

ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ ЖОРСТКОГО ТИПУ

Солодкий С.Й., д.т.н., професор,
Думич І.Ю., к.т.н., доцент
Національний університет «Львівська політехніка»
s.solodkyy@ukr.net

Анотація. На моделях плит в лабораторних умовах і на реальних дорожніх одягах досліджено динамічну стійкість монолітних цементобетонних покриттів на основах різних типів. Визначені коефіцієнти динамічності і запропоновані рівняння витривалості для трьох узагальнених типів дорожніх бетонних покриттів на різних основах, що дають змогу розраховувати товщину монолітної бетонної плити залежно від прогнозованої кількості проходів розрахункових автомобілів і типу основи.

Ключові слова: жорсткий дорожній одяг, монолітне бетонне покриття, основа, динамічна стійкість, витривалість.

ДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ЖЕСТКОГО ТИПА

Солодкий С.И., д.т.н., профессор,
Думыч И.Ю., к.т.н., доцент
Национальный университет «Львовская политехника»
s.solodkyy@ukr.net

Аннотация. На моделях плит в лабораторных условиях и на реальных дорожных одеждах исследована динамическая стойкость монолитных цементобетонных покрытий на основаниях разных типов. Определены коэффициенты динамичности и предложены уравнения выносливости для трех обобщенных типов дорожных бетонных покрытий на разных основаниях, что дает возможность рассчитать толщину монолитной бетонной плиты в зависимости от прогнозированного количества проходов расчетных автомобилей и типа основания.

Ключевые слова: жесткая дорожная одежда, монолитное бетонное покрытие, основание, динамическая стойкость, выносливость.

DYNAMIC STRENGTH OF RIGID PAVEMENTS

Solodkyy S.J., Doctor of Engineering, Professor
Dumich I.Y., Ph.D., Assistant Professor
Lvov National University "Lvov Polytechnic"
s.solodkyy@ukr.net

Abstract. The dynamic strength of monolithic cement concrete coatings on substrates of various types was investigated on laboratory models of plates and on real pavements. The coefficients of dynamic quality were determined and equations of fatigue strength for three generalized types of concrete pavements on different road substrates were offered. It allows calculating the thickness of a monolithic concrete slab based on the projected number of passes of cars and type of foundations. It was found that the pavements on sand and cement and gravel and cement substrates have got the greatest fatigue strength on condition that the ratio of the thickness of the slabs and the substrate is approximately equal to one.

To improve the dynamic stability of the reinforced concrete pavement on cement and ground substrates it is necessary to avoid the placement of any non-rigid layers between the plates and substrates. Such constructions due to the adhesion between the plate and the substrate work as joined plate with increased load capacity. To compensate the thermal stress it is enough to reduce the distance between the contraction joints of a concrete plate.

Keywords: rigid pavement, jointed unreinforced concrete pavement, road foundation, dynamic strength, fatigue strength.

Вступ. Дія рухомого автомобіля на дорожнє покриття завжди має динамічний характер, оскільки зростання навантаження від нуля до максимального значення відбувається протягом дуже короткого часу, що вимірюється сотими долями секунди. Чим вища швидкість руху автомобіля, тим менший час прикладання навантаження, тим більший за інших рівних умов динамічний характер навантаження. Динамічна дія автомобіля на покриття має ударний характер за великих швидкостей, тому на жорстких цементобетонних покриттях, що мають незначне демпфування, динамічний ефект від рухомого навантаження проявляється більшою мірою, ніж на нежорстких асфальтобетонних.

В цьому контексті жорсткі покриття програють асфальтобетонним, які здатні за рахунок демпфування значною мірою зменшувати і вирівнювати динамічні впливи на дорожню конструкцію. В непружних середовищах (асфальтобетон) під час поширення хвиль напружень відбувається часткова втрата механічної енергії за рахунок її перетворення в теплову. Механізм перетворення енергії пов'язаний з циклічним характером навантаження, а також із в'язкістю середовища [1], яка піддається регулюванню певними технологічними чинниками.

Відтак, дослідження динамічної стійкості дорожніх одягів жорсткого типу і розроблення рекомендацій щодо їх конструювання за даним критерієм мінімізують ризики їх дочасного руйнування під впливом рухомого динамічного навантаження. Під динамічною стійкістю покриття розуміємо його здатність сприймати динамічні навантаження від транспортних засобів без значного відхилення коефіцієнта динамічності від одиниці.

