

В. Є. Артёмов¹, І. І. Білоус¹, П. М. Фірсов²

¹ЗВО «Університет Короля Данила», Україна

²Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ БЛОКІВ НЕЗНІМНОЇ ОПАЛУБКИ ШИРИНОЮ ВІД 300 ДО 400 ММ ДЛЯ МАЛОПОВЕРХОВОГО БУДІВНИЦТВА

У статті досліджено параметри міцності та жорсткості бетонних блоків незнімної опалубки (БНО), що набувають популярності у малоповерховому будівництві завдяки своїй здатності поєднувати функції опалубки та опорної конструкції. У статті зазначено, що використання блоків БНО в Україні обмежене, зокрема через недостатньо розроблену методику їхнього армування. У роботі виконано розрахунок тримальної здатності та параметрів згинальної жорсткості стін на основі блоку 500×400×200 мм. Результати дослідження у вигляді графіків міцності та жорсткості залізобетонного перерізу можна використовувати для проектування залізобетонних стін з БНО різних форм та розмірів. Дослідження виконано у програмному забезпеченні *Dustlab TechEditor*, що дозволяє автоматизувати інженерні розрахунки.

Ключові слова: залізобетон, блок, опалубка, арматура, аналіз, графік.

Постановка проблеми

Бетонні блоки незнімної опалубки (далі БНО) – сучасний та ефективний матеріал для будівництва, який дозволяє зводити міцні, теплі та довговічні споруди за відносно короткі терміни (рис. 1).



Рис. 1. Блоки незнімної опалубки на будівельному майданчику

Ці блоки водночас виконують функцію опалубки та опорної конструкції: спочатку вони використовуються в якості форми для заливки

бетону під час будівництва стін, фундаментів та інших конструкцій, а після затвердіння бетону стають невід'ємною частиною будівлі, надаючи їй додаткову міцність та стійкість.

Зазвичай, блоки БНО виготовляються з легкого бетону, пінобетону чи газобетону. Існують варіанти виготовлення блоків з пінопласту або пінополістиролу – аналог технології ICF, яка доволі розповсюджена у малоповерховому будівництві закордоном, наприклад в США та Канаді [1]. Але у випадку пінопласту, блок лише виконує функції опалубки та утеплювача.

Усередині блоків передбачені порожнечі та спеціальні канали для армування (пази), які дозволяють створити монолітний каркас. Проте, виробники та реалізатори блоків надають рекомендації з армування вельми наближено, що змушує проектувальників шукати індивідуальні підходи до забезпечення міцності та стійкості конструкцій, а нерідко й взагалі відмовлятися від використання блоків БНО на користь традиційної монолітної технології зведення стін. Відсутність науково обґрунтованої методики армування перешкоджає широкому застосуванню цих конструкцій у малоповерховому будівництві, то ж дана публікація має на меті усунути ці прогалини та надати інженерам рекомендації щодо їхнього використання у проектній документації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Загальна методика проектування конструкцій з залізобетону в Україні регламентується нормами [5, 6]; допустимим до використання також є Єврокод [7].

Незважаючи на зростаючу популярність та цікавість до блоків незнімної опалубки з боку інженерної спільноти, наукових публікацій на цю тему — відносно небагато. Переваги та недоліки існуючих технічних рішень наведено у публікації [1]: проаналізовано деревобетонні та армопанелі, пінополістирольну, фібролітову, скломагнезитову та декоративну опалубку, тощо. Зокрема, автори [1] наголошують на відмінностях між вітчизняною нормативною базою та стандартами проектування інших країн: застосування незнімної опалубки в Україні має суттєві обмеження і дозволено лише для будівель висотою до 5 поверхів (включно).

Дослідження конструкцій ICF (пінополістирол) наведено в роботах [2, 3], а з більш детальним звітом для проектування та конструювання будівель з ICF можна ознайомитися за посиланням [4]. Автори звіту аналізують переваги технології ICF, зокрема її теплоізоляційні властивості, енергоефективність, а також структурну міцність і довговічність. Звіт містить рекомендації щодо використання ICF у різних кліматичних умовах і надає інструкції з монтажу, що робить його корисним ресурсом для підвищення ефективності й якості будівельних конструкцій.

