

УДК 624.21.095:539.3
UDC 624.21.095:539.3

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИГИНУ БАЛОЧНО-ПЛИТНИХ СИСТЕМ МОСТІВ ПІД ДІЄЮ СИНУСОЇДАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF BENDING OF BEAM-PLATE SYSTEMS OF BRIDGES UNDER THE ACTION OF SINUSOIDAL LOAD



Канін Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: kaninap@ukr.net, +380442807909,

<http://orcid.org/0000-0001-6849-2505>



Гриневицький Борис Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри опору матеріалів та машинознавства, e-mail: bvgryn@ukr.net, +380676415260,

<http://orcid.org/0000-0002-2220-6654>



Цибульський Віталій Миколайович, Національний транспортний університет, кафедра опору матеріалів та машинознавства, старший викладач, e-mail: mega.sopromat@ukr.net, +380977058876,

<http://orcid.org/0000-0003-3150-3965>

Анотація. Виконаний порівняльний аналіз компонентів напружено-деформованого стану балочно-плитної шаруватої конструкції автодорожнього моста під дією синусоїдального навантаження. За розрахункову схему була прийнята конструкція, яка складається з трьох шарів з різними геометричними та фізико-механічними характеристиками.

Розрахунок прогинів та нормальних напружень виконано за класичною, тривимірною та уточненою неklasичною моделями. За результатами отриманих розрахунків були побудовані графіки компонентів напружено-деформованого стану. Тестові розрахунки також були виконані для однорідної балочної конструкції з безрозмірними характеристиками. Порівняльний аналіз отриманих даних прогинів балочно-плитної конструкції вказує на значну розбіжність у результатах за різними моделями, при цьому розподіл нормальних напружень по висоті поперечного перерізу майже однаковий.

Для дослідження достовірності розрахунків за уточненою неklasичною моделлю був виконаний порівняльний аналіз результатів з даними експерименту Александрова А.Я для тришарових балочно-плитних систем, що підтвердив достовірність отриманих розрахунків. Під час аналізу результатів також було встановлено, що при деяких геометричних і фізико-механічних характеристиках розрахунок за уточненою моделлю не дає істотних змін результатів у порівнянні з класичною моделлю.

Значна різниця у розрахунках за різними методами вказує на необхідність враховувати деформації зсуву при знаходженні прогинів у балочно-плитних шаруватих конструкціях, що потребує розробки уточнених неklasичних моделей.

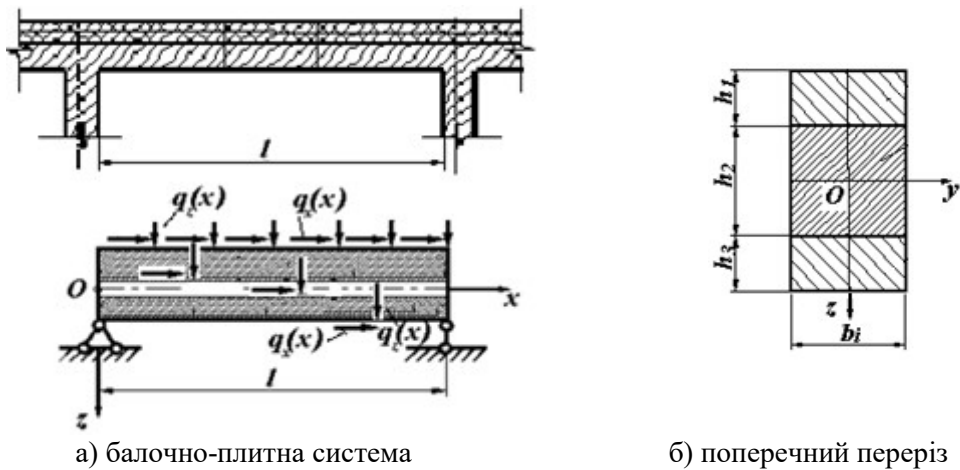
Ключові слова: неklasична модель, композитні матеріали, шарувата система, прогин, напруження, автодорожні мости.

Вступ. В сучасному будівництві широке застосування отримали різні композитні матеріали, що потребує неklasичних розрахункових моделей з врахуванням особливостей конструкцій. Використання неklasичних моделей необхідне при вирішенні задач вигину балок неоднорідних шаруватих систем, особливо при місцевих навантаженнях [1].