Одним із ефективних способів підвищення динамічної стійкості цементобетонних покриттів є влаштування основ із матеріалів, укріплених цементом. Такі основи істотно збільшують витривалість бетонних покриттів за певних співвідношень товщини плит основ і покриттів, а також зменшують амплітуди коливань плит залежно від наявності чи відсутності нежорсткого прошарку між плитами покриття та основи.

Основна частина. Під час руху автомобіля по бетонному покриттю хвиля прогину рухається разом із автомобілем. Плита покриття коливається відносно зміщеного центру ваги, при цьому амплітуди коливань у 3-4 рази менші, ніж статичний прогин залежно від типу основи (рис.1). Динамічну стійкість покриття чисельно характеризують відношенням суми статичного прогину і амплітуди коливань до значення статичного прогину. Чим менше це відношення, тим більша динамічна стійкість покриття.

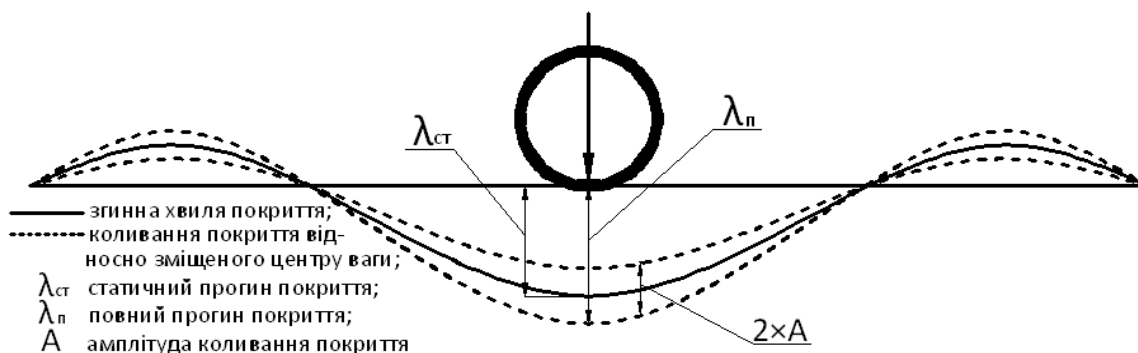


Рис. 1. Схема до визначення коефіцієнта динамічності

Динамічні навантаження на цементобетонні покриття не тільки посилюють їх напружено-деформований стан, але й викликають небажані прискорення у приконтатному ґрунтовому шарі земполотна. За прискорених коливань покриття в межах від 0,05 до 0,20g відбувається доущільнення ґрунтів і зниження їх опору зсуву, особливо піщаних і супіщаних. Значення критичних прискорень, що не викликають зниження опору ґрунтів зсуву, дуже малі і вимірюються сотими долями *g*. Отже, динамічна дія автомобіля істотно впливає на вертикальну стійкість цементобетонних покриттів.

Динамічні прогини (амплітуди коливань) більш стабільні, ніж статичні. Це свідчить про те, що миттєво прикладенні навантаження (динамічні) сприймаються в основному покриттям та основою і меншою мірою земполотном. Натомість земполотно дуже чутливе до статичних навантажень.

Як амплітуди, так і частоти вимушених коливань на будь-яких основах залежать від швидкості руху автомобіля. Чим більша швидкість, тим коротший час прикладання навантаження і більший динамічний ефект. За результатами досліджень запропоновані залежності амплітуд коливань від швидкості руху автомобіля для покриттів на різних основах можна виразити наступними формулами:

– для покриттів на неукріплених основах:

$$A = 0,87 \times 10^{-4} \times V^{1,6}; \quad (1)$$

– для покриттів на укріплених цементом основах за наявності нежорсткого прошарку:

$$A = 0,28 \times 10^{-4} \times V^{1,5}; \quad (2)$$

– для покриттів на укріплених цементом основах без будь-яких прошарків (об'єднана плита):

$$A = 0,18 \times 10^{-4} \times V^{1,4}. \quad (3)$$

В приведених формулах швидкість *V* виражена в км/год., а амплітуда *A* – в мм. Формули справедливі для середини вільного краю плити (поз.1, рис.2) за маси рухомого автомобіля близько 25 т. За інших значень мас автомобіля амплітуди будуть змінюватись пропорційно масі.

