

донах шарів. Частота вимушених коливань складає 0.25; 0.5; 0.75 від частоти вільних коливань. Розрахунок без обтиснення (Кл.) моделювався відповідним заданням фізико-механічних характеристик ($\bar{E}_r = E_r * 100$, $\nu_{1r} = \nu_{\theta r} = 0$, $\bar{G}_{1r} = G_{1r} * 100$, $\bar{G}_{2r} = G_{2r} * 100$). Кожен шар оболонки моделювався системою рівнянь (7) окремо. Таким чином, розроблено просторову модель розрахунку вимушених коливань циліндричних оболонок. Показано на важливість урахування просторового характеру деформування в задачах динамічного деформування шаруватих циліндричних оболонок.

Література

1. Ворочич И.И. Некоторые результаты и проблемы асимптотической теории пластин и оболочек // Материалы I Всесоюзной школы по теории и численным методам расчета оболочек и пластин. – Тбилиси: Изд-во Тбилис.ун-та 1975. – С.51-149.
2. Григорюк Э.И., Коган Ф.А. Современное состояние теории многослойных оболочек // Прикл. механика.– 1972. 8, №6.–С.3–17.
3. Григоренко Я.М., Влайков Г.Г., Григоренко А.Я. Численно-аналитическое решение задач механики оболочек на основе различных моделей. – Киев: Академперіодика, 2006. – 472 с.
4. Гузь А.Н., Чернышенко И.С. Шнеренко К.И. Концентрация напряжений около отверстий в оболочках из композитных материалов // Прикладная механика.– 2001.–37, N2 с. 3–43.
5. Немши Ю.Н., Хома И.Ю. Напряженно-деформированное состояние нетонких оболочек и пластин. Трехмерная теория (обзор) // Прикладная механика.– 1991.–27, N11 с. 3–26.
6. Пискунов В.Г., Рассказов А.О. Развитие теории слоистых пластин и оболочек // Прикладная механика.– 2001.– 37, N2 с. 22–57.
7. Сало В.А. Краевые задачи статики оболочек с отверстиями.–Х.:НТУ «Харьковский политехнический институт», 2003. – 216 с.

УДК 539.3

ПОСТАНОВКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ МОСТІВ З АРМОБЕТОННИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ ШАРУВАТИХ СИСТЕМ

Доктор технічних наук Піскунов В.Г.,
Цибульський В.М.

Подано методику розрахунку дорожнього одягу мостів побудованих з армобетонних конструктивних елементів, що базується на моделі шаруватих систем. Методика дозволяє отримувати уточнені результати розрахунку із врахуванням поперечних нормальних напружень від обтиснення шарів та залежності теорії пружності для оцінки міцності матеріалів конструкцій.

Filed methodology for calculating pavement bridges constructed with armo concrete structural elements, based on the model of layered systems. The technique allows to get updated results of the calculation taking into account the transverse normal stresses of compression layers and dependence of elasticity for assessing the strength of material structures.

Постановка проблеми. Важливими елементами автодорожніх мостів є прогонова будова та плита проїзної частини, яка в теперішній час виготовлюється в основному з залізобетону або сталі. Створення плит проїзної частини прогонових будов, альтернативних залізобетонним та металевим, пов'язана із застосуванням арматури з композитних матеріалів (склопластиків, базальтопластиків), потребує розробки методів їх розрахунку. Переваги таких конструкцій полягає у зменшенні вагових показників, проектної вартості та збільшенні ресурсу експлуатації та надійності, що в цілому забезпечує покращення ефективності роботи мережі автомобільних доріг України. Тому актуальним є удосконалення методик розрахунку вказаних шаруватих систем.