Прогинова будова автодорожнього моста може включати в одній конструкції шари із різних матеріалів. При розрахунку за уточненою неklasичною моделлю приймаємо, що балочно-плитна система складається із шарів різної товщини та жорсткості зі змінними властивостями [2]. Таким чином отримуємо можливість врахувати особливості шаруватої балочно-плитної конструкції із різними фізико-механічними характеристиками по шарам, а значить різну міцність та жорсткість [3-4].

Мета і методи. Метою даної статті є виконання порівняльного аналізу вигину плити прогонової будови автодорожнього моста під дією синусоїдального навантаження та перевірка адекватності уточненої неklasичної моделі.

Результати і пояснення. При дослідження адекватності уточненої неklasичної розрахункової моделі [1] була використана тришарова балочно-плитна система автодорожнього моста (рис.1).



l - довжина балочно-плитної системи;

$q_z(x)$ - нормальні навантаження, що прикладені на зовнішніх поверхнях і на межах шарів;

$q_x(x)$ - тангенціальних навантаження, що прикладені на зовнішніх поверхнях і на межах шарів;

b_i - ширина шару конструкції;

h_1, h_2, h_3 - товщина відповідного шару конструкції.

Рис. 1. Конструкція розрахункової схеми

Fig. 1. Design of the calculation scheme

Для даної схеми розрахунку були прийняті характеристики шарів [5], які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1- Вихідні дані для тришарової балочної системи

Table 1 - Initial data for a three-layer beam system

Кількість шарів, n	Номер шару, i	Ширина шару, b_i , м	Висота шару, h_i , м	Модуль пружності, E_i , МПа	Модуль зсуву G_i , МПа
3	1	0,01	0,03	10^4	360
	2		0,06	940	360 (36)
	3		0,03	10^4	360

Вирази функцій прогину синусоїдального навантаження мають наступний вигляд:

$$w(x) = \left[\sum_{i=0}^n q_{z0}^{(i)} c_z^{(i)} \right] \frac{l^4}{\pi^4} \left[\frac{\frac{1}{D_{11}} + \left(\frac{D_{12}}{D_{11}} \right)^2}{D_{22} + \frac{l^2}{\pi^2} \bar{D} - \left(\frac{D_{12}}{D_{11}} \right)^2} \right] \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \quad (1)$$

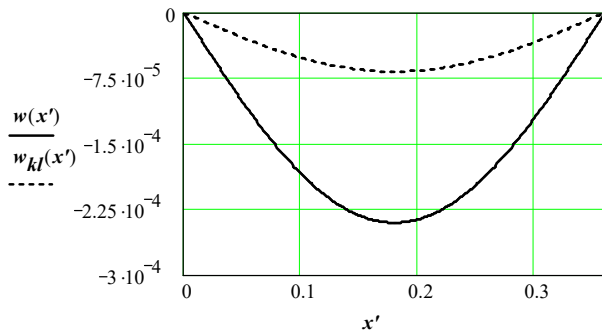
Де D_{11}, D_{12}, D_{22} – характеристики жорсткості, MNm^2 ;

q_{z0} - амплітуда навантажень, kH/m ;

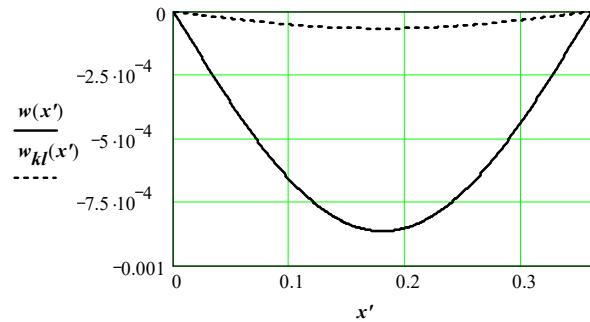
w - прогин, m ;

l - довжина балочно-плитної системи, m .

За результатами розрахунку побудовані графіки прогинів (рис.2) і нормальних напружень(рис.3) для цієї балочної системи.



