УДК 621.643.23:624.012.45.001.13
DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260324.13.1037

ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЕГШЕНОГО ПЛОСКОГО ПЕРЕКРИТТЯ З ПУСТОТАМИ З ПЛАСТИКОВИМИ КУЛЯМИ

БУЦЬКА О. Л.[1*], *канд. техн. наук, доц.,*
НІКІФОРОВА Т. Д.[2], *докт. техн. наук, проф.,*
ШЕВЧЕНКО Т. Ю.[3] *канд. техн. наук, доц.,*
БУЦЬКИЙ Р. В.[4], *здобувач*

[1*]Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-00, e-mail: butska.olena@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4377-3746
[2]Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-00, e-mail: nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759
[3]Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-00, e-mail: shevchenko.tetyana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0055-9819
[4] ФОП, вул. Ганни Світличної 59л, офіс 18, Павлоград, Україна, e-mail: ruslan.buckiy@gmail.com

Анотація. ***Постановка проблеми.*** Архітектурно-будівельне проектування будівель із застосуванням залізобетону зумовило зростання числа об'єктів з індивідуальною об'ємно-планувальною структурою, багатою різноманітністю фасадних та об'ємних рішень. Сьогодні актуальним стало питання про ефективність застосування плоского збірно-монолітного полегшеного перекриття у зведенні багатоповерхових будівель з індивідуними об'ємно-планувальними та архітектурними рішеннями. В умовах ринкової економіки різко зріс інтерес до питання раціонального використання ресурсів, а саме витрат бетону та арматури в будівництві, що безпосередньо пов'язане із залученням інвестицій. Як відомо, під час проектування будівель зі збірно-монолітного залізобетону, на відміну від збірного, з'являється велика свобода в прийнятті об'ємно-планувальних параметрів будівлі, а також можуть існувати більш прості конструктивні рішення, зокрема, перекриттів. Конструктивне рішення перекриттів залежить від численних вимог, що висуваються в цілому до будівлі і безпосередньо до перекриття. Одна з вимог, що впливають на залученість інвестицій, – мала матеріалоємність перекриття при значних прогонах будівель різних конструктивних систем. Ефективне застосування полегшеного перекриття зі збірно-монолітного залізобетону з пустотами з пластиковими кулями у будівництві потребує всебічного техніко-економічного аналізу інноваційного рішення конструкції перекриття зі збірно-монолітного залізобетону. ***Мета статті*** – виконати техніко-економічне порівняння різних варіантів конструктивних рішень плоского полегшеного збірно-монолітного перекриття. Розглянуто вплив параметрів перекриття на витрату бетону та арматури. ***Висновок.*** Установлено, що як матеріал для виготовлення пустот із кулями у плоских перекриттях раціонально використовувати порожнисті кулі з переробленої вторсировини. При цьому всі досліджені варіанти перекриттів із прольотами 6, 7, 8 м та розмірами пустот із куль діаметрами 180, 315 та 500 мм відповідають вимогам першої та другої групи граничних станів.

Ключові слова: *збірно-монолітне будівництво; збірно-монолітне перекриття; плоске полегшене перекриття; пустотоутворювач; перекриття з пустотами; перекриття з пустотоутворювачами*

SELECTION OF OPTIMAL PARAMETERS OF A LIGHTWEIGHT FLAT FLOOR WITH VOIDS MADE OF PLASTIC BALLS

BUTSKA O.L.[1*], *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,*
NIKIFOROVA T.D.[2], *Dr. Sc. (Tech.), Prof.,*
BUTSKYI R.V.[3], *Applicant*

[1] Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-00, e-mail: butska.olena@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-4377-3746
[2] Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-00, e-mail: nikiforova.tetiana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-0688-2759
[3] Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, Prydniprovska State Academy of Civil Engineering and Architecture,

24-a, Architect Oleh Petrov Str., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-00, e-mail: shevchenko.tetyana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0055-9819
[4] Individual Entrepreneur, 591, Anna Svitlichna Str., office 18, Pavlohrad, Ukraine, e-mail: ruslan.buckiy@gmail.com

