МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

УДК 624.012.35

ЕФЕКТИВНІ МОНОКОКОВІ КОНСТРУКЦІЇ ПЕРЕКРИТТЯ ПОРІВНЯНО З КЛАСИЧНИМИ ЗАЛІЗОБЕТОННИМИ

Л. Вознюк, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0001-9512-8338

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://doi.org/10.31734/architecture2020.21.061>**Вознюк Л. Эффективные монококовые конструкции перекрытия поровняно з классическими железобетонными**

Проаналізовано наявні наукові дослідження та сучасні потреби будівельної галузі щодо залізобетонних конструкцій, а саме дисків перекриття. Сьогодні актуальна проблема підвищення енергоефективності та звуконепроникності конструкцій перекриття, що може бути забезпечено різними матеріалами у складі перекриття. Для теоретичного порівняння конструкцій плит було поставлено завдання розробити й порівняти розрахункові скінченно-елементні моделі перекриття.

Проаналізовано ефективність чотирьох типів плит перекриття, різних за матеріалом, внутрішньою формою та вагою. Розглянуто й порівняно однакові за розмірами, але різні за конструктивними характеристиками й матеріалами плити перекриття, а саме: I – суцільну залізобетонну; II – монококову залізобетонну; III – суцільну керамзитобетонну; IV – монококову керамзитобетонну. За навантаження було прийнято власну вагу конструкції плити перекриття.

На основі розрахунків встановлено, що найбільші згинальні моменти від впливу рівномірно розподіленого навантаження в суцільній залізобетонній плиті I. Прогини монококових плит марок II та IV менші, ніж у суцільних плитах марок I та III відповідно.

Найкращий показник теплопередачі отримано в конструкції плити марки IV, а саме в монококовій керамзитобетонній, опір теплопередачі якої у 4,3 раза вищий, ніж у суцільній залізобетонній плиті марки I, і у 2,9 раза вищий, ніж у суцільній керамзитобетонній марки III. У свою чергу монококова залізобетонна плита марки II має вищий опір теплопередачі, ніж залізобетонна марки I, у чотири рази.

Виконано модальний аналіз і визначено, що періоди від першої форми коливань у плитах марок I та III більші, ніж у плитах марок II та IV відповідно, а частоти, навпаки, вищі в монококових плитах порівняно із суцільними залізобетонними.

За однакових розмірів та умов обпирання, під впливом рівномірно розподіленого навантаження від власної ваги, частота основного тону коливань монококових плит більша порівняно із суцільними на 12...16%, а прогини менші на 30%, що свідчить про підвищену жорсткість монококових плит перекриття.

Ключові слова: моделювання, скінченні елементи, власна вага, монококові плити перекриття, залізобетон, керамзитобетон, ефективність, періоди коливань, частоти коливань.

Vozniuk L. Efficiency of monocoque overlap constructions compared to classic reinforced concrete

The article makes a review of the existing scientific research and modern needs of the construction industry in the part of reinforced concrete structures, namely, overlapping disks. The current issue is to increase the energy efficiency and sound resistance of inter-floor floor structures that can be provided with various materials in the ceiling. For the theoretical comparison of slab designs, the task was to develop calculated finite element models of overlapping and to compare them.

The performance of four types of floor slabs that were different in material, internal shape and weight was analyzed. The comparisons of floor slabs of the same in size but different structural characteristics and materials are considered and made, namely: I – solid reinforced concrete; II – monocoque reinforced concrete; III – solid expanded clay; IV – monocoque expanded clay concrete. The load was taken to be the own weight of the floor slab structure.

Based on the calculations, it is determined that the highest bending moments were under the action of uniformly distributed load in solid reinforced concrete slab I. The deflections of monocoque slabs of grades II and IV are smaller than in solid slabs of grades I and III respectively.

The best indicator of heat transfer is obtained in the design of the plate of brand IV, namely monocoquel expanded clay concrete. Its heat transfer resistance is 4.3 times higher than that of solid reinforced concrete slabs of brand I and 2.9 times higher than that of solid expanded concrete grade III. And the monocoque reinforced concrete poppy board II has a higher heat transfer resistance than the reinforced concrete grade I in 4 times.

The modal analysis was performed and it was determined that the periods from the first oscillation form in plates of grades I and III were larger than in plates of grades II and IV, respectively, and frequencies were higher in monocoque plates, comparing them with solid reinforced concrete.

Given the same dimensions and the same support conditions, under the action of evenly distributed load from its own weight, the frequency of the fundamental oscillation of monocoque plates is higher as compared to continuous by 12 ... 16%, and the deflections are lower by 30%, which indicates an increased rigidity of monocoque plates overlapping.

Key words: modeling, finite elements, own weight, monocoque floor slabs, reinforced concrete, expanded clay, efficiency, oscillation periods, oscillation frequencies

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток будівельної галузі сприяє пошуку нових ефективних конструктивних рішень із можливістю економії матеріалів та ресурсів.

