

УДК 621.643.23:624.012.45.001.13

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260324.7.1036

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЕГШЕНОГО ПЛОСКОГО ПЕРЕКРИТТЯ З ПУСТОТАМИ ІЗ ПЛАСТИКОВИМИ КУЛЯМИ

БУЦЬКА О. Л.^{1*}, канд. техн. наук, доц.,
НІКІФОРОВА Т. Д.², докт. техн. наук, проф.,
БУЦЬКИЙ Р. В.³, 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 ФОП, вул. Ганни Світличної 59л, офіс 18, Павлоград, Україна, e-mail: ruslan.buckiy@gmail.com

Анотація. Постановка проблеми. Збірно-монолітне будівництво у вітчизняній та загальносвітовій практиці в останні роки займає значну частку у галузі будівництва. Запропоновано досить велику кількість конструкцій збірно-монолітних полегшених перекриттів, а також окремих конструктивних елементів. Використання полегшених перекриттів у будівництві житлових і громадських будівель дозволяє істотно знизити витрату матеріалів і власну масу конструкцій і збільшити розмір тимчасових навантажень і прогонів, що перекриваються. Незважаючи на це, не можна сказати, що знайдено найефективніші конструктивні рішення, здатні максимально задовольнити вимоги споживачів, архітекторів та будівельників. Виходячи з цього, запропоновано та досліджено досить ефективне з погляду будівництва та подальшої експлуатації конструктивне рішення полегшеного збірно-монолітного перекриття з порожнечами з пластиковими кулями. Конструктивне рішення полегшеного збірно-монолітного плоского перекриття з пустотами з пластиковими кулями має меншу масу, ніж у суцільних перекриттів, та оптимальне використання матеріальних ресурсів, а саме витрат бетону та арматури. Тому дослідження щодо визначення оптимальних параметрів конструкції плоского полегшеного перекриття з пустотоутворювачами з пластиковими кулями актуальне. **Мета статті** – провести числові дослідження напружено-деформованого стану запропонованої конструкції збірно-монолітного перекриття з пустотами з пластиковими кулями. **Висновок.** У результаті досліджень встановлено, що як матеріал для виготовлення пустот з кулями у плоских перекриттях раціонально використовувати порожнисті кулі з переробленої вторсировини. При цьому всі досліджені варіанти перекриттів із прогонами 6, 7, 8 м, та розмірами пустот з кулями діаметрами 180, 315 та 500 мм відповідають вимогам першої та другої груп граничних станів.

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

MODELING 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, Prydniprovsk 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, Prydniprovsk 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 Individual Entrepreneur, 591, Anna Svitlichna Str., office 18, Pavlohrad, Ukraine, e-mail: ruslan.buckiy@gmail.com

Abstract. Formulation of the problem. Prefabricated monolithic construction in domestic and global practice in recent years has occupied a small share in the field of construction. A fairly large number of designs of prefabricated monolithic lightweight floors, as well as its individual structural elements, have been proposed. The use of lightweight

floors in the construction of residential and public buildings can significantly reduce the consumption of materials and the dead weight of structures and increase the size of live loads and overlapping spans. Despite this, it cannot be said that effective design solutions have been found that can maximally satisfy the requirements of consumers, architects and builders. Based on this, a constructive solution for a lightweight prefabricated monolithic floor with voids made of plastic balls, quite effective from the point of view of construction and subsequent operation, was proposed and investigated. The proposed design solution for a lightweight prefabricated monolithic flat floor with voids made of plastic balls has less mass than solid floors and optimal use of material resources, namely the consumption of concrete and reinforcement. Therefore, research to determine the optimal design parameters of a flat lightweight floor with void formers made of plastic balls is relevant. *The purpose of the article* is to conduct numerous studies of the stress-strain state of the proposed design of a prefabricated monolithic floor with voids made of plastic balls. *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 500 mm 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. Найпростішим у зведенні житлових будинків у минулі роки залишалось влаштування монолітного перекриття. Однак це спричинює значне збільшення витрати бетону та обтяження конструкції будівлі. Дуже ефективним для зниження витрати матеріалів, як бетону, так і арматури, та забезпечення рівного перекриття круглої та овальної форми поверхні стало використання перекриття з пустотами.

Збірно-монолітне будівництво в Україні набагато менше розвинене, ніж монолітне або збірне, незважаючи на окремі та досить успішні проекти зведення таких будівель із збірно-монолітного залізобетону в минулому. Проте наразі частка зведених будівель із нових конструктивних рішень збірно-монолітного залізобетону поступово збільшується. Це пов'язано з можливістю в проектних рішеннях одночасного об'єднання позитивних моментів окремо збірного та монолітного видів будівництва в одній збірно-монолітній будівлі [1–3].