Abstract. ***Formulation of the problem***. Architectural and construction design of buildings using reinforced concrete has led to an increase in the number of objects with an individual space-planning structure, a rich variety of facade and volumetric solutions. Today the question of the effectiveness of using flat prefabricated monolithic lightweight floors in the construction of multi-storey buildings with individual space-planning and architectural solutions is relevant. In a market economy interest in the issue of rational use of resources, namely the cost of concrete and reinforcement in construction, has sharply increased, which is directly related to attracting investment. As it is known, when designing buildings from prefabricated monolithic reinforced concrete, in contrast to prefabricated concrete, there is greater freedom in adopting the space-planning parameters of the building, and there may also be simpler design solutions, in particular for floors. The constructive solution of floors depends on numerous requirements for the building as a whole and directly for the floor. One of the requirements that influences the attraction of investments is a small material-intensive floor covering with significant spans of buildings of various structural systems. The effective use of lightweight precast monolithic reinforced concrete floors with voids made of plastic balls in construction requires a comprehensive technical and economic analysis of this innovative solution for the precast monolithic reinforced concrete floor structure. ***The purpose of the article*** is to perform a technical and economic comparison of various design options for a flat lightweight prefabricated monolithic floor. The influence of floor parameters on the consumption of concrete and reinforcement is considered. ***Conclusion.*** As a result of the research, it was established that it is rational to use hollow balls made from recycled materials as a material for making voids from balls in flat floors. Moreover, all studied floor options with spans of 6 m, 7 m, 8 m and void sizes made of balls with diameters of 180 mm, 315 mm and 50 0mm meet the requirements of the first and second groups of limit states.

Keywords: *prefabricated monolithic construction; prefabricated monolithic floor; flat lightweight floor; void former; floor with voids; floor with void formers*

Постановка проблеми. У сучасному будівництві багатоповерхових споруд вартість перекриттів досягає 30 % вартості загальнобудівельних робіт і на перекриття припадає до 60 % загальних витрат залізобетону. Показники матеріаломісткості перекриттів впливають на економічність усіх конструкцій будівлі, а саме стін, колон, фундаментів і, в цілому, на об'ємно-планувальні рішення будівель [1].

Питома вага новобудов із монолітного залізобетону в низці великих міст зросла до 25–30 %. При цьому перекриття часто виконують із безбалковими плитами, які мають максимальну матеріаломісткість. Це зумовлено тим, що сьогодні обсяг застосування нових конструктивних рішень перекриттів із монолітного або збірно-монолітного бетону з використанням пустотоутворювачів досить малий, що викликає збільшення витрати сталі до 50 % порівняно з поширеними збірними попередньо напруженими конструкціями перекриттів.

Якщо, вартість перекриття становить 30 % від загальної вартості будівлі, необхідно приділяти увагу розробленню та використанню більш економічних конструктивних рішень перекриттів. Одним із способів зниження ваги конструкції перекриття бачиться влаштування пустот у перекритті, при цьому зменшується не тільки витрата бетону, а й загальна маса перекриття, що сприяє зменшенню загального навантаження і, як наслідок, зниженню витрат арматури на армування перекриття в цілому.

У цьому дослідженні розглядається збірно-монолітне залізобетонне перекриття з пустотами із пластиковими кулями, за допомогою яких можна значно знизити витрати бетону, але при цьому будівля задовольнятиме вимоги щодо надійності та довговічності.

Також у даному перекритті прийнято рішення виконання умовних балок, для будівництва яких не треба використовувати додаткову опалубку, завдяки чому зменшиться термін будівництва та знизиться трудомісткість. Проблема раціонального використання будівельної сировини та здешевлення будівництва в нашій країні дуже важлива та актуальна.

Запропоноване плоске збірно-монолітне перекриття являє собою плиту опалубку, розташовану понизу плити перекриття,

поверх якої вкладаються пустотоутворювачі у вигляді куль (рис. 1), а потім виконується загальне замонолічення всієї конструкції перекриття [2].

