

УДК 692.23

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.260422.92.856

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ДЛЯ МАЛОПОВЕРХОВОГО БУДІВНИЦТВА

СОПІЛЬНЯК А. М.¹, канд. техн. наук, доц.,

КОЛОХОВ В. В.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,

ШЛЯХОВ К. В.³, канд. техн. наук, доц.,

ТИТЮК А. А.⁴, канд. техн. наук, доц.,

СМИРНОВ А. С.⁵, асп.

¹ Кафедра нарисної геометрії та графіки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056)-756-33-80, e-mail: sopilniak.artem@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

^{2*} Кафедра технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-76, e-mail: kolokhov.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

³ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-00, e-mail: shliakhov.kostiantyn@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-6493-6201

⁴ Кафедра нарисної геометрії та графіки, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-80, e-mail: tytiuk.andrii@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

⁵ Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-00, e-mail: smyrnov.anton@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

Анотація. Постановка проблеми. Перспективним напрямком забезпечення сучасних вимог до теплозахисту будівель без істотного збільшення матеріаломісткості, трудовитрат, а головне вартості, стало застосування багатопарових залізобетонних панелей з використанням ефективної теплоізоляції. Певний досвід застосування сучасних збірних тришарових залізобетонних панелей у будівництві котеджів набуто у 2012–2013 роках. Але цей досвід виявив окремі недоліки застосування таких панелей на будівельному майданчику та необхідність модернізації технології їх виготовлення. Окрім цього, актуальним бачиться удосконалення конструкцій стиків та використання бетону на заповнювачах із переробленого бетонного брухту. **Мета роботи** – розроблення конструктивних рішень для спорудження малоповерхових будинків із використанням багатопарових залізобетонних панелей з ефективним утеплювачем та визначення напрямків подальшої модернізації розроблених конструкцій. **Висновки.** Конструктивні рішення для малоповерхового будівництва з використанням багатопарових залізобетонних панелей з ефективним утеплювачем є сучасними та перевищують норми з теплобереження, що наразі актуально з огляду на вартість енергоносіїв. Розроблені конструктивні рішення стінових панелей разом із конструкцією міжпанельних швів із точки зору термічної однорідності найбільш однорідні на сьогоднішній день порівняно з аналогами. Переглянуто конструкцію з'єднань панелей з урахуванням умов довговічності та теплопровідності. Визначено напрямки подальшої модернізації розроблених конструкцій стінових панелей та перекриття. Нові конструктивні рішення панельного домобудування та заводського виготовлення стінових панелей та конструкцій перекриття дають можливість скоротити час та знизити вартість будівництва.

Ключові слова: багатопарова залізобетонна панель; перекриття; конструктивне рішення

IMPROVEMENT OF REINFORCED CONCRETE ENVELOPES FOR LOW-RISE BUILDINGS

SOPILNIAK A.M.¹, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

KOLOKHOV V.V.^{2*}, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

SHLIAKHOV K.V.³, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

TYTIUK A.A.⁴, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

SMYRNOV A.S.⁵, Postgraduate Student

¹ Department of Descriptive Geometry and Graphics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562)-756-33-80, e-mail: sopilniak.artem@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-3067-0529

^{2*} Department of Technology of Building Materials, Products and Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-76, e-mail: kolokhov.viktor@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-8223-1483

³ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-00, e-mail: shliakhov.kostiantyn@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-6493-6201

⁴ Department of Descriptive Geometry and Graphics, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-80, e-mail: tytiuk.andrii@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

⁵ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Chernyshevskoho St., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 756-33-00, e-mail: smyrnov.anton@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-2500-2323

