

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 625.841

- © С.Й. Солодкий, докт. тех. наук, професор,
- © І.Ю. Думич, канд. тех. наук, доцент (Національний університет “Львівська політехніка”)

ВПЛИВ ТИПУ ОСНОВИ НА ВИТРИВАЛІСТЬ МОНОЛІТНИХ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

Анотація. Представлено дослідження залежностей витривалості бетонних покриттів на основах різних типів за критерієм жорсткості. Залежності встановлені експериментальним шляхом на моделях дорожніх одягів із використанням теорії математичного планування експерименту.

Ключові слова: дорожні одяги жорсткого типу, монолітні бетонні покриття, основи, витривалість, довговічність.

Аннотация. Представлено исследование зависимостей выносливости бетонных покрытий на основаниях разных типов по критерию жесткости. Зависимости установлены экспериментальным путем на моделях дорожных одежд с использованием теории математического планирования эксперимента.

Ключевые слова: дорожные одежды жесткого типа, монолитные бетонные покрытия, основания, выносливость, долговечность.

Annotation. Research of dependences of fatigue strength of jointed unreinforced concrete pavement is presented on road foundation of different types on the criterion of inflexibility is presented. Dependences are set experimental a way on the models of rigid pavement with the use of theory of the mathematical planning of experiment.

Key words: rigid pavement, jointed unreinforced concrete pavement, road foundation, fatigue strength, longevity.

Вступ

Останнім часом поживався інтерес дослідників до проблеми розгортання будівництва в Україні дорожніх одягів жорсткого типу і, зокрема, монолітних цементобетонних покриттів [1 – 3]. Технічна, економічна та екологічна доцільність реалізації такої програми не викликає сумнівів. У зв'язку з тотальним дефіцитом органічних в'язучих все більшу питому вагу в мережі як швидкісних автомагістралей, так і місцевих доріг займають дороги із цементобетонними покриттями, які можна влаштовувати високопродуктивними сучасними комплексами і засобами малої механізації. Тому сьогодні на підставі узагальнення наявного досвіду проектування, будівництва та експлуатації цементобетонних покриттів, а також нових результатів наукових досліджень необхідно запро-

понувати виробництву чіткі рекомендації щодо реалізації такої програми.

Ні один із типів дорожніх покриттів не підлягав такому детальному вивченню як цементобетонні. Проте, і дотепер деякі проблеми, пов'язані з конструюванням і розрахунком бетонних покриттів залишаються невирішеними. Питанням розрахунку бетонних покриттів автомобільних доріг присвячені роботи В.Ф. Бабкова, Й.А. Меднікова, В.А. Чернігова і багатьох інших. Серед зарубіжних дослідників необхідно відзначити роботи американського вченого Уестергарда. Теорія розрахунку плит на пружній основі пов'язана з іменами М.І. Горбунова-Посадова, О.Я. Шехтер, Б.І. Жемочкіна та інших. Проте, незалежно від результатів розрахунку, товщину бетонних покриттів зазвичай призначають з конструктивних міркувань



на підставі досвіду експлуатації побудованих ділянок. Професор В.Ф. Бабков із цього питання в роботі [4] написав: “причиною такого не зовсім теоретично обґрунтованого проектування є недостатньо всебічне вивчення роботи основ під бетонними плитами і особливості бетону як будівельного матеріалу, що відрізняється від пружно-ізотропних тіл будівельної механіки”.

Недостатнє вивчення роботи основ призводить до недооцінювання їх впливу на несучу здатність бетонних покриттів. Сьогодні вважається достатнім забезпечення модуля пружності основи під бетонне покриття на рівні 120 МПа і 150 МПа відповідно при застосуванні неукріплених і укріплених в'язучими матеріалів у шарах основи. Проте, не обумовлюється в який спосіб необхідно досягнути даного рівня значень. Водночас оцінювання жорсткості основ із матеріалів, укріплених цементом, за значенням еквівалентного модуля пружності за номограмами для розрахунку нежорстких дорожніх одягів значно знижує несучу здатність таких основ і дорожнього одягу загалом.