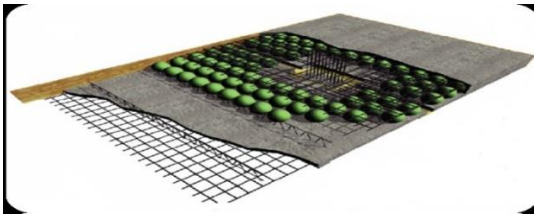


Рис. 1. Плита перекриття з розміщеними всередині порожнистими пластиковими кулями

Пустоти в даному перекритті виготовляються шляхом укладання в бетон поліпропіленових порожнистих куль високої щільності, що розташовуються згідно з проектом і розміщуються між армувальними сітками. Матеріал пустотоутворювачів не вступає в хімічну реакцію з бетоном або арматурою, не має пористості, достатньо жорсткістий і міцний, щоб сприймати навантаження, такі як заливка бетонної суміші (рис. 2).

Рис. 2. Бетонування перекриття з пустотоутворювачами з пластикових куль

Полегшене збірно-монолітне перекриття з пустотами з пластиковими кулями має такі переваги [3]:

− менша вага перекриття, порівняно із суцільними плитами, завдяки чому зменшується кількість або розмір несних конструкцій будівлі та фундаментів;

− зниження навантаження на несні конструкції полегшеного перекриття;

− менші витрати матеріалів на перекриття;

− збільшення жорсткості плити, порівняно зі збірним перекриттям;

− збільшена висота перерізу при менших витратах матеріалу, що підвищує жорсткість полегшених перекриттів;

− зниження транспортувальних витрат конструкції перкриття порівняно зі збірними.

− поліпшена звукоізоляція у закритих стельових порожнинах.

Мета статті – вибір раціональних параметрів збірно-монолітних плоских перекриттів із пустотами з пластиковими кулями при заданих характеристиках бетону та арматури. Розглянуто вплив параметрів перекриття на витрату бетону та арматури.

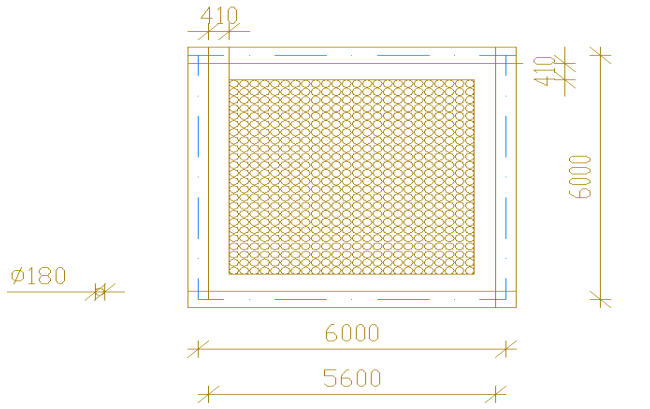
Результати досліджень. Для числового аналізу напружено-деформованого стану конструкції збірно-монолітного перекриття з пустотами з пластиковими кулями та оцінення витрат бетону та арматури на перекриття створено розрахункову модель перекриття з пустотами [4], що оперті за контуром на умовні балки, для розрахунку в програмному комплексі «Ліра» (див. статтю в цьому збірнику). У цьому комплексі виконано розрахунок створеної моделі перекриття за першою та другою групою граничних станів.

Отримано поздовжні та поперечні напруги N_X та N_Y у конструкції перекриття.

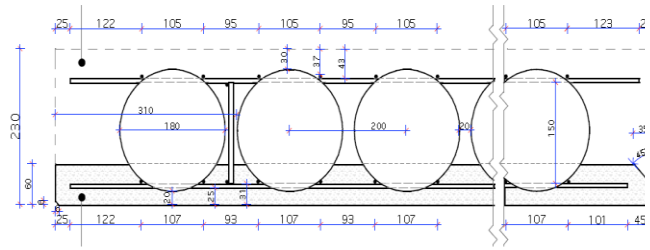
За отриманими результатами напруги виконано підбір арматури для плит перекриття з довжиною прольоту 6, 7 і 8 м, з різними діаметрами пустотоутворювача 180, 315 та 500 мм під корисне характеристичне навантаження 1,5 кПа.