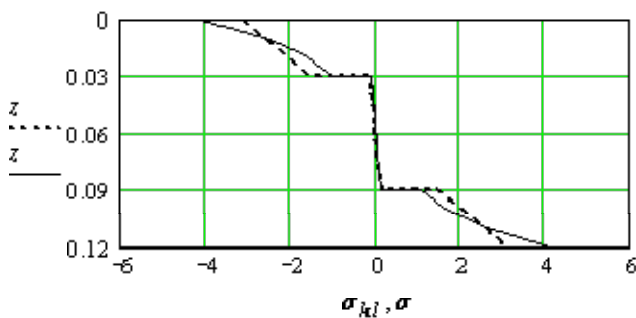
а) при $G_2 = 360 \text{ МПа}$



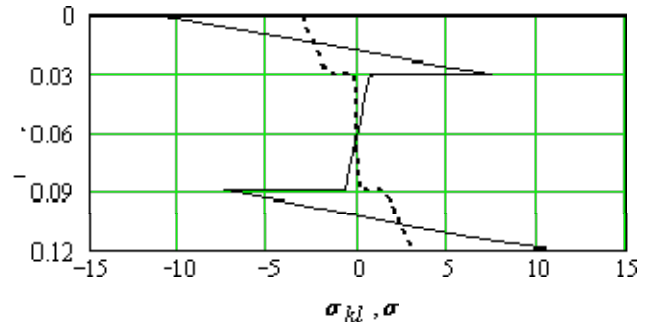
б) при $G_2 = 36 \text{ МПа}$

Рис. 2. Графіки прогинів за класичною (штрих-пунктирна лінія) та уточненою теоріями (суцільна лінія)

Fig. 2. Deflection graphs by classical (dashed line) and refined theories (solid line)



а) при $G_2 = 360 \text{ МПа}$



б) при $G_2 = 36 \text{ МПа}$

Рис. 3. Графіки нормальних напружень (штрих-пунктирна лінія) за класичною та уточненою теоріями (суцільна лінія).

Fig. 3. Graphs of normal stresses (dashed line) according to classical and refined theories (solid line).

Розрахунок складових напружено-деформованого стану балки також виконано за трьома моделями класичною, тривимірної (точної) і уточненої некласичної моделями при $l/h = 3$, при цьому балка вважалася однорідною з безрозмірними характеристиками. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунку складових напружено-деформованого стану балочної конструкції

Table 2 – The results of the calculation of the components of the stress-strain state of the beam structure

l/h	z	Прогини			Нормальні напруження			Дотичні напруження		
		$w_{кл}$	$w_{трив}$	$w_{уточ}$	$\sigma_{кл}$	$\sigma_{трив}$	$\sigma_{уточ}$	$\tau_{кл}$	$\tau_{трив}$	$\tau_{уточ}$
3	0	9,978	12,532	12,814	-5,471	-5,724	-5,731	1,432	1,419	1,415
	$h/2$		12,533		0	0,021	0			
	h		12,033		5,471	5,636	5,731			

Під час дослідження було використано порівняння результатів з експериментом А.Я. Александрова [6] для тришарових балок-плит, які мають різні геометричні та фізико-механічні характеристики (таблиця 3).

Таблиця 3 – Порівняльні результати для тришарових балок-плит

Table 3 – Comparative results for three-layer beams-slabs

№ зразка	$w_{max.кл}$	$w_{max.експ}$	$w_{max.уточ}$	$\sigma_{max.кл}$	$\sigma_{max.експ}$	$\sigma_{max.уточ}$
	мм			МПа		
1	1,307	1,530	1,573	29,488	30,370	30,271
2	0,214	0,650	0,640	18,317	20,340	20,205
3	0,065	0,380	0,396	6,855	9,630	10,287

Висновки та рекомендації. Порівняльний аналіз прогинів балочно-плитної системи автодорожнього моста показав, що максимальні значення прогинів отримуємо за уточненою неklasичною моделлю, яка враховує вплив деформацій поперечного зсуву. Поруч з тим, при однакових модулях зсуву шарів балочної системи, характер розподілу напружень по висоті балки суттєво не відрізняється. Зміна геометричних і фізико-механічних характеристик істотно впливає на результати розрахунків за класичною моделлю, що вказує на необхідність удосконалення традиційних методів визначення прогинів та напружень. Порівняння отриманих значення компонентів напружено-деформованого стану за уточненою неklasичною моделлю розрахунку балочно-плитної системи автодорожнього моста та експериментальними даними Александрова А.Я. для тришарових балок вказує на достовірність отриманих результатів.