Це питання набуває особливої актуальності під час застосування під покриття основ із укріплених цементом матеріалів (грунтоцемент, гравіцемент, пісний бетон). Грунтоцементні та гравіцементні основи мають значно розподільну здатність порівняно з неукріпленими основами, що приводить до істотного підвищення несучої здатності бетонних покриттів. Під несучою здатністю розуміємо, перш за все, витривалість бетонних покриттів, тобто кількість циклів повторних розрахункових навантажень від початку експлуатації до появи тріщин втоми у найбільш напруженому вперетині покриття [5]. Витривалість покриття в кінцевому рахунку визначає його довговічність.

Розрахунок бетонних покриттів на укріплених цементом основах необхідно виконувати як двошарових плит із розподіленням загального згинального моменту пропорційно циліндричним жорсткостям плит основи і покриття. При цьому модулі пружності бетону і матеріалу основи необхідно визначати шляхом випробування на згин стандартних призм $15 \times 15 \times 60$ см або $10 \times 10 \times 40$ см із фіксацією пружних прогинів.

Метою представлених досліджень є встановлення залежностей витривалості бетонних покриттів від типу основи за критерієм жорсткості. Залежності встановлені експериментальним шляхом в лабораторних умовах із використанням теорії математичного планування експерименту.

Основна частина

У реальних умовах цементобетонні покриття працюють під дією повторних динамічних навантажень від рухомих транспортних засобів. У лабораторних умовах випробування бетонних покриттів на витривалість були виконані на моделі ділянки покриття

в масштабі 1:3 довжиною 6 м і шириною 2 м, що складалась із шести плит розміром 2×1 м кожна, об'єднаних зв'язками за типом швів стискання (рис. 1).

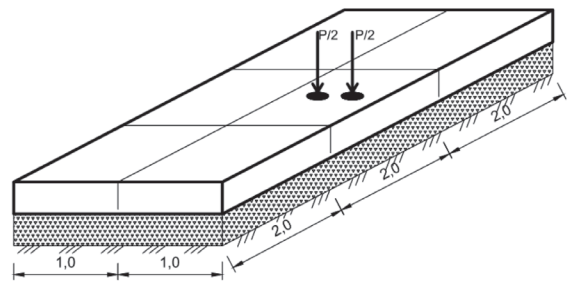


Рис. 1. Модель ділянки дорожнього одягу

Дві середні плити і основи під ними постійно змінювали і піддавали випробуванням на витривалість. Всього було випробувано 12 моделей конструкцій дорожнього одягу: покриття товщиною 5 см, 7 см і 9 см на ґрунтовій основі і на основах із цементогрунту товщиною 5 см і 10 см (двофакторний експеримент на трьох рівнях), а також покриття товщиною 7 см на щебеневій, бітумогрунтовій і гравіцементній основах товщиною 7 см.

Для створення повторних динамічних навантажень була сконструйована віброустановка із зусиллям на два штампи від 20 кН до 35 кН (рис. 2). Навантаження змінювали шляхом зміни жорсткості пружин віброустановки. Частота коливань віброустановки складала 23 Гц, що відповідає 1 400 обертам за хвилину електродвигуна потужністю 3 кВт. Динамічні прогини (амплітуди коливань) покриттів і основ у різних точках фіксували вібродатчиками із записом коливань за допомогою осцилографа. Найбільш напруженою була середня третина плити, а найбільші динамічні прогини виникали в середині вільного краю плити покриття. Величину згинальних моментів і напружень у плитах покриття визначали за кривизною зігнутих перетинів і контролювали за формулою Горбунова-Посадова [6].