Спираючись на успішний досвід будівельників минулих років, а також на досвід зарубіжних спеціалістів, нині в Україні запропоновано різноманіття конструктивних систем зі збірно-монолітного залізобетону, орієнтованих на вимоги сучасного будівництва у плані архітектурних та об'ємно-планувальних рішень.

У процесі дослідження питання зменшення маси монолітної плити й

одночасного забезпечення перекриття рівною поверхнею стель з'явилося конструктивне рішення перекриття з використанням пустот пластикових куль.

Після аналізу наявних конструктивних систем будівель із збірно-монолітного залізобетону і, зокрема, конструкцій перекриттів, що входять до них, автори запропонували і чисельно дослідили конструкцію полегшеного збірно-монолітного перекриття, що виконується з плити-опалубки [2] пустотоутворювачів та монолітного бетону. Конструкція перекриття показана на рисунку 1.

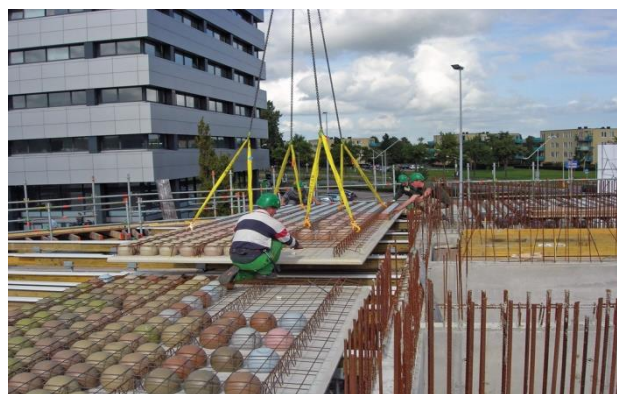


Рис. 1. Плита перекриття з розміщеними всередині порожнистими пластиковими кулями

Перекриття цієї системи складається з армувального каркаса, всередині якого розміщені порожнисті кулі з вторинної сировини – поліетилену та залізобетону, що заповнює весь простір між кульками та шар бетону над ними.

По низу осередку перекриття працюють арматурні стрижні, що сприймають зусилля

розтягу. У місцях перетину перекриття з колоною залишаються суцільні монолітні секції з арматурними каркасами, що забезпечують сприйняття на цих ділянках максимальних зусиль.

Між верхнім та нижнім елементами арматурного каркаса містяться порожнисті пластикові кулі. В результаті полегшується конструкція перекриття, що, у свою чергу, зумовлює зниження маси перекриття на 35 %, ніж еквівалентне перекриття суцільного монолітного бетонного перекриття. Це сприяє значній економії матеріалу на будівлі загалом.

Перевага запропонованого рішення – великі готові до використання технологічні модулі, що виготовляються на заводі. На будівельному майданчику доводять до остаточної форми просторові каркасні клітки із вбудованими в них пластиковими кулями. Арматурні каркаси розташовуються у горизонтальних опалубних формах. Для створення захисного шару бетону зверху каркасів укладаються пластикові підпирні елементи, що забезпечують дотримання точної відстані між поверхнею опалубки прогону та арматурою (рис. 2).



Рис. 2. Фрагмент кріплення на поверхні опалубки арматурних каркасів з порожнистими пластиковими кулями

Мета дослідження – отримання оптимальних параметрів конструктивного рішення перекриття та напружено-деформованого стану плоского збірно-монолітного перекриття з пустотами з пластиковими кулями.

Для досягнення поставленої мети здійснено:

1. вивчення та аналіз існуючих конструктивних рішень плоских збірно-монолітних перекриттів;
2. вибір найбільш раціонального розміру пустотоутворювача;
3. Аналіз умов роботи полегшеного перекриття з різними прогонами та різними діаметрами пустотоутворювачів.

Мета статті – чисельні дослідження напружено-деформованого стану запропонованої конструкції збірно-монолітного перекриття з пустотами з пластиковими кулями.

Результати досліджень. Аналіз поширених в Україні розрахункових програмних комплексів показав, що розрахунок збірно-монолітного перекриття з пустотами з пластиковими кулями можна виконати у будь-якому програмному пакеті, який забезпечує можливість розв'язання статичної задачі, а також у програмних пакетах, в яких можливо, за отриманим напружено-деформованим станом, автоматично підібрати арматуру.

Для числового аналізу напружено-деформованого стану конструкції та оцінення впливу факторів, що впливають на напружено-деформований стан плит збірно-монолітного перекриття, використано програмний комплекс «Ліра» [4].

