі дії вібродинамічного навантаження за різних товщин нежорсткого прошарку між плитами покриття і основи. Теоретично обґрунтовано можливість резонансних явищ за певної товщини прошарку.

The fatigue test data of concrete road pavement models on the cement strengthening basements at different depth of sand underpayments between plates and basements was described. Resonance theoretical solution that depending of underpayments depth was given too.

Постановка проблеми. Дія рухомого автомобільного навантаження на дорожнє покриття завжди має динамічний характер, оскільки зростання навантаження від нуля до максимального значення відбувається упродовж часу, що вимірюється сотими частками секунди. Чим більша швидкість руху автомобіля, тим коротший час прикладання навантаження і тим більший за інших рівних умов динамічний характер навантаження. Крім швидкості, на динамічність автомобільного навантаження істотно впливають нерівності покриття і коливальна система автомобіля. Динамічна дія автомобіля на покриття має ударний характер за значних швидкостей. А тому на цементобетонних покриттях, що мають мале демпфування, тобто незначний коефіцієнт непружного опору, динамічний ефект від рухомого навантаження проявляється більше ніж на асфальтобетонних.

Під час випробувань моделей бетонних покриттів на різних основах на витривалість вібродинамічним навантаженням було встановлено, що динамічність навантаження істотно залежить також від типу основи. У разі укріплених цементом основ динамічність залежить і від товщини нежорсткого прошарку між плитами покриття і основи. Такі прошарки влаштовуються з метою повністю або частково виключити зчеплення між плитами покриття і укріпленої цементом основи, щоб зменшити температурні напруження за умови вільного переміщення плит.

Подібні конструкції являють собою двошарові плити. При статичних навантаженнях кожна з плит працює окремо, причому загальний згинальний момент розподіляється пропорційно циліндричним жорсткостям плит покриття та основи. При динамічних навантаженнях конструкція “плита покриття–прошарок–плита основи” здійснює складний коливальний процес як двомасова система. При динамічних навантаженнях у коливальному процесі беруть участь всі елементи дорожньої конструкції – покриття, основа, земполотно.

Основними параметрами коливального процесу є амплітуда і частота. Амплітуда, тобто динамічний прогин, залежить не тільки від величини навантаження і жорсткості конструкції, але і від мас плит покриття та основи і, переважно, від швидкості прикладання навантаження. Щодо частоти, то розрізняють частоту вимушених коливань, яка визначається швидкістю прикладання навантаження, і частоту власних коливань, що залежить від геометричних розмірів плит покриття та основи і їх жорсткостей. Частоту власних коливань можна визначити записуванням осцилограм коливань плит від ударного навантаження.

Мета досліджень – встановити залежність динамічних прогинів бетонних дорожніх покриттів на укріплених цементом основах від товщини нежорсткого прошарку між плитами покриття та основи.

Результати досліджень та їх обговорення. Дослідження витривалості моделей бетонних покриттів на укріплених цементом основах під дією повторних вібродинамічних навантажень у лабораторії кафедри автомобільних шляхів показали, що від товщини прошарку між плитами покриття та основи істотно залежать динамічні прогини покриття. Для детального вивчення цього питання були випробувані шість типів моделей бетонних покриттів товщиною 5 см на цементогрунтовій основі такої самої товщини з різними товщинами піщаного прошарку (від 0 до 10 см).

Під час випробувань заміряли динамічні прогини плит покриття та основи встановленням вібродавача на різні позиції плит і записуванням осцилограм коливального процесу. Найхарактерніші залежності динамічних прогинів покриттів і основ від товщини прошарку між ними спостерігались для середньої третини плити, де була розміщена віброустановка. Результати випробувань наведені в таблиці.

**Динамічні прогини плит покриття та основи
при різних товщинах прошарку між ними**

Товщина піщаного прошарку, см	Прогини середини вільного краю плит, мм		Прогини середини защемленого краю плит, мм	
	Основа	Покриття	Основа	Покриття
0,0	0,26	0,28	0,17	0,18
0,5	0,20	0,36	0,16	0,30
1,0	0,22	0,70	0,12	0,38
2,0	0,15	0,62	0,10	0,33
5,0	0,16	0,34	0,13	0,25
10,0	0,15	0,36	0,12	0,24

Аналіз наведених в таблиці результатів показує, що під час влаштування нежорстких прошарків між плитами покриття та основи товщиною (0,15–0,30 Н), де Н – товщина плити покриття, істотно зростає напружено-деформований стан покриття. До того ж напружено-деформований стан основи не тільки не зростає, а й дещо знижується.