Конструктивна схема плити перекриття з прогонами 6×6 м та пустотоутворювачами діаметром 180 мм наведена на рисунку 3. При цьому для розглянутої конструктивної схеми перекриття приймалися однакові відстані між пустотоутворювачами і поверхнями плити виходячи з мінімальних конструктивних вимог.

Розрахунок армування в перекритті виконаний з умови сприйняття арматурою всіх напруг розтягу, опорними і прогоновими поперечними перерізами балок і поперечним перерізом плити перекриття. Потім за підібраними діаметрами арматури виконано розкладку сіток у перекритті (рис. 4).



а



б

Рис. 3. Конструктивна схема плити перекриття з пустотами з пластиковими кулями: а – план розташування конструктивних елементів, б – переріз плити перекриття

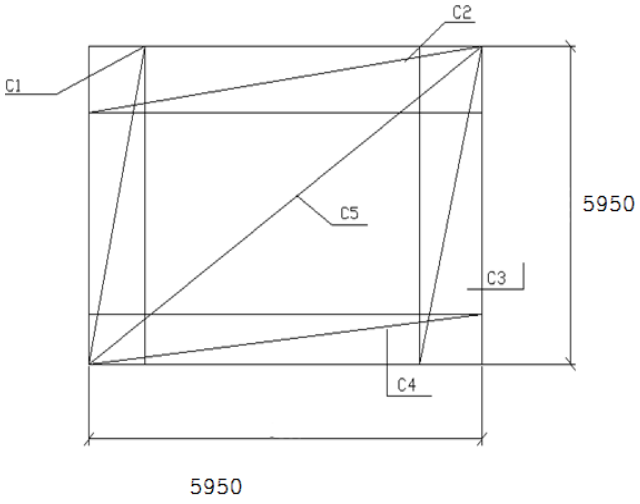


Рис. 4. Схема розташування сіток плити перекриття

У розрахункових фрагментах монолітного перекриття з пустотами зміна як довжини прогону конструкції, так і величини пустотоутворювача, а саме і товщини конструкції відіграє значну роль:

1) значно збільшуються витрати бетону при збільшенні пустотеутворювача та зменшуються при збільшенні величини прогону конструкції (табл. 1).

Таблиця 1

Витрати бетону на перекриття, м³/м²

Варіанти перекриття	Витрати бетону, м³/м²
Варіант 1 (Ø180 mm, l = 6 m)	0,182
Варіант 2 (Ø 180 mm, l = 7 m)	0,171
Варіант 3 (Ø 180 mm, l = 8 m)	0,169
Варіант 4 (Ø 315 mm, l = 6 m)	0,246
Варіант 5 (Ø 315 mm, l = 7 m)	0,238
Варіант 6 (Ø 315 mm, l = 8 m)	0,246
Варіант 7 (Ø 500 mm, l = 6 m)	0,454
Варіант 8 (Ø 500 mm, l = 7 m)	0,439
Варіант 9 (Ø 500 mm, l = 8 m)	0,428

2) Втрати арматури збільшуються при збільшенні величини прогону та зменшуються при збільшенні пустотоутворювача конструкції (табл. 2).

Таблиця 2

Витрати арматури на перекриття, м³/м²

Варіанти перекриття	Витрати арматури, кг/м²
Варіант 1 (Ø180 mm, l = 6 m)	17,55
Варіант 2 (Ø 180 mm, l = 7 m)	13,98
Варіант 3 (Ø 180 mm, l = 8 m)	14,92
Варіант 4 (Ø 315 mm, l = 6 m)	14,2
Варіант 5 (Ø 315 mm, l = 7 m)	14,36
Варіант 6 (Ø 315 mm, l = 8 m)	16,2
Варіант 7 (Ø 500 mm, l = 6 m)	4,88
Варіант 8 (Ø 500 mm, l = 7 m)	3,86
Варіант 9 (Ø 500 mm, l = 8 m)	4,17

3) Вартість матеріалів на улаштування 1 м² перекриття збільшуються при збільшенні величини прольоту та при збільшенні Ø пустотоутворювача конструкції (табл. 3).