Для дослідження прийняті монолітні перекриття з довжиною прогону 6, 7 і 8 м, з різними діаметрами пустотоутворювача 180, 315 та 500 мм. Вибір найбільш оптимальних розмірів перекриття залежить від витрат матеріалу на це перекриття за наведеною товщиною бетону для пустотоутворювачів різних діаметрів, при різній проектній товщині плити перекриття.

Конструктивна схема плити перекриття наведена на рисунку 3. При цьому для розглянутої конструктивної схеми перекриття приймалися однакові відстані між пустотоутворювачами і поверхнями плити виходячи з мінімальних конструктивних вимог.

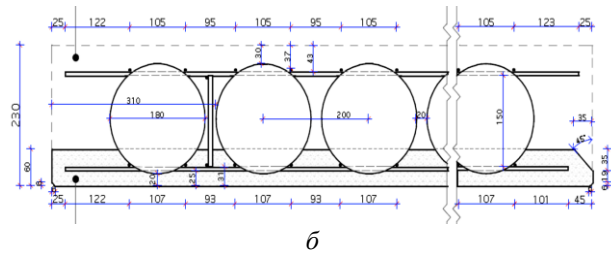
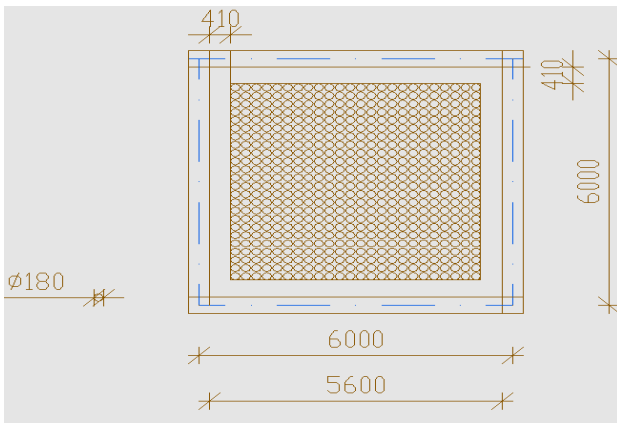


Рис. 3. Конструктивна схема плити перекриття з пустотами з пластиковими кулями:
а – план розташування конструктивних елементів,
б – переріз плити перекриття

Для розрахунку конструкції в ПК «Ліра» має бути створена модель конструкції. Для моделювання плита розбивається на скінченні елементи. Моделювання конструкції показано на прикладі плити з прогоном 6 м і діаметром пустоти 180 мм.

У дослідженні розраховується перекриття кожного варіанта з урахуванням геометричних характеристик та характеристик матеріалу.

Для розглядуваного варіанта основні характеристики перекриття такі: діаметр кулі 180 мм; розмір в осях 6×6 м; висота плити 230 мм; клас бетону: С20/25; класи арматури плити при Ø3...5 мм Вр-1 та при Ø6..25 мм А400с.

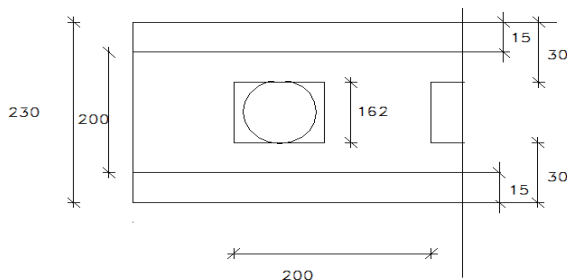


Рис. 4. Зведений переріз перекриття

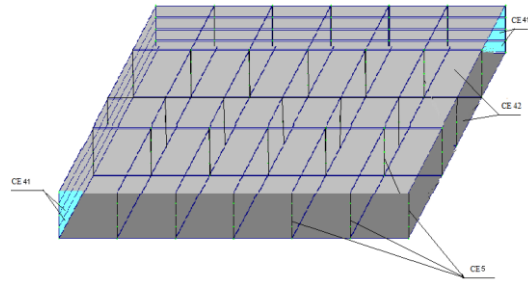


Рис. 5. Розрахункова схема перекриття

Моделюючи розрахункову схему, переріз плити перекриття замінюємо зведеним перерізом (рис. 4).

Розбивку на скінченні елементи здійснюємо в такий спосіб:

- зверху та знизу застосовані плитні скінченні елементи 42;
- умовні балки приймаємо у вигляді балки-стілки СЕ 41;
- перегородки між пустотами прийняті у вигляді стрижнів СЕ 5.

Розрахунок перекриттів прольотом 6, 7, 8 м і діаметрами пустот 180, 315, 500 мм, виконаний за першою та другою групою граничних станів.