Перелік посилань

1. Піскунов В.Г. Розрахунок шаруватих конструкцій дорожнього одягу мостів армованого композитними матеріалами / В.Г. Піскунов, В.М. Цибульський – Вісник НТУ, 2012.
2. Канін О.П., Гриневицький Б.В., Цибульський В.М. Побудова неklasичної розрахункової моделі міцності композитної балочно-плитної конструкції автодорожніх мостів / О.П. Канін, Б.В. Гриневицький, В.М. Цибульський / Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». Київ: НТУ. – 2018. - № 104, С. 62-68.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2014) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2014.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2012) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2012, 1661 pages.
5. Опір матеріалів. Підручник / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. За ред. Г.С. Писаренка – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
6. Александров А.Я. Расчет трехслойных панелей / Александров А.Я., Брюккер Л.Э., Куршин Л.М., Прусаков А.П.– М. : Оборонгиз, 1960.
7. Александров А.Я., Куршин Л.М. Многослойные пластинки и оболочки. В кн.: Тр. VII Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластинок. - М.: Наука, 1970.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BENDING OF BEAM-PLATE SYSTEMS OF BRIDGES UNDER THE ACTION OF SINUSOIDAL LOAD

Kanin Alexander Petrovich, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Professor of Department of Transport Construction and Property Management, e-mail: kaninap@ukr.net, tel. +380442807909, <https://orcid.org/0000-0001-6849-2505>

Hrynevtskyi Borys Volodymyrovych, PhD (Candidate of Technical Science), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Materials Resistance and Mechanical Engineering, e-mail: bvgryn@ukr.net, +380676415260, <http://orcid.org/0000-0002-2220-6654>

Tsybul'skyi Vitalii Mykolaiovych, National Transport University, Senior Lecturer of Materials Resistance and Mechanical Engineering, e-mail: mega.sopromat@ukr.net, +380977058876, <http://orcid.org/0000-0003-3150-3965>

Abstract. A comparative analysis of the components of the stress-strain state of the beam-slab layered structure of the road bridge under the action of sinusoidal load is performed. The design scheme, which consists of three layers with different geometric and physico-mechanical characteristics, was adopted as the calculation scheme.

The calculation of deflections and normal stresses was performed according to the classical, three-dimensional and refined non-classical models. Based on the results of the obtained calculations, graphs of the components of the stress-strain state were constructed. Test calculations were also performed for a homogeneous beam structure with dimensionless characteristics. Comparative analysis of the obtained data of deflections of the beam-slab structure indicates a significant difference in the results for different models, while the distribution of normal stresses in the height of the cross section is almost the same.

To study the reliability of calculations according to the refined non-classical model, a comparative analysis of the results with the data of the experiment of Alexandrov A.Ya. for three-layer beam-slab systems was performed, which confirmed the reliability of the obtained calculations. During the analysis of the results it was also found that for some geometric and physico-mechanical characteristics, the calculation of the refined model does not give significant changes in the results compared to the classical model.

A significant difference in the calculations by different methods indicates the need to take into account shear deformations when finding deflections in beam-slab layered structures, which requires the development of refined non-classical models.

Keywords: non-classical model, composite materials, layered system, deflection, stress, road bridges.

References

1. Piskunov V.H. Rozrakhunok sharuvatykh konstrukttsii dorozhnoho odiahu mostiv armovanoho kompozytnymy materialamy / V.H. Piskunov, V.M. Tsybul'skyi – Visnyk NTU, 2012.
2. Kanin O.P., Hrynevtskyi B.V., Tsybul'skyi V.M. Pobudova neklasychnoi rozrakhunkovoi modeli mitsnosti kompozytnoi balochno-plytnoi konstrukttsii avtodorozhnikh mostiv / O.P. Kanin, B.V. Hrynevtskyi, V.M. Tsybul'skyi / Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo». Kyiv: NTU. – 2018. - № 104, S. 62-68.
3. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2014) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2014.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO LRFD (2012) Bridge Design Specifications, 6th ed. Washington, DC: AASHTO, 2012, 1661 pages.
5. Opir materialiv. Pidruchnyk / H.S. Pysarenko, O.L. Kvitka, E.S. Umanskyi. Za red. H.S. Pysarenka – K.: Vyshcha shkola, 1993. – 655 s.
6. Aleksandrov A.YA. Raschet trekhslonnykh panelej / Aleksandrov A.YA., Bryukker L.E., Kurshin L.M., Prusakov A.P.– M. : Oborongiz, 1960.
7. Aleksandrov A.YA., Kurshin L.M. Mnogoslonnyye plastinki i obolochki. V kn.: Tr. VII Vsesoyuz. konf. po teorii obolochek i plastinok. - M.: Nauka, 1970.