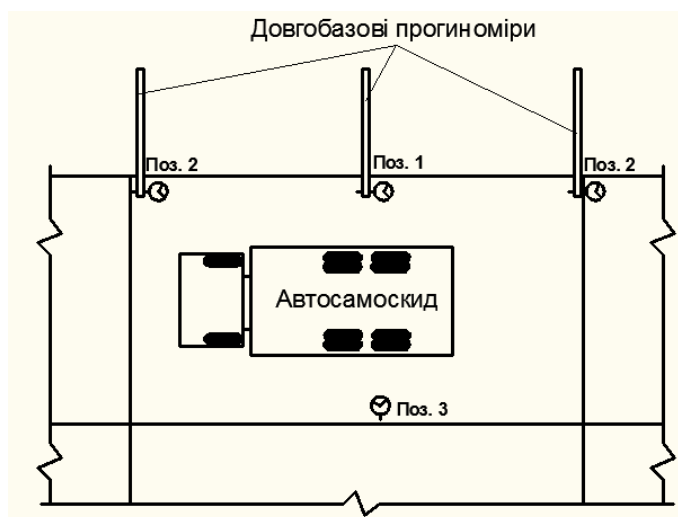


Рис. 2. Визначення статичних прогинів вільного краю покриття під час руху автомобіля із швидкістю 2 км/год

Амплітуди коливань покриттів на будь-яких основах зростають приблизно в 3 рази із збільшенням швидкості автомобіля з 30 до 70 км/год. Частоти вимушених коливань змінюються наступним чином: для покриттів на неукріплених основах за вищевказаного зростання швидкості частоти вимушених коливань збільшились в 1,8...1,9 рази; для покриттів на укріплених основах – лише на 10...15% (за наявності нежорсткого прошарку на 30%) [2]. Стабільність частоти в даному випадку пояснюється тим, що ефективна коливальна

маса покриттів на укріплених основах майже вдвічі більша (покриття плюс основа), а це призводить до стабільності напружено-деформованого стану таких покриттів навіть за зростання швидкості автомобілів.

Як показали випробування, за дії повторних динамічних навантажень плита покриття, цементогрунтова основа і приконтатний ґрунтовий шар коливаються із різними амплітудами. Величина відношення амплітуд основи і покриття A_o/A_n залежить значною мірою від типу основи, а для укріплених цементом основ – від співвідношення товщин плит основи і покриття H_o/H_n . Так, для покриттів на ґрунтовій, щебеневій і бітумоґрунтовій основах (далі – I тип покриттів) величина A_o/A_n складає 0,45...0,55 в початковій стадії і знижується до 0,25...0,30 після двох мільйонів циклів. Для покриттів на цементогрунтових основах за відношень H_o/H_n близьких до одиниці (далі – II тип покриттів) A_o/A_n найбільше і складає 0,9...1,0 в початковій стадії випробувань і неістотно знижується після двох мільйонів циклів. Проміжні значення A_o/A_n мають покриття на цементогрунтових основах, в яких відношення H_o/H_n складає відповідно 2,0 і 0,45, тобто значно відрізняються від одиниці (далі – III тип покриттів).

За результатами випробувань моделей дванадцяти видів покриттів на різних основах були складені рівняння кривих витривалості для трьох узагальнених типів дорожніх бетонних покриттів на різних основах. Отримані рівняння витривалості мають вид [3]:

– для I типу покриттів:

$$\text{LgN} = 7,0 - \frac{30,7P \left[0,059 - 0,093 \ln \left(\frac{r}{L} \right) \right]}{H^2 R_{зг.}}; \quad (4)$$

– для II типу покриттів:

$$\text{LgN} = 9,0 - \frac{37,5P \left[0,059 - 0,093 \ln \left(\frac{r}{L} \right) \right]}{H^2 R_{зг.}}; \quad (5)$$

– для III типу покриттів:

$$\text{LgN} = 8,5 - \frac{36,0P \left[0,059 - 0,093 \ln \left(\frac{r}{L} \right) \right]}{H^2 R_{зг.}}. \quad (6)$$

Отримані рівняння встановлюють залежність кількості проходів автомобілів (довговічність покриття N) із навантаженням на колесо P від товщини бетонного покриття (H) для трьох узагальнених типів (також, r – радіус сліду колеса автомобіля, L – пружна характеристика плити, $R_{зг.}$ – міцність при згині матеріалу покриття). Користуючись формулами (4-6) можна визначити товщину бетонних покриттів залежно від прогнозованої кількості проходів розрахункових автомобілів і типу основи. В отриманій методиці відсутній температурний чинник. Проте, це не знижує її переваг, оскільки повторність температурних напружень за термін служби покриття є незначною порівняно з повторністю напружень від рухомих навантажень.

