

**ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ТРИШАРОВОЇ КОНСТРУКТИВНО
ОРТОТРОПНОЇ ПЛИТИ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ ПРОГОНОВИХ
БУДОВИ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ**

Анотація. В даній статті розглянуто деформований стан конструктивно ортотропної плити, що представляє собою тришарову композитну плиту типу сандвіч (ПТС) з ребрам жорсткості. В результаті розрахунку даної конструкції із застосуванням методу аналогій побудовано графіки залежностей прогинів (класичного та уточненого, що враховує деформації поперечного зсуву) від висоти ребер жорсткості. Вихідні данні для методу аналогій беруться з рішень задач методом скінченних елементів (МСЕ). Оцінено вплив деформацій зсуву на деформований стан тришарової конструктивно ортотропної плити.

Ключові слова: конструктивно ортотропна плита, деформований стан, ребра жорсткості, тришарова композитна плита, метод скінченних елементів.

Аннотация. В данной статье рассмотрено деформированное состояние конструктивно ортотропной плиты, что представляет собою трехслойную плиту типа сандвич (ПТС) с ребрами жесткости. В результате расчета данной конструкции с использованием метода аналогий построены графики зависимостей прогибов (классического и уточненного, который учитывает деформации поперечного сдвига) от высоты ребер жесткости. Исходные данные для метода аналогий берутся с решений задач методом конечных элементов (МКЭ). Оценено влияние деформаций сдвига на деформированное состояние трехслойной конструктивно ортотропной плиты.

Ключевые слова: конструктивно ортотропная плита, деформированное состояние, ребра жесткости, трехслойная композитная плита, метод конечных элементов.

Annotation. This article describes the strain state of structurally orthotropic slab, which represents a three-layer sandwich slab (TSS) with ribs. On the basis of the calculation of this construction by using the analogies method, plots of the

dependence of deflection (the classic and specified, which takes into account the transverse shear strain) on the ribs height. Initial data for the analogies method is taken from the task solutions by finite element method (FEM). The effect of shear deformation on the strain state of structurally orthotropic sandwich slab is estimated.

Keywords: structurally orthotropic slab, deformed state, the ribs, three-layer composite slab, finite element method.

На сучасному етапі розвитку транспортного будівництва все частіше використовуються композитні матеріали, що виступають альтернативою залізобетонним та металевим. Прикладом композитної плити є тришарова конструктивно ортотропна плита типу “сандвіч” (ПТС), що складається з двох сталевих плит та твердого полімерного (поліуретанового) заповнювача. Така плита може бути використана як для нового мостового будівництва, так і для реконструкції існуючих ортотропних плит (рис.1.).

ПТС, що навантажена як пластина, забезпечує високий згинальний опір та згинальну жорсткість. Низька щільність матеріалу заповнювача зумовлює легкість ПТС. Крім того, вона має високі демпфуючі здатності, ізолюючі властивості та вогнестійкість.

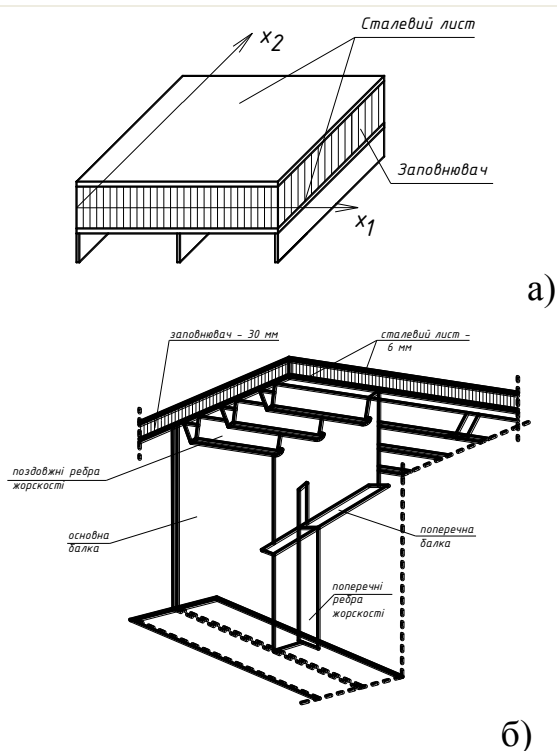


Рис. 1. (випадок а – для нового будівництва, випадок б – для реконструювання існуючих мостів з ортотропною плитою проїзної частини)