У статті [2] досліджено теплоізоляційні та структурні характеристики бетонних блоків з ізоляцією типу екранної решітки (SGICF) за допомогою експериментальних випробувань. Автори оцінюють ефективність SGICF-блоків у забезпеченні теплової стійкості й механічної міцності конструкцій. Результати показують, що така система опалубки значно покращує теплоізоляцію і здатність витримувати навантаження, що робить її перспективною для використання в енергоефективних і стійких будівельних проектах. У статті [3] досліджено поведінку блоків з ізолюваною бетонної форми, підсилених поліпропіленовими листами. Автори аналізують вплив поліпропілену на міцність, жорсткість та теплоізоляційні властивості

блоків ICF. Результати показують, що застосування поліпропіленових листів сприяє покращенню механічних характеристик блоків, що може підвищити їхню ефективність у будівництві енергоефективних конструкцій.

В [9] розглянуто концепції застосування фероцементу для виготовлення бетонних балок з використанням постійної опалубки з армованого розчину. Автори досліджують, як така опалубка впливає на міцність та жорсткість бетонних балок, а також аналізують її ефективність у зменшенні тріщин і деформацій. Результати свідчать, що використання фероцементу покращує конструктивні характеристики балок у порівнянні зі звичайними методами.

В роботі [10] досліджено поведінку бетонних колон з використанням постійної модульної опалубки з ультрависокоміцного бетону (UHPC) під дією осевого навантаження. Автори оцінюють ефективність такої опалубки для підвищення міцності колон та зменшення їх деформацій. Результати показали, що застосування UHPC-опалубки сприяє покращенню тримальної здатності та стійкості колон у порівнянні з традиційними методами.

Формулювання мети дослідження

Метою даного дослідження є надання інженерам-проектувальникам інформації про тримальну здатність та жорсткість блоків незнімної опалубки, яку вони могли б використати у своїх проектах. Примітка: тут і далі по тексту замість терміну «несуча здатність» автори використовують термін «тримальна здатність».

Виклад основного матеріалу

На ринку будівельних виробів сьогодні представлена низка блоків незнімної опалубки різних форм та розмірів. Одним з типових таких елементів є блок розміром $500 \times 400 \times 200$ мм, який має товщину зовнішніх граней та внутрішніх стінок 40 мм. Цей блок взято за основу розрахунків в даному дослідженні. Схематично даний блок зображено на рис. 2.

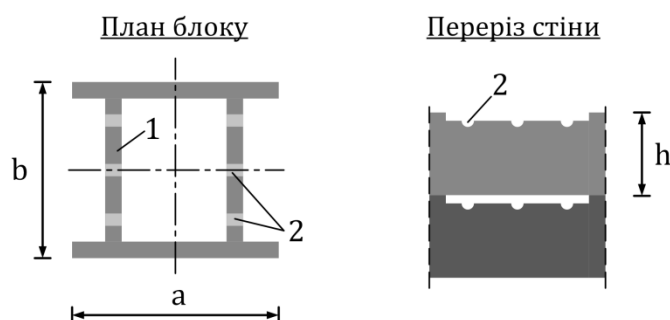


Рис. 2. Габаритні розміри та елементи блоку БНО: 1 – бетонна перегородка; 2 – отвори для арматури.

Розрахунку підлягає один погонний метр стінки (вздовж будівлі). На цій ширині $b = 1000$ мм можуть розміститися два блоки з 16 стержнями вертикальної арматури. Таким чином, маємо по 8 стержнів в стиснутій та розтягнутій зонах перерізу ($n_{sc} = n_s = 8$).

Досліджуваний конструктив має розрахунковий опір бетону стиску $f_{cd} = 11,5$ МПа (клас С16/20) та розрахунковий опір арматури розтягу $f_{yd} = 435$ МПа (клас А500С).

На рис. 3 показана конструктивна схема стінки та її розрахунковий переріз. В рамках дослідження, висота перерізу варіюється від 300 до 400 мм з кроком 10 мм (обрані межі відповідають пропозиціям виробів на ринку України). Робота залізобетонного елемента розглянута в класичній лінійній постановці [5]: спочатку визначається висота стиснутої зони бетону x , а після цього – момент тримальної здатності перерізу M .