На сьогодні перекриття зазвичай проектують одношаровими із важкого бетону, що призводить до великих навантажень від власної ваги залізобетонних конструкцій. Тому актуальний пошук полегшених та ефективних варіантів конструкцій перекриття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пошук ефективних та раціональних рішень здійснювали багато науковців. Зокрема активно це питання вивчав проф. В. С. Шмуклер [2] у м. Харкові. У НУ «Львівська політехніка» цю тематику досліджують під керівництвом проф. Б. Г. Демчини [3]. У [1; 4] описано експериментальні дослідження полегшених плит перекриття під навантаженням, напружено-деформований стан таких конструкцій. У США та країнах Європи для зменшення власної ваги практикують використання пластикових пустотоутворювачів таких відомих виробників як *COBLAX System*, *Airdeck System*, *BubbleDeck System*, *DALIFORM* тощо. Учені Массачусетського технологічного університету [3] активно створюють розрахункові моделі таких конструкцій. Розрахунки зусиль у плитах за різних схем опирання плит детально описав Д. В. Вайнберг [5].

Постановка завдання. Наше завдання – запроєктувати дві суцільні та дві монококові плити. Матеріалом слугуватиме важкий залізобетон класу C16/20 та керамзитобетон класу LC20/22. На основі розрахунків у ПК «ЛІРА-САПР 2019» необхідно порівняти чотири типи перекриття, визначити найефективнішу конструкцію, за їхніх однакових розмірів та умов опирання, а також здійснити ваговий аналіз, порівнявши їхні опори теплопередачі й періоди та частоти від власних коливань на основі модального аналізу.

Виклад основного матеріалу. Перед виконанням розрахунків, для порівняння, було запроєктовано: дві суцільні та дві монококові

плити перекриття (табл. 1), а саме: I – суцільна залізобетонна; II – монококова залізобетонна; III – суцільна керамзитобетонна; IV – монококова керамзитобетонна.

Плити марок I та III прийнято суцільними, армовані по низу Ø12 A400C з кроком 200 x 200 мм, по верху Ø8 A400C з кроком 200 x 200 мм, та додатково над опорами Ø12 A400C з кроком 200 x 200 мм. Клас важкого бетону плити марки I – C16/20, клас керамзитобетону плити марки II – LC20/22.

Плити марок II та IV запроєктовані монококовими, а саме із пустотоутворювальними вставками. У плиті марки II важкий бетон класу C16/20, а у плиті марки IV керамзитобетон класу LC20/22. Пустоти у середині плит створюють із використанням пінополістиролу марки ПСБ-С-35 товщиною 100 мм. Верхній та нижній шари плит товщиною 60 мм. По контуру та в середині плити у двох взаємоперпендикулярних напрямках виконані ребра на всю висоту плити шириною 150 мм, в яких запроєктовано робочі арматурні каркаси. По низу в каркасі прийнята арматура Ø12 A400C, по верху Ø10 A400C, а поперечна Ø8 A240C, кроком 150 мм. Нижній та верхній шари плит марок II та IV були додатково армовані арматурою класу Ø6 A400 C з кроком 100 x 100 мм, над опорами у верхній зоні арматурні каркаси додатково посилювалися арматурою Ø16 A400C.

Розрахунок виконували в ПК «ЛІРА-САПР 2019» у лінійній постановці. Розрахункові схеми плит показано на рис. 1.

Розміри всіх марок плит прийняті однаковими, а саме 6 x 6 м у плані, та завтовшки 0,22 м. Обпирання виконували жорстко в кутах плит на колони розміром 400 x 400 мм. Розрахункові моделі створені з використанням скінченних елементів оболонки SE-44 для плит та SE-10 для колон. Колони прийняті жорстко защемленими у фундамент. Фрагмент розрахункової моделі монококових плит перекриття II та IV показано на рис. 2.

Плити з пустотоутворювальними вставками марок II та IV моделювали комбінацією SE-44 оболонки. Верхній та нижній шари завтовшки 60 мм на відстані між осями 130 мм, для забезпечення загальної товщини 220 мм. Ребра

плити також із СЕ-44, але з розміщенням у вертикальному напрямі.

Враховуючи, що навантаження від власної ваги конструкції перекриття становить великий

відсоток від загальної розрахункової величини, порівнювали плити від дії постійної складової навантаження, а саме – власної ваги конструкції. На рис. 3 показано переміщення плит марок III та IV.