Для розрахунку тришарових композитних плит суттєвим є врахування деформацій поперечного зсуву, що дозволяє отримувати уточнені прогини, на відміну від значень, знайдених за класичною (технічною) теорією.

Уточнення виконується з використанням методу аналогій. Даний метод полягає на виявленні математичної аналогії між класичним рівнянням згину та рівнянням зсуву плити [1]. Отримання вихідних даних для розрахунку методом аналогій

передбачає використання методу скінченних елементів (МСЕ). Дискретизація зведеної композитної шаруватої ПТС виконується скінченними елементами (СЕ) оболонки нульової кривизни. В результаті розрахунку отримуються значення переміщень $w_{\hat{e}\hat{e}}$ та зусиль $M_{x_1}^{\hat{o}}$ і $M_{x_2}^{\hat{o}}$ по області плити. Значення моментів знаходяться при навантаженні плити фіктивним навантаженням (2).

Уточнений прогин з використанням методу аналогій визначається за наступною формулою [2]:

$$w_{\text{уточ}} = w_{\text{кл}} - \frac{D_{12}}{D_{11}} \cdot \chi, \quad (1)$$

де $w_{\text{кл}}$ – прогин на основі класичної теорії;

D_{11} – жорсткість при згині;

D_{12} – жорсткість, що відповідає взаємовпливу згину та зсуву;

$\chi(x_1, x_2)$ – функція зсуву, тотожна для шарнірного закріплення та защемлення по контуру плити.

Функція зсуву $\chi(x_1, x_2)$ є аналогом узагальненого фіктивного моменту $M^{\phi}(x_1, x_2)$ – формула (3), що знаходиться в результаті розв'язку класичного рівняння згину пластини від дії фіктивного навантаження q_{ϕ} :

$$q_{\phi} = -\frac{q}{D_{11}} \quad (2)$$

$$M^{\phi} = \frac{M^{\phi}_{x_1} + M^{\phi}_{x_2}}{1 + \nu_{np}} \quad (3)$$

де ν_{np} – приведений коефіцієнт Пуассона еквівалентної заданій тришаровій однорідної системи з відповідним приведеним модулем пружності.

В якості прикладу розрахунку розглянуто тришарову конструктивно ортотропну ПТС загальною товщиною 18 см з розмірами в плані 8x8 м. Зовнішні шари виконані зі сталі товщиною 1 см, внутрішній шар – поліуретан товщиною 16 см (рис. 2). Умови обпирання – шарнірне по контуру плити. Навантаження – розподілене вздовж ребер жорсткості, $q=100$ Н/см. Підсилення ребрами жорсткості виконано в двох варіантах: в поздовжньому напрямку (рис. 3); в поздовжньому та поперечному напрямках (крок ребер 2 м). Ребра

жорсткості – сталеві, товщиною 1 см. Розрахунок проведено при різних значеннях висоти ребер ($0 \div 120 \text{ см}$).