Викладення основного матеріалу. Принципові положення методики розрахунку дорожнього одягу для вказаних типів прогонових будов зводяться до наступних:

1. Визначення зусиль для відповідної типової прогонової будови. Внутрішні зусилля (згинаючі моменти) визначаються згідно прийнятих нормативних положень [3] та методики розрахунку конструкцій прогонових будов від комбінації постійних та тимчасових навантажень, детально викладеній у [4,5]. Для розрахунку дорожнього одягу, відшарованого від плити прогонової будови, а також, при необхідності, безпосередньо плити, відокремленої від одягу, виконується розподіл розрахункового згинаючого моменту на момент, що безпосередньо сприймає дорожній одяг та момент, що сприймається конструкцією плити пропорційно до їх відповідних жорсткостей. Особливістю визначення зусиль (згинаючих моментів) є прикладання навантажень (А-15 або НК-100) безпосередньо до поверхні дорожнього одягу, оскільки він розглядається як загальна з плитою конструктивна частина, що підлягає розрахунку – оцінці міцності її шарів. Відповідний розподіл навантаження за товщиною дорожнього одягу враховується пошарово при визначенні додаткових напружень від поперечного обтиснення – врахування впливу поперечних нормальних напружень для уточнення напруженого стану дорожнього одягу

2. Формування вихідних даних щодо конструкції балок або плит прогонової будови та дорожнього одягу, як шаруватої системи. Балка або плита прогонової будови розглядається в загальному пакеті з шарами дорожнього одягу як єдина шарувата конструкція. Шарувату структуру конструкції схематично наведено на рис.1-а,б. Кожен шар $i = 1, 2, \dots, n$ визначається товщиною h_i (м) та шириною b_i (м), модулем пружності E_i (МПа) та коефіцієнтом Пуассона ν_i , розрахунковими опорами на розтяг R_{pi} (МПа) та стиск R_{ct_i} (МПа). Характеристики бетону та арматури приймаються згідно [3]. Арматура замінюється еквівалентним до її загальної площі шаром з відповідною до цієї площі товщиною. Ширина шарів b_i у перерізі приймається як розрахункова ширина полоси плити для визначення згинаючого розрахункового моменту (звичайно $b_i = b = 1\text{ м}$). Для плитних прогонових будов з пустотних блоків ширина плити дорівнює ширині блоку ($b_i = b = 1\text{ м}$), а на рівні пустот – товщині стінки зведеного до форми двотавра зведеного перерізу плитного блока.

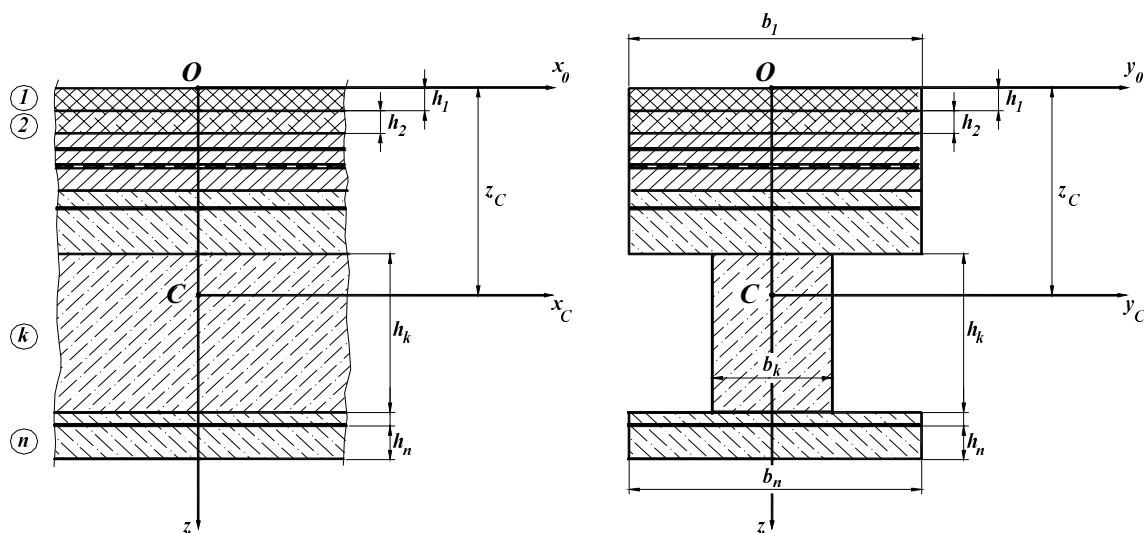


Рис.1

У вихідні дані також входить розрахунковий згинаючий момент M , визначений згідно п.1, а також рівнодіюча тимчасового нормативного навантаження F_p , що діє по площі штампку навантаження А-15 або НК-100, залежно від того, яке з них визначає розрахунковий згинаючий момент. Рівнодіюча F_p визначається з урахуванням коефіцієнту надійності та динамічного коефіцієнту.