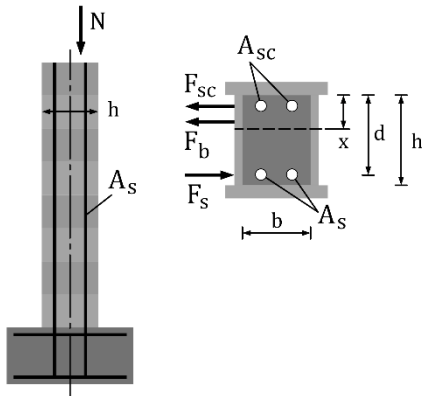


Рис. 3. Конструктивна схема стінки з бетонних блоків (ліворуч) та розрахунковий залізобетонний переріз (праворуч)

Формула (1) виражає баланс рівнодіючих зусиль в стиснутій арматурі $F_{sc} = f_{sc}A_{sc}$, в розтягнутій арматурі $F_s = f_{yd}A_s$ та в стиснутій зоні бетону $F_b = f_{cd}bx$ (рис. 3):

$$x = \frac{f_{yd}A_s - f_{sc}A_{sc}}{f_{cd}b} \quad (1)$$

Формула (2) характеризує сумарний момент, які ці зусилля створюють навколо центру ваги розтягнутої арматури:

$$M = f_{cd}bx \left(d - \frac{x}{2} \right) + f_{sc}A_{sc}(d - a_{sc}) \quad (2)$$

На рис. 4 приведені результати обчислення моменту M для блоків різної ширини (в розрахунковій моделі це висота перерізу h) та різного діаметру арматури. Досліджено 5 варіантів армування: стиснута зона у всіх випадках армована стержнями діаметром 12 мм, розтягнута — діаметрами 12, 14, 16, 18 та 20 мм. Розрахунки та чисельне моделювання виконані в програмному забезпеченні TechEditor (версія Pro, ліцензійний ID: 738).

Зазначимо, що графіки рис. 4 можна використовувати як для повної висоти перерізу (з урахуванням спільної роботи блоку та бетонного ядра), так і за умови розрахунку лише бетону заповнення (без урахування блоку). Який саме випадок приймати до розгляду, проектувальник вирішує самостійно.

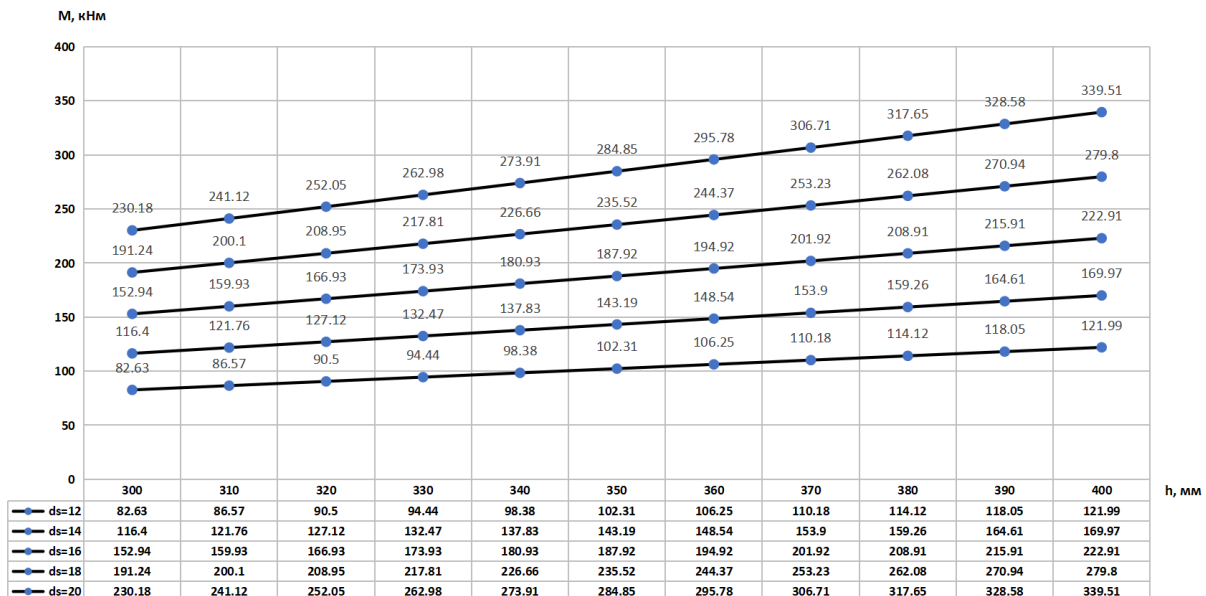


Рис. 4. Графіки тримальної здатності залізобетонного перерізу (M , кН×м) для конструкцій з блоками незмінної опалубки різної ширини (h , мм) та різними діаметрами розтягнутої арматури (d_s , мм)