Аналіз формул (4-6) показує, що найбільшу витривалість мають покриття II типу на піскоцементних і гравієцементних основах за співвідношенням товщини плит і основи покриття близьких до одиниці. Це пов'язано з тим, що плита покриття і плита укріпленої цементом основи майже рівно напружені, тобто співвідношення між ними підпорядковуються наступній формулі:

$$H_o = \frac{n_1}{n_2} H_n, \quad (7)$$

де $n_1 = \frac{E_n}{E_o}$ і $n_2 = \frac{R_{зг.}}{R_{зг.o}}$ (E_n – модуль пружності матеріалу плити покриття; E_o – еквівалентний модуль пружності матеріалу основи; $R_{зг.}$ та $R_{зг.o}$ – міцність при згині матеріалів покриття і основи відповідно).

Для наших моделей покриттів і основ маємо: $H_o = 0,9H_n$

Натурні випробування бетонних покриттів на основах п'яти типів доповнюють лабораторні дослідження і наочно підтверджують істотний вплив основ на напружено-деформований стан і несучу здатність покриттів. Так, аналіз отриманих результатів свідчить, що статичні прогини покриттів на неукріплених основах приблизно в 1,5...2 рази, а амплітуди коливань в 2...3 рази більші, ніж покриттів на укріплених цементом основах. Для покриттів на неукріплених основах (піщаних і гравійних) прогини і амплітуди вільного кута плити (поз.2, рис.2) приблизно в 1,4...1,9 рази більші відповідних показників для середини вільного краю (поз.1, рис.2). Для покриттів на укріплених основах ця різниця незначна – приблизно 10...15%. Це означає, що від'ємні згинальні моменти в приторцевих частинах плити незначні для покриттів на укріплених цементом основах.

Натурні випробування бетонних покриттів рухомими навантаженнями дають змогу диференційовано підійти до визначення коефіцієнта динамічності залежно від типу основи. Під час руху автомобіля по покриттю має місце згинна хвиля, що рухається разом з автомобілем (рис. 1).

Максимальна ордината згинної хвилі, що співпадає з центром найбільш навантаженої осі автомобіля є статичним прогином $\lambda_{ст.}$. За значних швидкостей автомобіля покриття коливається відносно нового зміщеного вниз центра ваги, положення якого визначається ординатою згинної хвилі, тобто статичним прогином. Амплітуди коливань значно менші статичного прогину і є тільки частиною повного прогину, що дорівнює сумі статичного прогину та амплітуди. Коефіцієнт динамічності визначаємо як відношення повного прогину до статичного:

$$K = (\lambda_{ст.} + A) / \lambda_{ст.} \quad (8)$$

Використовуючи формулу (8) і отримані результати, визначаємо коефіцієнти динамічності для покриттів на різних основах для вільного краю плити (найбільш напруженого) за швидкості руху автомобіля 70 км/год.

Висновки.

1. Для покриттів на неукріплених цементом основах (піщаних і гравійних) коефіцієнт динамічності становить 1,30-1,35 – це динамічно нестійкі покриття.
2. Для покриттів на укріплених цементом основах за відсутності будь-яких нежорстких прошарків між плитами покриття та основи коефіцієнт динамічності становить 1,10-1,15 – це динамічно стійкі покриття.
3. Наявність нежорстких прошарків між плитами покриття та основи знижує динамічну стійкість покриття і підвищує коефіцієнт динамічності до 1,25.
4. Запропоновані рівняння витривалості для трьох узагальнених типів дорожніх бетонних покриттів на різних основах, що дають змогу розраховувати товщину монолітної бетонної плити залежно від прогнозованої кількості проходів розрахункових автомобілів і типу основи.
5. Встановлено, що найбільшу витривалість мають покриття на піскоцементних і гравієцементних основах за співвідношення товщини плит і основи покриття близьких до одиниці.

Література

1. Гезенцевей Л.Б. Дорожний асфальтобетон / Л.Б. Гезенцевей, Н.В. Горельшев, А.М. Богуславский, И.В. Королев. – М.: Транспорт, 1985. – 350с.
2. Солодкий С.Й. Деякі аспекти конструювання монолітних цементобетонних дорожніх покриттів за критерієм динамічної стійкості / С.Й. Солодкий, І.Ю. Думич // Автошляховик України. – 2015. – № 1-2. – С. 81-83.
3. Солодкий С.Й. Вплив типу основи на витривалість монолітних цементобетонних дорожніх покриттів / С.Й. Солодкий, І.Ю. Думич // Автошляховик України. – 2014. – №2. – С. 23-26.