Abstract. Problem statement. A perspective direction to ensure modern requirements for thermal protection of buildings without a significant increase in material and labor resources and, most importantly, cost is the application of multilayer reinforced concrete panels, using efficient thermal insulation. In 2012–2013, some experience in the use of modern prefabricated three-layer reinforced concrete panels in cottage construction is obtained. This experience has revealed some shortcomings of such panels using on the building site and the need to modernize their production technology. In addition, improvements in joint construction and the use of aggregate concrete from recycled concrete scrap are relevant. **The purpose of the article** is to develop constructive solutions for low-rise buildings using multilayer reinforced concrete panels with effective insulation and to determine directions for further modernization of the developed structures. **Conclusions.** The developed constructive solutions for low-rise construction of houses using multilayer reinforced concrete panels with effective insulation are modern and exceed the standards for heat saving and are relevant today given the cost of energy. The developed constructive solutions of wall panels together with interpanel seams construction from the point of view of thermal homogeneity are the most homogeneous today in comparison with analogs. The panel joints construction is considered taking into account the conditions of durability and thermal conductivity. The directions of the developed constructions further modernization for wall panels and floor slabs are defined. The developed constructive solutions for panel house-building and factory production of wall panels and floor slabs reduce the time and cost of construction.

Keywords: *multilayer reinforced concrete panel; floor slab; constructive solution*

Вступ. Масове зведення будинків із великих блоків (рис. 1) та залізобетонних панелей у ХХ сторіччі (рис. 2) дозволило частково вирішити житлову проблему.



Рис. 1. П'ятиповерховий з великих блоків житловий будинок

Практично всі будинки зводили за держзамовленням на спеціалізованих великих підприємствах за типовими проектами [1–3].



Рис. 2. Дев'ятиповерховий панельний житловий будинок

В умовах планового виробництва за типовими проектами такі підприємства забезпечували швидкість та ефективність будівництва.

Припинення державного фінансування житлового будівництва спричинило зубожіння більшості заводів збірного залізобетону та поширення монолітного залізобетону. Декларована гнучкість планування будівлі, що нібито становить значну перевагу монолітних залізобетонних конструкцій над збірними, по-перше, нівелюється подовженням терміну будівництва та збільшенням його трудомісткості, що збільшують вартість будівництва, а по-друге, свідчить про втрату навичок проектування будівель зі збірного залізобетону.

Як показує досвід будівництва в Європі [4], збірний залізобетон доволі пластичний матеріал, але його використання потребує певного розуміння його переваг та досвіду проектування конструкцій з нього.

До того ж, перспективним напрямком забезпечення сучасних вимог щодо теплозахисту будівель без істотного збільшення матеріаломісткості, трудовитрат, а головне вартості, стало застосування багат шарових залізобетонних панелей з використанням ефективної теплоізоляції.

Як ефективний теплоізоляційний матеріал можуть бути застосовані звичайні ніздрюваті бетони [2]. Але вони мають загальний істотний недолік, який полягає у високій усадці і досить низькій міцності при зниженні середньої щільності.

Один з легких видів бетону, які в меншому ступені мають зазначений вище недолік усадки, – це полістиролбетон та фіброгазобетон.

У будівництві використовуються різні види тришарових залізобетонних стінових панелей [1; 3]. Як ефективний утеплювач застосовують теплоізоляційні матеріали (мінераловатні, скловолокнисті та полімерні), перелік яких наведено в Додатку ДБН В.2.6-31:2006 [5], а також важкий та легкий бетон малої щільності.

Певний досвід застосування сучасних збірних тришарових залізобетонних панелей у будівництві котеджів набуто у 2012–2013 роках (рис. 3).

Але цей досвід виявив окремі недоліки застосування таких панелей на будівельному

майданчику та необхідність модернізації технології їх виготовлення [6; 7].



Рис. 3. Будівництво котеджу зі збірних тришарових залізобетонних панелей за фінською технологією

Окрім цього, необхідно звернути увагу на потребу удосконалення конструкцій стиків [8] та використання бетону на заповнювачах із переробленого бетонного брухту. За умови подвійного подрібнення бетонних відходів та подальшого якісного фракціонування можна отримати суміш заповнювача з необхідними якістьми. У разі використання якісного та добре відсортованого переробленого заповнювача в бетонах нормальної міцності [14; 15] (з В/Ц від 0,45 до 0,5 та $f_c \approx 31$ МПа) суттєві погіршення характеристик бетону не спостерігаються.