3. Визначення центра ваги (жорсткості). Для кожного шару визначається: жорсткість на розтяг:

$$B_i = \frac{E_i b_i h_i}{1 - \nu_i^2}, \text{ (МН)}; \quad (1)$$

для першого (верхнього) шару ($i = 1$)

$$z_1 = 0.5h_1, \text{ (м)};$$

для інших шарів ($i = 2, 3, \dots, n$)

$$z_{i+1} = \sum_{j=1}^i h_j + \frac{h_{i+1}}{2}, \text{ (м)}. \quad (2)$$

Координата центра ваги (жорсткості) усього пакету шарів конструкції знаходиться за формулою:

$$z_C = \frac{\sum_{i=1}^n B_i z_i}{\sum_{i=1}^n B_i}, \text{ (м)}. \quad (3)$$

Координата z_C визначає положення центральної осі Cy_C (рис. 1,б).

4. Визначення жорсткості конструкції при згині –циліндричної жорсткості.

Для кожного шару $i = 1, 2, \dots, n$ визначається:

власна циліндрична жорсткість при згині:

$$D_i = \frac{B_i h_i^2}{12}, \text{ (МНм}^2\text{)}; \quad (4)$$

координати центрів ваги (жорсткості) шарів відносно центральної осі Cy_C :

$$c_i = z_i - z_C, \text{ (м)}; \quad (5)$$

загальна циліндрична жорсткість конструкції плити при згині:

$$D = \sum_{i=1}^n (D_i + c_i^2 B_i), \text{ (МНм}^2\text{)}. \quad (6)$$

Центральна вісь Cy_C розділяє переріз плити на стиснуту та розтягнуту зони. В розтягнутій зоні утворюються тріщини в бетоні, внаслідок чого ця зона виключається з роботи плити. Для цієї зони виконується перерозподіл шарів. Шар $j = k$ товщиною h_k , у якому розташована центральна вісь, визначена координатою z_C , розділяється на два шари, один з яких лежить вище від осі Cy_C , а інший – нижче. Їх товщини відповідно:

$$h'_k = z_C - \sum_{i=1}^{k-1} h_i, \quad h''_k = h_k - h'_k. \quad (7)$$

Призначається нова послідовна нумерація шарів $i = 1, 2, \dots, n$, кількість яких збільшиться на одиницю, у зв'язку з розділенням шару, яке розглянуто вище. Згідно нової нумерації переформовуються відповідні значення h_i , b_i , E_i , ν_i , R_n , R_{ct} . Для бетонних шарів, які розташовані у розтягнутій зоні (нижче від осі Cy_C) приймається модуль пружності з умовним значенням $E_i = 1$ МПа.

Повторюється процедура визначення циліндричної жорсткості плити за формулами (1) – (6), в яких $z_C = z'_C$. Координата центра ваги z'_C визначає нове положення центральної осі $C'y'_C$ (рис. 2).

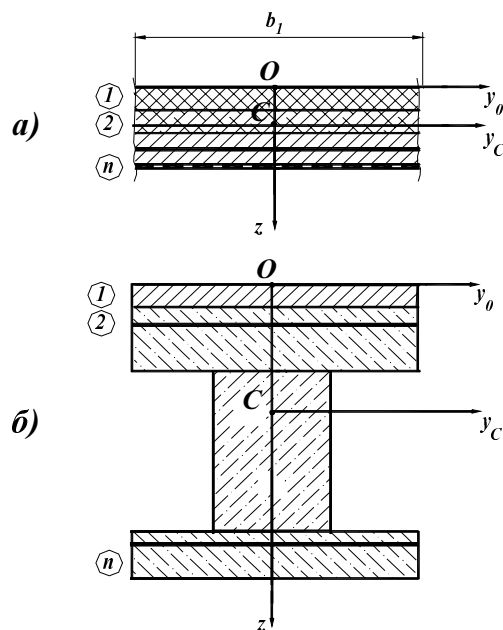


Рис.2

Циліндрична жорсткість конструкції, яка розширована по поверхні контакту між дорожнім одягом та плитою, визначається як сума жорсткостей шарів дорожнього одягу та плити:

$$D_{\Sigma} = D_{DO} + D_{PL}, \text{ (МНм}^2\text{)}. \quad (8)$$

Кожна з жорсткостей D_{DO} та D_{PL} знаходиться по загальній методиці за формулами (1) – (7), які застосовуються для кожного з пакетів шарів – одягу та плити (рис.2-а,б), відокремлених один від одного.

Для кожного пакету вводиться своя нумерація шарів $i = 1, 2, \dots, n$ та відповідно до неї характеристики h_i , b_i , E_i , ν_i , R_n , R_{ct} .

Отже, циліндричні жорсткості D_{DO} та D_{PL} визначаються за кінцевою формулою всієї процедури (6), у якій $D = D_{DO}$ та $D = D_{PL}$.

Жорсткість D_{Σ} є їх сумою згідно формули (8).

5. Визначення напружень в шарах конструкції. Напруження в дорожньому одязі, який працює спільно з плитою, визначається пошарово для загального пакету шарів від розрахункового згинаючого моменту M . Якщо ж дорожній одяг відшарований від плити, то напруження в ньому розраховують від моменту M_{DO} , що сприймає дорожній одяг, а напруження у плиті – від моменту M_{PL} , що сприймає плита:

$$M_{DO} = M \frac{D_{DO}}{D_{\Sigma}}, \quad M_{PL} = M \frac{D_{PL}}{D_{\Sigma}}. \quad (9)$$

Відповідно D_{Σ} визначається за формулою (8), а D_{DO} та D_{PL} за формулою (6), в якій приймається $D = D_{DO}$ та $D = D_{PL}$. Загальний згинаючий момент дорівнює їх сумі:

$$M = M_{DO} + M_{PL}. \quad (10)$$

Процедура визначення напружень в усіх випадках однакова:

обчислюються координати верхньої та нижньої поверхонь шарів відносно центральної осі Cy_C (при виключенні бетону з роботи в розтягнутій зоні – відносно осі $C'y'_C$):

$$z_i^{(\pm)} = c_i \pm \frac{h_i}{2}, \quad z_i^{(-)} = z_{i+1}^{(+)} \quad (\text{м}); \quad (11)$$

визначаються напруження для верхньої (+) та нижньої (-) поверхонь кожного шару:

$$\sigma_i^{(\pm)} = \frac{E_i M}{(1 - \nu_i^2) D} z_i^{(\pm)}, \quad (\text{МПа}); \quad (12)$$

для визначення напружень у шарах дорожнього одягу та плити відшарованих один від одного, у формулі (12) приймається відповідно $M = M_{DO}$, $D = D_{DO}$ та $M = M_{PL}$, $D = D_{PL}$.

Проводиться уточнення напружень за рахунок впливу поперечного обтиснення (поперечних нормальних напружень), для чого виконується розподіл рівнодіючої F_P тимчасових навантажень, від яких виникає розрахунковий згинаючий момент, за товщиною дорожнього одягу згідно схеми (рис. 3): визначаються площі, через які передається рівнодіюча F_P на верхню поверхню дорожнього одягу ($A_i^{(+)} = e_i d_i$) та верхні поверхні послідовних шарів ($A_i^{(+)}$):