Характеристичне значення тимчасового навантаження на перекриття приймалося рівним 1,5 кН/м², як для житлових будівель. Постійне навантаження на перекриття приймалося з урахуванням ваги перегородок. Розмір постійного розрахункового навантаження на перекриття становить – 4,46 кН/м² [5].

Розрахункові навантаження показані на рисунку 6.

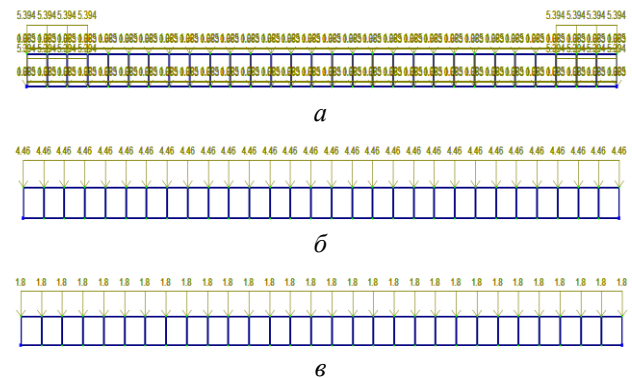


Рис. 6. Розрахункові навантаження на перекриття:
а – власна вага конструкції перекриття;
б – постійне навантаження на перекриття;
в – тимчасове навантаження на перекриття

Результатом статичного розрахунку перекриття з пустотами та умовними балками стали отримані ізополя напруг N_x і N_y у верхній та нижній плиті (відповідно розрахункової моделі рис. 5). Також отримано величини та вид деформації перекриття (рис. 6, табл.).

Таблиця

Максимальні деформації за відповідними напрямками, мм

Ø куль, мм	Прогони 6×6 м			Прогони 7×7 м			Прогони 8×8 м		
	180	315	500	180	315	500	180	315	500
X	0.11	0.18	0.273	0.137	0.103	0.137	0.049	0.073	0.111
Y	0.11	0.18	0.273	0.137	0.103	0.137	0.049	0.073	0.111
Z	2.43	0.55	9.49	2.75	1.88	2.75	0.503	0.909	1.59

У розрахунку приділялась увага напругам в елементах, загальній деформації конструкції та порівнянню її з допустимими величинами напруг у бетони/арматурі та загальній деформації перекриття [6].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ 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. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2009. 97 с.
6. ДСТУ Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України; ДП «Укрархбудінформ», 2012. 312 с.

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/>

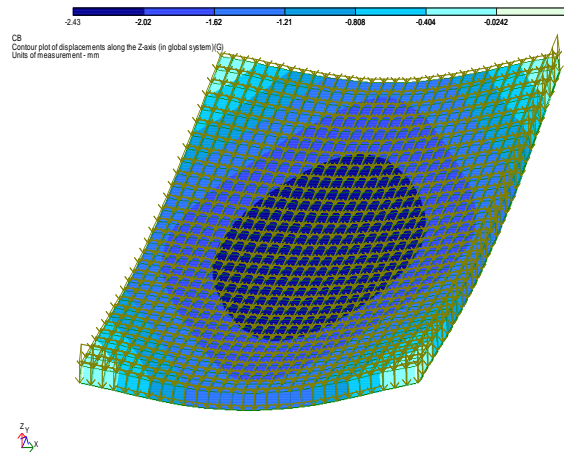


Рис. 7. Деформована схема перекриття

За заданої конструктивної схеми та даних навантажень всі варіанти плит перекриттів відповідають умовам обох груп граничних станів.

Висновки

1. За аналізом існуючих програмних комплексів для моделювання полегшеного збірно-монолітного перекриття з пустотами з пластиковими кулями обрано програмний комплекс «Ліра».
2. Виконано модель перекриття, що відповідає реальній роботі конструкції.
3. За заданої конструктивної схеми та даних навантажень всі варіанти плит перекриттів відповідають умовам обох груп граничних станів.

3. Madatyán 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. *DBN V.1.2-2:2006. Navantazhennya i vplyvy* [SBN B.1.2-2:2006. Loading and influences]. Kyiv : Ministry of building, architecture and housing and communal services of Ukraine, 2009, 97 p. (in Ukrainian).
6. *DSTU B EN 1992-1-1:2010. Yevrokod 2: Proektuvannya zalizobetonnykh konstruksiy. Chastyna 1-1. Zahal'ni pravyla i pravyla dlya sporud* [SSTU B EN 1992-1-1:2010. Eurokod 2: Planning of reinforce-concrete constructions. Part 1-1. General rules and rules for building]. Kyiv : Ministry of regional development and building of Ukraine; SE “Ukrarhbudinfor”, 2012, 312 p. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 22.02.2024.