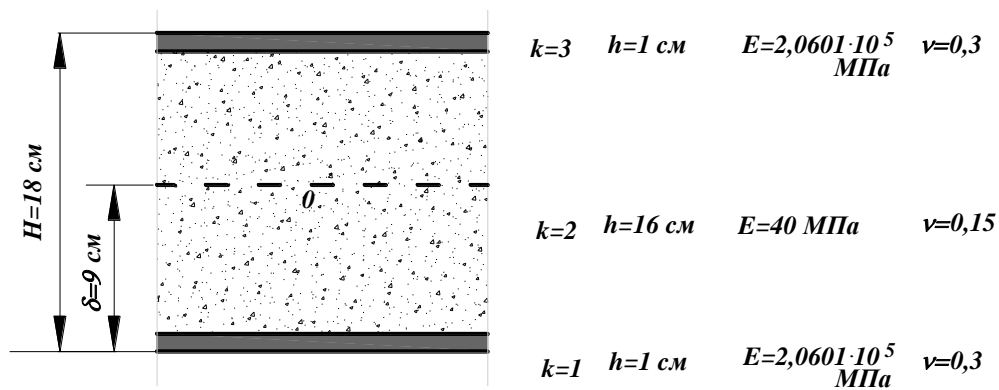


Рис. 2. Поперечний переріз ПТС

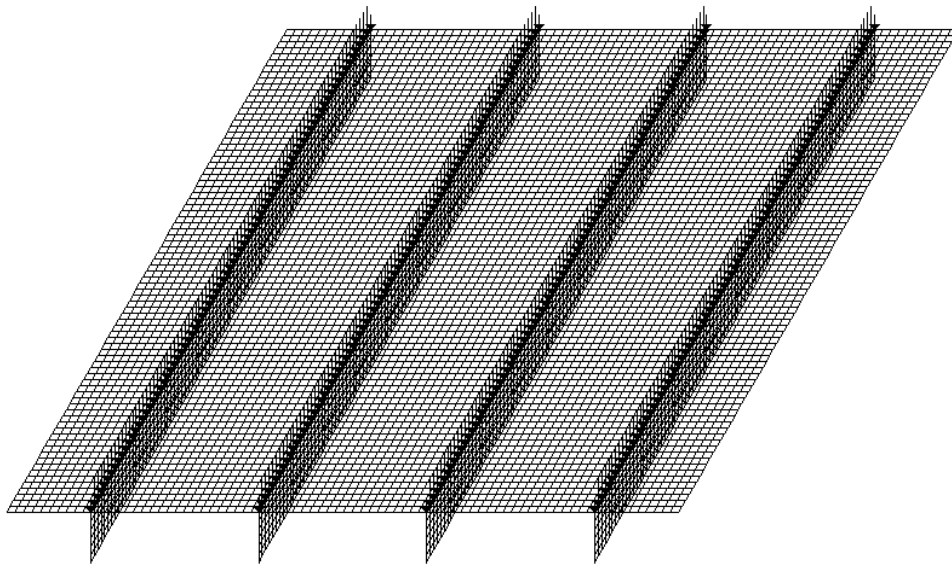


Рис. 3. Плита з ребрами в поздовжньому напрямку

В результаті розрахунку МСЕ [3,4] отримані значення класичного прогину (рис.4, 5 пунктиром) та значення розподілених моментів, на основі яких за формулою (1) обраховані значення уточнених прогинів (рис. 4, 5 суцільна лінія).

Вплив деформації зсуву оцінено як відношення уточненого прогину до класичного. Для даних конструкцій (рис.2, 3) його значення складає від 2,8 до 4,0, що вказує на досить низький опір зсуву плит ПТС. При цьому на рис.4, 5 можна побачити, що при збільшенні висоти ребер жорсткість конструктивно отротропної ПТС підвищується, проте вплив зсуву залишається суттєвим, навіть при максимальній розрахунковій висоті ребра (120 см).