Результати дослідження легко використати в конкретному проекті. Для цього потрібно визначити внутрішні зусилля в стінових елементах і порівняти їх з відповідною кривою на графіку. Наприклад, якщо стіна навантажена зусиллям $N = 110$ кН з повним ексцентриситетом $e = 300$ мм, то це спричиняє позacentровий стиск елемента з моментом $N \times e = 33$ кН×м. Якщо ми використовуємо блок шириною 300 мм і арматуру обох зон діаметром 12 мм, то умова міцності перерізу – виконується:

$$33,0 / 82,6 = 0,4 < 1.$$

Іншим важливим критерієм у проектуванні є жорсткість конструкції. На рис. 5 наведено графік приведеної до бетону згинальної жорсткості перерізу, дані якого інженери-конструктори можуть використати для обчислення деформацій елемента. Геометричні характеристики приведенного перерізу

(площа, момент інерції) визначені з урахуванням порожнин, що утворюються у бетонному перерізі в місцях розташування арматури:

$$A = A_c + (\eta_s - 1)A_s + (\eta_{sc} - 1)A_{sc}; \quad (3)$$

$$J = J_c + (\eta_s - 1)J_s + (\eta_{sc} - 1)J_{sc}, \quad (4)$$

де η_s, η_{sc} — параметри, що характеризують відношення модулів пружності арматури (розтягнутої і стиснутої, відповідно) і бетону; A_c, A_s, A_{sc} — площа бетонного перерізу, розтягнутої та стиснутої арматури, відповідно; J_c, J_s, J_{sc} — моменти інерції бетонного перерізу, розтягнутої та стиснутої арматури, відповідно.

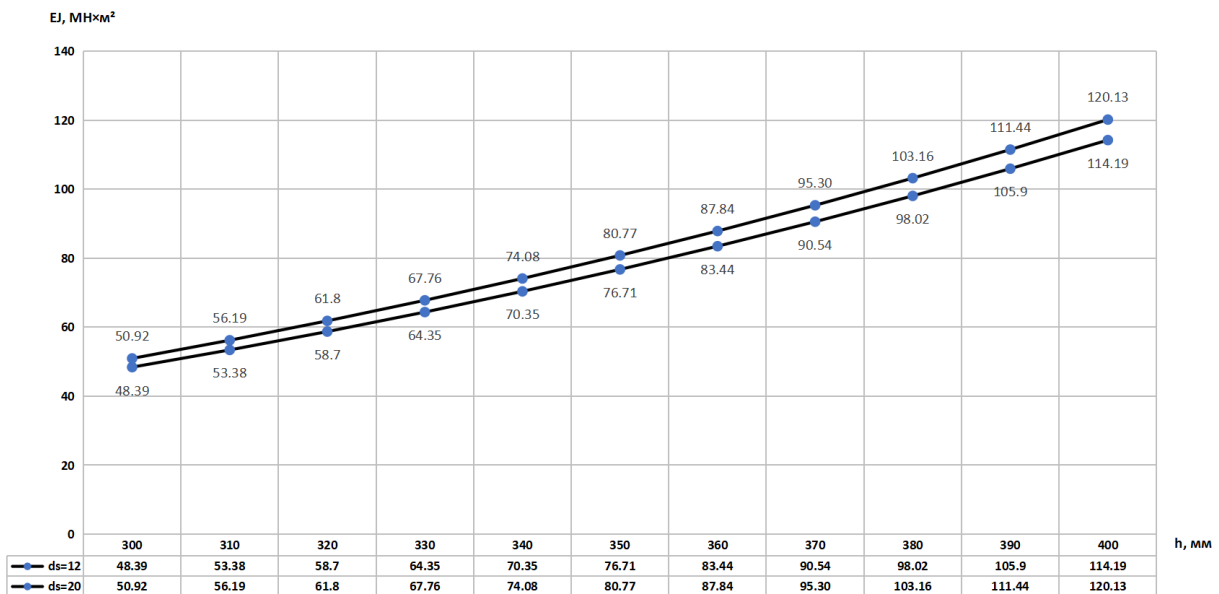


Рис. 5. Графіки згинальної жорсткості залізобетонного перерізу ($EJ, \text{МН}\times\text{м}^2$) для конструкцій з блоками незнімної опалубки різної ширини ($h, \text{мм}$) та різними діаметрами арматури ($d_s, \text{мм}$)

Висновки

Результати дослідження можуть бути використані інженерами або архітекторами, які проектують залізобетонні будівлі з використанням блоків незнімної опалубки. Наведені значення моменту тримальної здатності можна використати у розрахунках, порівнюючи їх з відповідними величинами згинальних моментів. Згинальна жорсткість може бути використана для «ручної» оцінки прогинів залізобетонної конструкції, або як уточнена характеристика стержнів у розрахунках методом скінчених елементів.