Таблиця 3

Вартість матеріалів на улаштування 1 м² перекриття, грн

Віранти перекриття	Вартість 1 м², грн
Варіант 1 (Ø180 mm, l = 6 m)	936,0
Варіант 2 (Ø 180 mm, l = 7 m)	804,15
Варіант 3 (Ø 180 mm, l = 8 m)	827,9
Варіант 4 (Ø 315 mm, l = 6 m)	979,5
Варіант 5 (Ø 315 mm, l = 7 m)	966,3
Варіант 6 (Ø 315 mm, l = 8 m)	1113,3
Варіант 7 (Ø 500 mm, l = 6 m)	1167,9
Варіант 8 (Ø 500 mm, l = 7 m)	1081,05
Варіант 9 (Ø 500 mm, l = 8 m)	1088,1

Для визначення раціональних параметрів конструкції враховується як витрата матеріалів, так і їх вартість. За поточними розцінками на січень 2024 року середня вартість 1 м^3 бетону класу С20/25 становить – 2 250 грн; середня вартість 1 т арматури складає 30 000 грн. Згідно з вартістю матеріалів на улаштування 1 м^2 перекриття найбільш оптимальним є перекриття з прогонами 7×7 м та пустотоутворювачем Ø 180 мм.

Висновки

1. У розрахунках перекриття щодо витрати арматури значну роль відіграє зміна Ø пустотоутворювача, тобто товщини плити при постійному прогоні конструкції. При збільшенні Ø від 180 до 500 мм спостерігається зменшення витрат арматури.

2. У розрахунках перекриття щодо витрати арматури важливу роль відіграє зміна прогону конструкції при постійній товщині конструкції (Ø пустотоутворювача). При збільшенні прогону конструкції з 6 до 8 м витрата арматури збільшується.

3. Для виявлення оптимальних параметрів конструкції збірно-монолітного перекриття з пустотами з пластиковими кулями враховується не лише витрата, а й вартість матеріалів.

При збільшенні товщини плити (Ø пустотоутворювача) чи збільшенні прогону конструкції з 6 до 8 м спостерігається збільшення вартості 1 м^2 збірно-монолітного перекриття.

4. Згідно з вартістю матеріалів на улаштування 1 м^2 перекриття найбільш оптимальним є перекриття з прогонами 7×7 м та пустотоутворювачем Ø 180 мм.

СПИСОК ВИКОРИСАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону-2003: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). Вип. 59, кн. 1, 2. Київ : Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій Держбуду України, 2003. 264 с.

2. The Original Voided Slab Technology. URL: https://www.bubbledeck.com/

3. Мадатян С. А. Новые технологии и материалы для арматурных работ в монолитном железобетоне. *Технологии бетонов*. 2006. № 3. С. 52–54.

4. Перельмутер А. В., Сливкер В. И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Изд. 2-е перераб. и доп. Киев : Сталь, 2002. 600 с.

5. Степанов И. С. Экономика строительства : учеб. для вузов. Юрайт, 2002.

REFERENCES

1. *Naukovo-tekhnichni problemy suchasnoho zalizobetonu-2003 : Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk naukovykh prats' (budivnytstvo)* [Scientific and technical problems of the modern reinforced concrete-2003 : Interdepartmental scientific and technical collection of scientific works (building)]. Vol. 59, Book. 1, 2. Kyiv: State scientific and experience institute of building constructions of State building of Ukraine, 2003, 264 p. (in Ukrainian).

2. The Original Voided Slab Technology. URL: https://www.bubbledeck.com/

3. Madatyan S.A. *Novyye tekhnologii i materialy dlya armaturnykh rabot v monolitnom zhelezobetone* [New technologies and materials for reinforcement works in monolithic reinforced concrete]. *Tekhnologii betonov* [Concrete Technologies]. 2006, no. 3, pp. 52–54. (in Russian).

4. Perelmuter A.V. and Slivker V.I. *Raschetnyye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ikh analiza* [Calculation models of structures and the possibility of their analysis]. Ed. 2nd rev. and add. Kyiv : Steel Publ., 2002, 600 p. (in Russian).

5. Stepanov I.S. *Ekonomika stroitelstva* [Economics of construction : textbook for universities]. Yurayt Publ., 2002. (in Russian).

Надійшла до редакції: 03.03.2024.