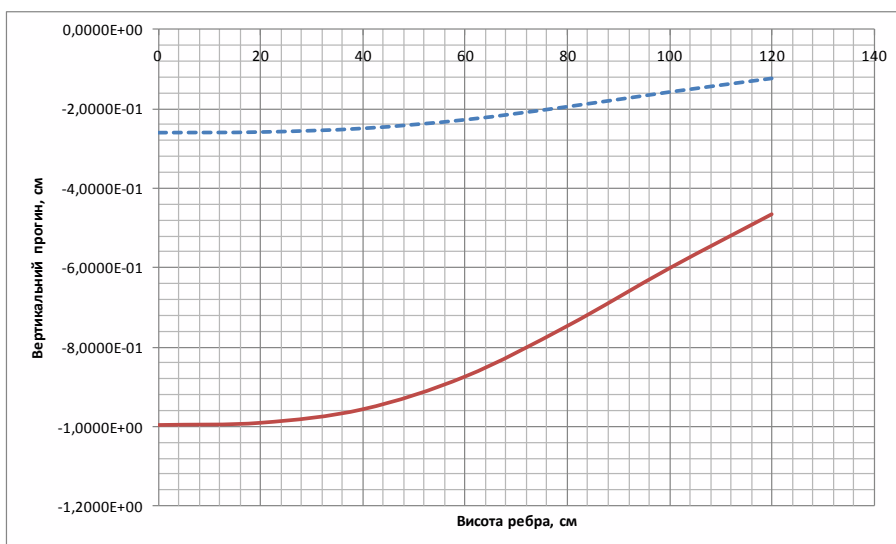


Рис. 4. Графіки прогинів для плити з ребрами в поздовжньому напрямку (пунктиром вказано класичне значення, суцільною лінією – уточнене значення), см

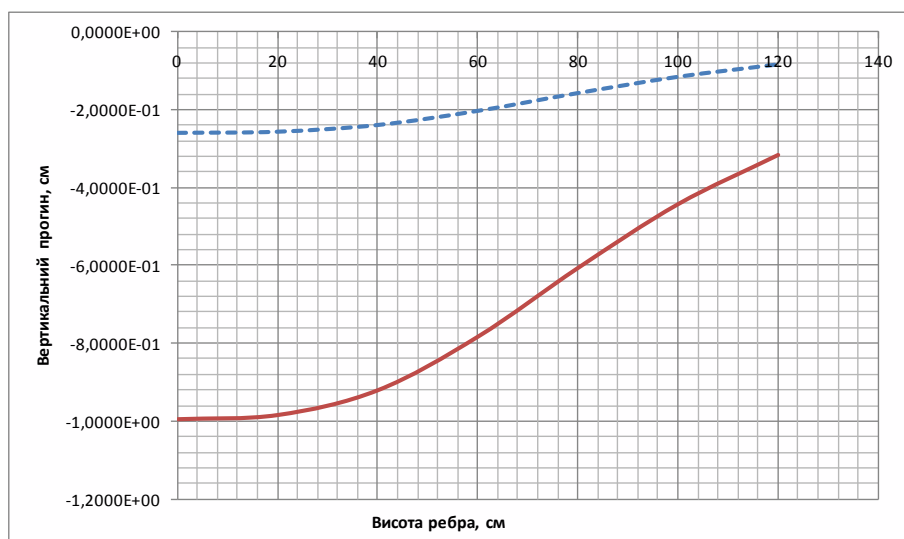


Рис. 5. Графіки прогинів для плити з ребрами в поздовжньому та поперечному напрямках (пунктиром вказано класичне значення, суцільною лінією – уточнене значення), см

Література

1. Тимошенко С.П., Войновски-Кригер. Пластины и оболочки. – М.: Наука, 1966. – 625 с.
2. Пискунов В.Г.. Расчёт металлополимерных пластин на основе уточнённой теории // В.Г. Пискунов, В.С. Сипетов, И.А. Кондрюкова // Тезисы докладов международной научно-технической конференции ИММС НАНБ. – Гомель. – Поликомтриб. – 2009. С. 179-180.
3. ЛИРА® 9.4. Примеры расчета и проектирования. Приложение к учебному пособию ЛИРА 9.2. Гензерский Ю.В., Куценко А.Н., Марченко Д.В., Слободян Я.Е., Титок В.П. – К.: Издательство НИИАСС, 2006. – 124 с.
4. Вычислительный комплекс SCAD. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Перельмутер А.В. и др.: М.: Издательство АСВ, 2004. – 592 с.