Наразі в країнах ЄС, Британії, США та Японії визначено сфери застосування переробленого крупного заповнювача: у бетонах 5...20 МПа для виробництва бетонних і залізобетонних виробів та у бетонах міцністю до 30 МПа за змішування з природним щебенем. При цьому заповнювачі з подрібненого бетону вже зараз включені у специфікації та стандарти на заповнювачі в США [16].

Сучасний стан будівельної індустрії України характеризується наявністю безлічі видів теплоізоляційних матеріалів, що різняться параметрами складових, структури, щільності, жорсткості та теплопровідності і можуть бути застосовані як ефективний теплоізоляційний матеріал для огорожувальних панелей будинків.

Застосування сучасних легких видів бетону, які водночас можуть виконувати роль ефективного теплоізоляційного

матеріалу та надійної зв'язки між шарами залізобетонних огорожувальних панелей, а також використання таких панелей в домобудуванні стало актуальною темою для майбутніх досліджень.

Зовнішній і внутрішній шари тришарової залізобетонної панелі з'єднуються між собою за допомогою зв'язків.

Застосовуються різні типи зв'язків:

- зв'язки зсуву (сталеві стрижні та залізобетонні бруси);
- зв'язки у вигляді сталевих вертикальних ферм із трикутною решіткою;
- комбіновані (сталеві підвіски та розпірки).

Зазвичай вертикальне навантаження сприймається одним несним внутрішнім шаром (з боку приміщення). Проміжний шар утеплювача з полімерних матеріалів має схильність до деструкції у процесі експлуатації, що зумовлює необхідність неодноразового ремонту стін та потребує захисту по периметру негорючим мінераловатним утеплювачем з метою забезпечення пожежної безпеки. Окрім цього, гнучкі зв'язки у тришарових конструкціях мають підвищену трудомісткість і складність забезпечення проектних параметрів теплоізоляції, якщо під час формування панелей буде порушена технологія виробництва через недостатню кваліфікацію робітників або послаблення контролю.

До переваг тришарових панелей з ефективним утеплювачем і зв'язками зсуву

можна віднести простоту конструкції зв'язків у вигляді шпильок, захищених від корозії, і їх установку. А недолік – великі тепловтрати через великий діаметр тих самих зв'язків [9; 11; 12].

Тришарові панелі зі зв'язками зсуву у вигляді залізобетонних брусів забезпечують захист арматури від корозії. Але через деформації різниці температур шарів панелі можуть спричинити взаємне зміщення, а, отже, і утворення тріщин.

Тришарові панелі з мінераловатним утеплювачем і зв'язками у вигляді сталевих ферм (трикутні ґрати) з нержавіючої сталі, які забезпечують передачу зусиль між шарами, не мають загальної цілісності та термічної однорідності конструкції [9; 10].

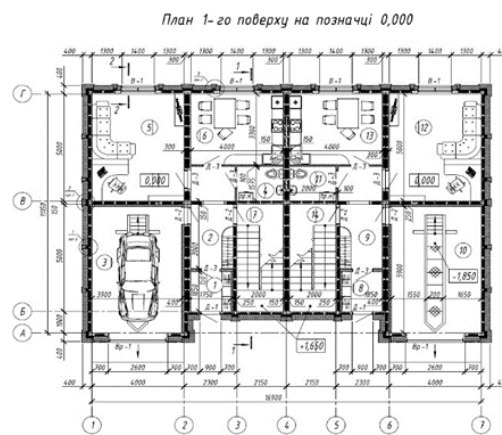
Усунути більшість недоліків дозволить застосування конструкцій з монолітним зв'язком шарів важкого бетону і утеплювача з теплоізоляційного бетону. Здебільшого (але обмежено) такі панелі були застосовані переважно у північній частині Азії та частково у західних країнах [13].