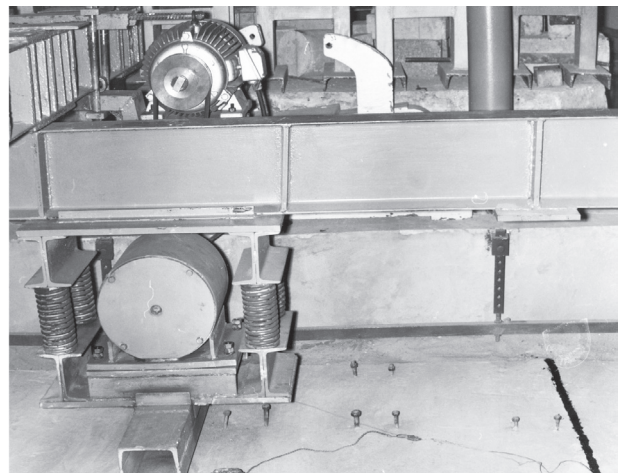


Рис. 2. Експериментальна установка і модель дорожнього одягу для дослідження витривалості бетонного покриття



Моделі покриттів виготовляли в лабораторії кафедри “Автомобільні шляхи” Національного університету “Львівська політехніка” з важкого бетону класу В20, який до початку випробувань мав міцність на розтяг при згині $R_{зг} = 4,0$ МПа і модуль пружності $E_{п.} = 25 \cdot 10^3$ МПа. Лабораторія оснащена ямою з природною ґрунтовою основою. Штучні основи під покриття виготовляли із дрібного піску, укріпленого портландцементом М400 – масова частка 9 % за оптимальної вологості – масова частка 10 %. До початку випробувань піскоцемент мав міцність на стиск $R_{ст.} = 4,0$ МПа, міцність на розтяг при згині $R_{зг.о.} = 1,0$ МПа і модуль пружності визначений шляхом випробування призми $10 \times 10 \times 40$ см на згин $E_o = 7 \cdot 10^3$ МПа. Модуль пружності ґрунтової основи (супісок піщанистий), а також еквівалентні модулі пружності піскоцементних плит товщиною 5 см і 10 см на ґрунті визначали штамповим методом (діаметр жорсткого штампу 34 см) і склали відповідно: 70 МПа, 140 МПа і 260 МПа. Між плитами основ і покриттів не влаштували ніяких прошарків.

Перші дев'ять типів покриттів товщиною 5 см, 7 см і 9 см на ґрунтовій основі і на піскоцементних основах товщиною 5 см і 10 см влаштували двічі і випробували при двох різних динамічних навантаженнях на два штампи – 23 кН і 35 кН. Це викликано необхідністю отримання більшої кількості точок для побудови кривих витривалості, тобто залежності кількості циклів повторних навантажень N від початку випробувань до утворення тріщини в найбільш напруженому перетині від рівня напружень $\sigma / R_{зг.}$. Кількість циклів навантажень фіксували кількістю обертів електродвигуна віброустановки.

Несучу здатність бетонних покриттів на різних основах характеризували не тільки за кривими витривалості, але й за відношенням амплітуд коливань плити основи або ґрунтового шару і плити покриття, а також за зміною цього відношення із зростанням кількості циклів навантажень. Крім цього, найбільш напружені перетини – середина вільного і защемленого краю і центр плити покриття прозвучували ультразвуковим приладом до початку випробувань і після двох мільйонів циклів з метою встановлення ступеня послаблення перетинів за зміною швидкості проходження ультразвуку. Особливо важливими ці випробування є для перетинів, де видимі тріщини не з'явилися навіть після двох мільйонів циклів (24 години роботи віброустановки).

Як показали випробування, при дії повторних динамічних навантажень плита покриття, цементно-ґрунтова основа і приконтатний ґрунтовий шар коливаються з різними амплітудами. Величина відношення $\lambda_o / \lambda_{п.}$ залежить значним чином від типу основи, а для укріплених цементом основ від співвідношення товщин плит основи і покриття $H_o / H_{п.}$.