Отримані дані також можуть зацікавити виробників бетонних блоків. З їх допомогою вони можуть розширити технічні специфікації на виробі і

надати більш професійну та обґрунтовану інформацію про продукцію.

Зазначимо, що зменшення міцності перерізу в блоках БНО непропорційне зменшенню витрат бетону. Аналіз геометрії блоків показує, що економія бетонної суміші для блоку з розмірами $500 \times 400 \times 200$ мм у порівнянні з суцільною монолітною заливкою становить приблизно 33%, у той час як міцність бетонного ядра (без урахування бетону блоку) менша за міцність повного перерізу лише на 20%. У поєднанні з монтажними витратами, це надає додаткову перевагу блочній технології і може суттєво вплинути на кошторис об'єкту.

Числовий аналіз виконаний в спеціалізованому програмному забезпеченні Dystlab TechEditor. Алгоритм розрахунку з автоматичними обчисленнями

можна завантажити з онлайн-каталогу цифрових рішень Dystlab Store. В наступних дослідженнях автори планують розглянути інші варіанти роботи та способи застосування цих конструкцій.

Література

1. Дзюбак А., Мещеракова О. Особливості застосування незнімної опалубки при спорудженні стін: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій»/ТНТУ ім. І.Пулюя. Тернопіль, 2018. С. 47-48.
2. Yosra El-Maghraby. *Thermal and Structural Performances of Screen Grid Insulated Concrete Forms (SGICFs) Using Experimental Testing* / Yosra El-Maghraby, Khaled Tarabieh, Meral Sharkass, Islam Mashaly, Ezzat Fahmy. // *Buildings*. 2024. Vol. 18. DOI: 10.3390/buildings14092599.
3. A. Arun Solomon. Investigating compression behavior of insulated concrete form (icf) blocks with polypropylene sheet. /A. Arun Solomon, G. Hemalatha // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019. Vol.7
4. Robert C. Rogers. *Insulating Concrete Form Design and Construction—Report* / Robert C. Rogers, Robert E. Sculthorpe, James A. Farny
5. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. [Чинний від 2020-06-01]. Вид. офіц. Київ: Мін-во розвитку та тер. України. К., 2020.
6. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд. Зміна № 1. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України. К., 2022.
7. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-1:2010. Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1992-1-1:2004, IDT). [Чинний від 2014-07-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). К., 2010.
8. ДСТУ 3760:2019. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови. [Чинний від 2019-08-01]. Вид. офіц. Київ: Технічний комітет зі стандартизації «Чавун, прокат листовий, прокат сортовий термозміцнений, вироби для рухомого складу, металеві вироби, інша продукція з чавуну та сталі» (ТК 4). К., 2019.
9. Ezzat H. Fahmy, Yousry B. I. Shaheen, Ahmed Mahdy Abdelnaby & Mohamed N. Abou Zeid. Applying the Ferrocement Concept in Construction of Concrete Beams Incorporating Reinforced Mortar Permanent Forms. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2014.
10. Yibo Yang. *Performances of Concrete Columns with Modular UHPC Permanent Formworks Under Axial Load* / Yibo Yang, Baixi Chen, Yong Chen, Huan yang Zhou, Fucui Liu, Xiangming Xie, Junsheng Chen, Wenyng Guo and Hengchang Wang // *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2023. DOI: 10.1186/s40069-023-00608-1.

References

1. A. Dziubak & O. Mescheriakova. (2018) Features of the use of fixed formwork in the construction of walls *Materials of the International Scientific and Technical Conference "Fundamental and Applied Problems of Modern Technologies" / TNTU named after I. Pulyuya. Ternopil*. 47-48.
2. Yosra El-Maghraby, Khaled Tarabieh, Meral Sharkass, Islam Mashaly & Ezzat Fahmy (2024). Thermal and Structural Performances of Screen Grid Insulated Concrete Forms (SGICFs) Using Experimental Testing. *Buildings*. 820-838.