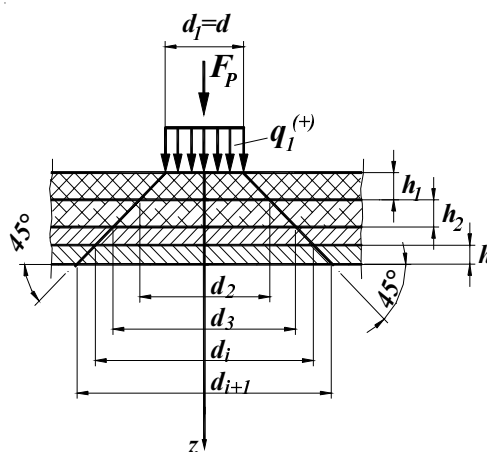


Рис. 3

$$A_i^{(+)} = e_i d_i = (e_{i-1} + 2h_i)(d_{i-1} + 2h_i), \quad (\text{м}^2)$$

$$A_{i-1}^{(-)} = A_i^{(+)}; \quad (13)$$

де e_1, d_1 – розміри площадки (відповідно вздовж і поперек осі моста) передачі навантаження F_p на верхню поверхню дорожнього одягу; h_i – товщина i -того шару;

визначається тиск на поверхні одягу та поверхнях між шарами й відповідні поперечні нормальні напруження:

$$\sigma_{z_{i-1}}^{(-)} = \sigma_{z_i}^{(+)} = -q_i^{(+)} = -\frac{F_{POЗP}}{A_i^{(+)}}, \text{ (МПа)}, \quad (14)$$

визначаються повні уточнені нормальні напруження в шарах одягу з урахуванням поперечних нормальних напружень:

$$\bar{\sigma}_i^{(\pm)} = (1 - \nu_i^2)\sigma_i^{(\pm)} + \nu_i\sigma_{z_i}^{(\pm)}. \quad (15)$$

6. Оцінка міцності матеріалу шарів дорожнього одягу

Для оцінки міцності матеріалу шарів використовується критерій міцності Кулона–Мора, який застосовується для матеріалів, що мають різний розрахунковий опір розтягу R_p та стиску R_{CT} .

Послідовність перевірки міцності: для кожного шару дорожнього одягу з уточнених поздовжніх нормальних напружень $\bar{\sigma}_i^{(\pm)}$ та поперечних нормальних напружень $\sigma_{z_i}^{(\pm)}$ формуються головні напруження:

$$\sigma_{\max_i}^{(\pm)} = \frac{1}{2} \left[\left(\bar{\sigma}_i^{(\pm)} + \sigma_{z_i}^{(\pm)} \right) + \sqrt{\left(\bar{\sigma}_i^{(\pm)} - \sigma_{z_i}^{(\pm)} \right)^2} \right],$$

$$\sigma_{\min_i}^{(\pm)} = \frac{1}{2} \left[\left(\bar{\sigma}_i^{(\pm)} + \sigma_{z_i}^{(\pm)} \right) - \sqrt{\left(\bar{\sigma}_i^{(\pm)} - \sigma_{z_i}^{(\pm)} \right)^2} \right]. \quad (16)$$

пошарово визначаються еквівалентні напруження та виконується перевірка міцності:

$$\sigma_{ekv_i}^{(\pm)} = \sigma_{\max_i}^{(\pm)} - \frac{R_p}{R_{CT_i}} \sigma_{\min_i}^{(\pm)} \leq R_{p_i}; \quad (17)$$

робиться висновок щодо міцності шарів конструкції дорожнього одягу.

Література

1. Пискунов В.Г., Вериженко В.Е. Линейные и нелинейные задачи расчета слоистых конструкций. – К.: Будівельник, 1986. – 176с.
2. Пискунов В.Г., Сипетов В.С. и др. Расчет неоднородных пологих оболочек и пластин методом конечных элементов. – Киев: Изд-во «Вища школа», 1987. – 200 с.
3. ДБН В.2.3–14: 2006. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування. – К.: Держбуд України, 2006. – 367 с.
4. Я.Д.Лившиц, М.М.Онищенко, А.А.Шкуратовский. Примеры расчёта железобетонных мостов. – К.: Вища школа. Головное издательство, 1986.–263 с.
5. Поливанов Н.И. Проектирование и расчет железобетонных и металлических автодорожных мостов. – М.: Изд-во «Транспорт», 1970. – 516 с.