Так, для покриттів на ґрунтових, щебеневій і бітумоґрунтовій основах (далі – I тип покриттів) величина $\lambda_o / \lambda_{п.}$ складає 0,45 – 0,55 в початковій стадії і знижується до 0,25 – 0,30 після двох мільйонів циклів. Для покриттів на цементноґрунтових основах при відношеннях $H_o / H_{п.}$ близьких до одиниці (далі – II тип покриттів) $\lambda_o / \lambda_{п.}$ найбільше і складає 0,9 – 1,0 в початковій стадії випробувань і не істотно знижується після двох мільйонів циклів. До цих конструкцій відносяться покриття товщиною 5 см і 7 см на цементноґрунтових основах 5 см і покриття товщиною 9 см на цементноґрунтовій основі 10 см. Проміжні значення $\lambda_o / \lambda_{п.}$ мають покриття 5 см і 9 см на цементноґрунтових основах 10 см і 5 см, в яких відношення $H_o / H_{п.}$ складає відповідно 2,0 і 0,45, тобто значно відрізняються від одиниці (далі – III тип покриттів).

Витривалість при згині бетону, що працює безпосередньо в покриттях під дією рухомих повторних навантажень, істотно відрізняється від витривалості бетону в стандартних призмах. Визначення витривалості бетону на зразках проводять при стабільних рівнях напружень $\sigma / R_{зг.}$ і характеристиках циклів напружень $\rho = \sigma_{мін.} / \sigma_{мак.}$. У покриттях за рахунок неоднакової жорсткості основ і внаслідок накопиченням залишкових деформацій рівні напружень зростають із збільшенням кількості циклів навантажень N . Ступінь зростання рівнів напружень залежить від типу основи. Лабораторний зразок доводять до руйнування при певному рівні напружень і фіксують кількість циклів N , тобто отримують одну точку для кривої витривалості. У зразках згинальний момент не залежить від розмірів поперечного перетину, а в плиті покриття істотно залежить від співвідношення жорсткостей покриття та основи.

У покритті можна отримати 3 – 4 точки в найбільш напружених перетинах, і утворення тріщин ще не означає вичерпання несучої здатності плити. Процес розвитку тріщин у структурі бетону має стійкий характер, що супроводжується поступовим накопиченням локальних руйнувань. Бетон протягом тривалого періоду може опиратися розвитку макротріщини до критичної довжини, тим самим забезпечуючи неперервну роботу дорожньої конструкції загалом. Коли накопичення мікро- і макродефектів у структурі бетону сягає певної критичної межі, утворення нових тріщин і розвиток уже існуючих відбувається лавиноподібно – бетон руйнується. Якщо конструкція працює в межах прогнозованих експлуатаційних навантажень, здійснюються заходи догляду за бетоном, цей процес може тривати десятки років. Руйнування прискорюється у разі перевищення розрахункових навантажень і посилення агресивної дії температурно-вологісних і корозійних чинників.

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 у вигляді рівнянь регресії першого порядку. Отримані рівняння витривалості мають вигляд:

• для покриттів на ґрунтових, бітумоґрунтових і щебених основах (I тип покриттів):

$$\sigma / R_{зг} = 1,36 - 0,195 \lg N; \quad (1)$$

• для покриттів на піскоцементних і гравієцементних основах при співвідношеннях товщин плит й основи покриття близьких до одиниці (II тип покриттів):

$$\sigma / R_{зг} = 1,45 - 0,160 \lg N; \quad (2)$$

• для покриттів на укріплених цементом основах при аналогічних співвідношеннях рівних 0,4 – 0,5 або 1,6 – 2,0 (III тип покриттів):

$$\sigma / R_{зг} = 1,42 - 0,166 \lg N. \quad (3)$$

Для порівняння залежність кривої витривалості, отриманої І.М. Грушко на балочках $4 \times 4 \times 16$ см має вигляд [7]:

$$\sigma / R_{зг} = 1,15 - 0,1 \lg N \quad (4)$$

Різниця в коефіцієнтах пояснюється різним за величиною зростанням рівнів напружень в покриттях на різних основах із збільшенням кількості циклів навантажень і однаковим рівнем у формулі І.М. Грушко. Вільний коефіцієнт у рівняннях витривалості характеризує рівень напружень при однократному прикладанні навантаження.