Для теоретичного аналізу цього явища використовуємо модель, що складається з двох мас і двох пружних елементів, на яку діє циклічне навантаження $P \sin \omega t$. Приймаємо, що m_1 – нижня маса, тобто плита основи з жорсткістю C_1 , а m_2 – верхня маса, тобто покриття з жорсткістю прошарку C_2 , на яке діє циклічне навантаження. Крім того, необхідно враховувати, що нижній пружний елемент, на якому лежить плита основи (грунт земполотна) деформується з коефіцієнтом непружного опору χ_1 , а верхній елемент (прошарок), на якому лежить плита покриття – з коефіцієнтом χ_2 . Для визначення амплітуд коливань покриття та основи використовуємо відомий розв’язок В.С. Ільїнського [1] для двомасової системи. Диференціальні рівняння, що описують коливання такої системи, мають вигляду

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{Z}_1 + (1 + i\chi_1)C_1 Z_1 - (1 + i\chi_2)C_2 (Z_2 - Z_1) &= 0 \\ m_2 \ddot{Z}_2 + (1 + i\chi_2)C_2 (Z_2 - Z_1) &= P \sin \omega t, \end{aligned} \quad (1)$$

де z_1 ; z_2 – динамічні прогини відповідно основи і покриття.

Наведені диференціальні рівняння мають комплексний вигляд. Використання уявної одиниці i означає, що сили непружного опору (дисипативні сили) зсунуті по фазі на 90° від відновлювальних (пружних) сил. Це положення теоретично встановлено і експериментально підтверджено в роботах Є.С. Сорокіна [2].

Коефіцієнти непружного опору χ , що входять в рівняння (1), можуть бути визначені тільки експериментально. Для цього необхідно записати осцилограми вільних коливань плит покриття та основи. У лабораторії для цього використовували ударну установку, а в натурних умовах – різке гальмування навантаженого автомобіля КРАЗ-256 Б. Формула для визначення χ має вигляд:

$$\chi = \frac{1}{\pi} \ln \frac{A_n}{A_{n+1}}, \quad (2)$$

де A_n і A_{n+1} – дві суміжні амплітуди затухальних вільних коливань плит покриття чи основи.

Розв'язок рівняння (1) з врахуванням дисипативних непружних сил дуже громіздкий. А тому, нехтуючи цими силами, після розв'язання рівнянь (1) отримуємо такі вирази для визначення амплітуд коливань плит основи і покриття.

$$A_1 = \frac{PC_2}{C_1C_2 - C_2\omega^2(m_1 + m_2) - m_2\omega^2C_1 + m_1m_2\omega^4}$$

$$A_2 = \frac{P(C_1 + C_2 - m_1\omega^2)}{(C_2 - m_2\omega^2)(C_1 + C_2 - m_1\omega^2) - C_2^2}; \quad (3)$$

де A_1 і A_2 – амплітуди коливань відповідно плит основи і покриття.

Після деяких перетворень отримуємо

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{C_1 + C_2 - m_2\omega^2}{C_2} \quad (4)$$

На основі аналізу рівняння (4) і зіставленні експериментальних значень амплітуд коливань плит основи і покриття за різної товщини нежорсткого прошарку між ними можна зробити висновок про те, що найефективнішою є система, в якій жорсткість проміжного шару C_2 наближається до нескінченності. Дійсно, якщо прошарок відсутній ($C_2 \rightarrow \infty$), то це відповідає випадку об'єднаної маси обох плит. У такому варіанті амплітуда коливань покриття найменша, а відношення амплітуд коливань покриття і основи наближається до одиниці ($\frac{A_2}{A_1} \rightarrow 1$). Зменшуючи значення C_2 (збільшення товщини прошарку), ефект об'єднаної маси знижується, амплітуда покриття A_2 різко зростає, при цьому амплітуда основи A_1 навіть дещо зменшується. За подальшого збільшення товщини прошарку, тобто зменшення жорсткості C_2 , значно зростають сили непружного опору (демпфування), і амплітуда покриття зменшується. Як показують дослідження М.В. Закржевського [3], в двомасових нелінійних системах (а такими є бетонні покриття на цементогрунтових основах) можливий внутрішній дробовий резонанс, якщо частота вільних коливань обох мас відноситься як ціле число. Записи осцилограм вільних коливань плит покриття і основи як в лабораторії, так і в наступних умовах показують, що при товщині нежорсткого прошарку (0,15-0,3) Н, де Н – товщина покриття і основи, наближається до двох. Це і є причиною резонансних явищ, коли існують насичені транспортні потоки на обох смугах покриття.

Висновки. Під час проектування цементобетонних дорожніх покриттів на укріплених цементом основах товщину вирівнювального шару між ними зменшувати до мінімуму (1–2) см або зовсім відмовитись від нього. Такі конструкції працюють як об'єднана плита, а наявність зчеплення між покриттям і основою позитивно впливає на несучу здатність конструкції загалом.

1. Ильинский В.С. *Защита аппаратов от динамических воздействий*. – М.: Энергия, 1970. – 125 с. 2. Сорокин Е.С. *Метод учета неупругого сопротивления при расчете конструкций на колебания*. – М.: Госстройиздат, 1960. – 130 с. 3. Закржевский М.В. *Колебания существенно-нелинейных упругих систем*. – Рига: Зинатис, 1980. – 186 с.