DOI: 10.3390/buildings14092599.

3. A. Arun Solomon & G. Hemalatha (2019) Investigating compression behavior of insulated concrete form (icf) blocks with polypropylene sheet. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 1495-1501.
4. Robert C. Rogers, Robert E. Sculthorpe & James A. Farny *Insulating Concrete Form Design and Construction - Report*
5. ДБН В.2.6-98:2009 “Concrete and reinforced concrete structures. Main principles” // Ministry of Development and Territories of Ukraine.
6. ДБН В.1.2-14-2018 "General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings, structures and foundations" // Ministry of Regional Development of Ukraine.
7. DSTU-H B EN 1992-1-1:2010. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1:2004, IDT). SE “State Research Institute of Building Constructions”.
8. DSTU 3760:2019. Reinforcing bars for reinforced concrete structures. General technical conditions. Derzhspozhyvstandart.
9. Ezzat H. Fahmy, Yousry B. I. Shaheen, Ahmed Mahdy Abdelnaby & Mohamed N. Abou Zeid (2014). Applying the Ferrocement Concept in Construction of Concrete Beams Incorporating Reinforced Mortar Permanent Form. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol. 8, 83-97.
10. Yibo Yang, Baixi Chen, Yong Chen, Huan yang Zhou, Fucui Liu, Xiangming Xie, Junsheng Chen, Wenyng Guo and Hengchang Wang (2023). Performances of Concrete Columns with Modular UHPC Permanent Formworks Under Axial Load. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 34-48. DOI: 10.1186/s40069-023-00608-1.

Автор: АРТЪОМОВ Віталій Євгенійович
кандидат технічних наук, доцент кафедри архітектури та будівництва
ЗВО «Університет Короля Данила»
Vitalii ARTOMOV
PhD (Tech.), Associate Professor, Architecture and Civil Engineering Department
King Danylo University
E-mail – y.artomov@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2699-5477>

Автор: БІЛОУС Ігор Ігорович
Викладач фахового коледжу
ЗВО «Університет Короля Данила»
Ihor BILOUS
Lecturer at a professional college
King Danylo University
E-mail – ihorbiloustntu@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9881-6683>

Автор: ФІРСОВ Павло Михайлович
кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри будівельних конструкцій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Pavlo FIRSOV
PhD (Tech.), Associate Professor, Head of Building Structures Department
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
E-mail – pavelfirsov1991@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9119-3968>

ANALYSIS OF STRENGTH AND STIFFNESS OF PERMANENT FORMWORK BLOCKS WITH A WIDTH OF 300 TO 400 MM FOR LOW-RISE CONSTRUCTIONV. Artomov¹, I. Bilous¹, P. Firsov²¹King Danylo University, Ukraine²O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The article investigates the structural performance of concrete blocks used as permanent formwork in low-rise construction, with widths ranging from 300 to 400 mm. These blocks serve as both formwork and part of the structural system, providing a durable solution for wall construction. In Ukraine, the adoption of such blocks is limited due to underdeveloped reinforcement methodologies, which complicates their application in construction projects. The authors examine the strength and stiffness of a standard block with dimensions of 500×400×200 mm, using software-based modeling in TechEditor to streamline the calculations. This research produces graphical data on load-bearing capacity and bending stiffness, which designers can use to configure reinforced concrete walls with these blocks. The study also offers practical reinforcement guidance, filling gaps in current standards and assisting engineers in implementing these blocks effectively. Permanent formwork blocks, common internationally, typically contain voids and channels that facilitate rebar installation, creating a monolithic structure after the concrete sets. However, due to inconsistencies in reinforcement advice from manufacturers, Ukrainian engineers often resort to custom approaches or traditional monolithic construction. This study, therefore, aims to address these challenges by providing structured reinforcement recommendations. The research includes load-bearing and stiffness calculations for walls with variable depth (300-400 mm), accounting for different rebar diameters to simulate the range of possible configurations. Findings demonstrate that using blocks with rebar yields significant material savings (approximately 33% less concrete) compared to solid walls, without proportionate strength loss, making them a cost-effective choice for low-rise construction. In conclusion, the article offers engineers and manufacturers valuable insights into the practical use of permanent formwork blocks, presenting a foundation for further research into optimization and broader applications.

Keywords: reinforced concrete, block, formwork, reinforcement, analysis.