Для зручності користування рівняннями (1) – (3) у проектній практиці наведемо їх в іншому вигляді, замінивши значення напружень $\sigma = 6 \cdot M/H^2$ і згинальний погонний момент, визначений за формулою Горбунова-Посадова:

для I типу покриттів:

$$\lg N = 7,0 - \frac{30,7P \left[0,059 - 0,093 \ln \left(\frac{r}{L} \right) \right]}{H^2 R_{зг}}; \quad (5)$$

для II типу покриттів:

$$\lg N = 9,0 - \frac{37,5P \left[0,059 - 0,093 \ln \left(\frac{r}{L} \right) \right]}{H^2 R_{зг}}; \quad (6)$$

для III типу покриттів:

$$\lg N = 8,5 - \frac{36,0P \left[0,059 - 0,093 \ln \left(\frac{r}{L} \right) \right]}{H^2 R_{зг}}. \quad (7)$$

Отримані рівняння встановлюють залежність кількості проходів автомобілів з навантаженням на колесо P (довговічність покриття) від товщини бетонного покриття для трьох узагальнених типів. Користуючись формулами (5) – (7) 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 достоїнств, оскільки повторність температурних напружень за строк служби покриття є незначною, порівняно з повторністю напружень від рухомих навантажень.

Висновки

1. Встановлені залежності довговічності монолітних цементобетонних покриттів від розрахункового навантаження, матеріалу і жорсткості основи.

2. Аналіз формул (1) – (7) 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 підпорядковується наступній формулі:

$$H_o = \frac{n_1}{n_2} H_n, \quad (8)$$

$$\text{де } n_1 = \frac{E_n}{E_o} \quad \text{і} \quad n_2 = \frac{R_{зг}}{R_{згo}}.$$

Для наших моделей покриттів і основ маємо:

$$n_1 = \frac{25 \cdot 10^3}{7 \cdot 10^3} = 3,6; \quad n_2 = \frac{4,0}{1,0} = 4; \quad H_o = \frac{3,6}{4,0} H_n = 0,9 H_n.$$

2. Бітумоґрунтова основа, особливо за дії динамічних повторних навантажень, практично не підвищує витривалості бетонних покриттів.

3. Щебенева основа зменшує динамічні прогини на 10 – 15 % і незначно підвищує витривалість покриттів.

4. Найбільшу несучу здатність мають покриття на укріплених цементом основах за відсутності прошарків між плитами покриття й основи, якщо співвідношення між товщинами цих плит відповідає формулі (8).

ЛІТЕРАТУРА

1. Толмачев С.Н. Будівництво автодоріг із цементобетонним покриттям в Україні – реальність сьогодні / С.Н. Толмачев // Автошляховик України. – 2013. – № 4. – С. 36-40.
2. Гамеляк І.П. Про необхідність будівництва в Україні автомобільних доріг із цементобетонним покриттям / І.П. Гамеляк, А.С. Корецький, С.С. Корецький // Автошляховик України. – 2013. – № 5. – С. 24-31.
3. Гамеляк І.П. Застосування цементобетонного покриття в дорожньому будівництві / І.П. Гамеляк, В.В. Смолянець // Дорожня галузь України. – 2013. – № 6. – С. 46-51.
4. Бабков В.Ф. Некоторые вопросы расчета толщины бетонных покрытий и оснований. – В кн.: "Цементный бетон в дорожном строительстве". – М.: Дориздат, 1950. – С. 173-199.
5. Левицкий Е.Ф., Чернигов В.А. Бетонные покрытия автомобильных дорог. – М.: Изд-во "Транспорт", 1980. – 287 с.
6. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1953. – 516 с.
7. Грушко І.М. Повышение прочности и выносливости бетона. – Харьков: Вища школа, 1986. – 149 с.