Таблиця 1

Характеристики плит перекриття

№ з/п плити	Марка плит	Розміри плит: a×b×h м	Клас бетону	Клас арматури	Поперечний переріз
1	I	6x 6x0,22	C16/20	A400C	Важкий бетон
2	II			A400C, A240C	Пінополістирол Важкий бетон
3	III		LC20/22	A400C	Керамзитобетон
4	IV			A400C, A240C	Пінополістирол Керамзитобетон

Рис. 1. Розрахункові схеми плит: а) плити марок I та III; б) плити марок II та IV

Рис. 2. Фрагмент моделі монококової плити перекриття

Рис. 3. Мозаїки переміщень плит марок III (а) та IV (б)

Таблиця 2

Результати розрахунку плит

Конструкція перекриття		Вага, т	Результати розрахунку				Модалний аналіз	
			G , kH/m^2	$M_{b, \max}$, $\text{kH}\cdot\text{м}$	$M_{n, \max}$, $\text{kH}\cdot\text{м}$	$f_{\max}$, мм	Період (1-ша форма), с	Частота (1-ша форма), Гц
I	Суцільна залізобетонна	19,2	4,75	-37,2	22,4	4,9	0,159	6,26
II	Монококова залізобетонна	15,1	3,72	-25,5	15,4	3,51	0,139	7,14
III	Суцільна керамзитобетонна	15,7	3,87	-26,4	16,2	6,0	0,175	5,73
IV	Монококова керамзитобетонна	11	2,74	-18,8	11,4	4,3	0,150	6,47

Як бачимо із рис. 3, за однакових розмірів плити, від дії навантаження від власної ваги, переміщення монококової керамзитобетонної плити (IV) на 28% менше від переміщення суцільної керамзитобетонної (III).

На основі виконаних розрахунків отримано значення згинальних моментів, прогинів, періодів та частот коливань (табл. 2).

Як бачимо із табл. 2, найбільші згинальні моменти від дії навантаження від власної ваги по верху та низу в суцільній залізобетонній плиті I найбільші з-поміж усіх розглянутих варіантів. Варто зазначити, що прогини монококових плит марок II та IV менші, ніж у суцільних плитах марок I та III відповідно.

Для визначення періоду й частоти від першої форми коливань плит виконано модалний аналіз та визначено, що періоди від першої форми коливань у плитах марок I та III більші, ніж у плитах марок II та IV відповідно, а частоти,

навпаки, вищі в монококових плитах порівняно із суцільними залізобетонними.

Також порівняно навантаження від власної ваги на 1 м^2 для всіх розглянутих типів плит перекриття (рис. 4).

Рис. 4. Величина навантаження від власної ваги

Як бачимо із рис. 4, плита марки IV, а саме монококова керамзитобетонна плита, найлегша з-поміж усіх розглянутих, зокрема від плити марки I (суцільної залізобетонної) у 1,9 раза, а від плити марки III (суцільної керамзитобетонної) – у 1,6 раза, та у 1,5 раза від плити марки II (монококової залізобетонної). Витрата бетону монококових плит (II та IV) менша на 35% порівняно із суцільними плитами марок I та III.

На сьогодні важливі збереження енергії й економія матеріальних ресурсів, чого досягають застосуванням у конструкціях сучасних конструктивних рішень та енергоефективних матеріалів, зокрема проєктування перекриттів із пінополістирольними вставками, які мають значно меншу власну вагу та хороші теплоізоляційні властивості. На рис. 5 порівняно опори теплопередачі розглянутих марок плит перекриття.

Рис. 5. Опір теплопередачі

Найефективніша за показником теплопередачі конструкція плити марки IV, а саме монококова керамзитобетонна. Опір теплопередачі тут у 4,3 раза кращий, ніж у залізобетонній плиті марки I, й у 2,9 раза кращий, ніж у керамзитобетонній марці III. У свою чергу монококова

залізобетонна плита марки II має кращий опір теплопередачі, ніж залізобетонна марки I, у чотири рази.

Висновки. На основі створених розрахункових моделей проаналізовано роботи розглянутих типів плит перекриття під навантаженням та оцінено зусилля, переміщення, частоти й періоди коливань плит, враховуючи навантаження від власної ваги. Встановлено, що монококові плити перекриття значно ефективніші за класичні одношарові.

Варто зазначити, що за однакових розмірів та умов обпирання, під дією рівномірно розподіленого навантаження від власної ваги, частота основного тону коливань монококових плит більша порівняно із суцільними на 12...16%, а прогини менші на 30%, що свідчить про підвищену жорсткість монококових плит перекриття.

Бібліографічний список

1. Вознюк Л. І. Несуча здатність та деформативність багатошарових плит перекриття: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Львів, 2018. 190 с.
2. Shmukler V. S. Evolutionist approach in rationalization of building structures. *ISEC-03 Third International Structural Engineering and construction Conference*. Shunan, Japan, 2005. Pp. 539–545.
3. Lai T., Connor J. J., Veneziano D. Structural behavior of BubbleDeck slabs and their application to lightweight bridge decks, Massachusetts, 2010.
4. Вознюк Л. І., Демчина Б. Г., Дубижанский Д. І. Результаты исследования трехслойных плит перекрытия на изгиб. *Вестник БГТУ: строительство и архитектура*. 2015. № 1(91). С. 28–32.
5. Вайнберг Д. В. Расчет пластин. Киев: Будивельник, 1970. 434 с.

Стаття надійшла 11.12.2019