Мета дослідження – розроблення конструктивних рішень для зведення малоповерхових будинків із використанням багатошарових залізобетонних панелей з ефективним утеплювачем та визначення напрямків подальшої модернізації розроблених конструкцій.

Результати досліджень. Розроблено три проекти (рис. 4–6).



а



б

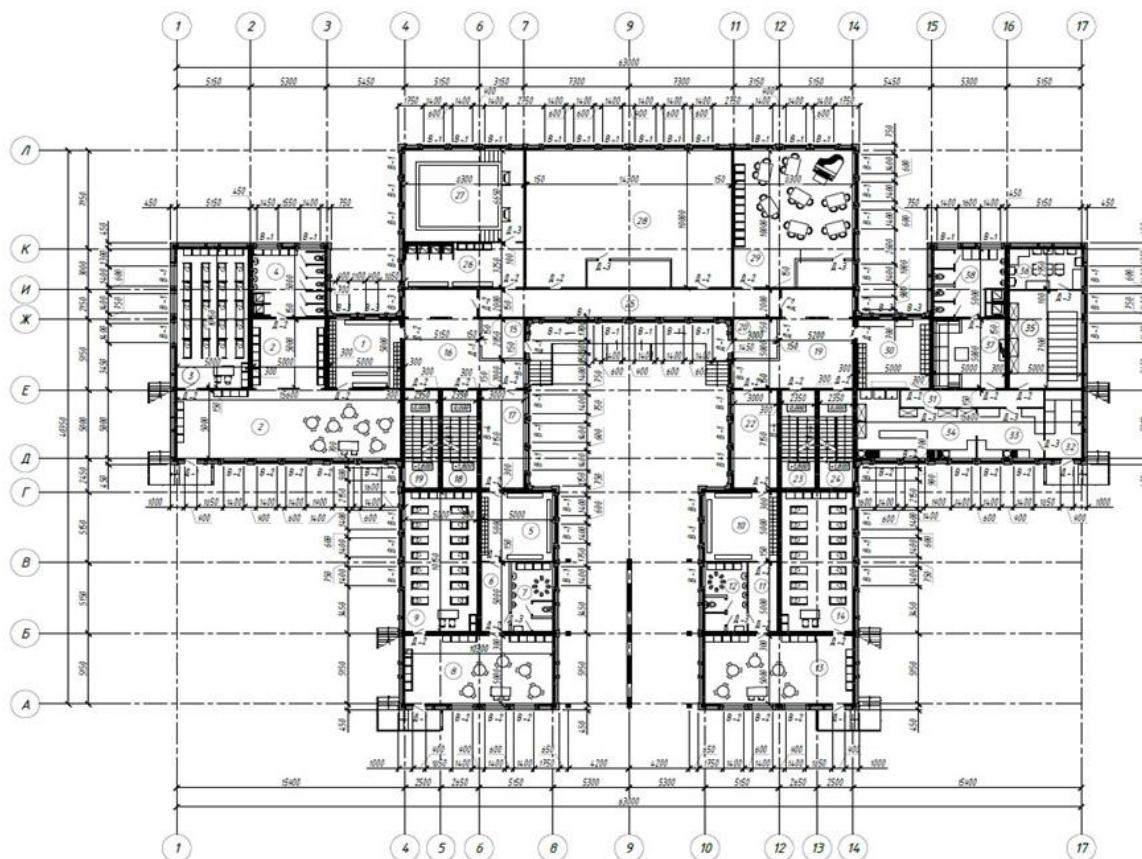
Рис. 4. Блоковий житловий будинок (таунхаус) зі стінових панелей (1-й проект):

а – загальний вигляд; б – план першого поверху



а

План 1-го поверху на відмітці 0,000



б

Рис. 5. Проект дитячого садка (2-й проект): а – фасад; б – план першого поверху

Для всіх проектів передбачена однакова конструктивна схема – стінова, з несними поздовжніми та поперечними стінами. Жорсткість забезпечується сумісною роботою поздовжніх, поперечних стін та

жорстким диском перекриття. Розміри несних стінових панелей визначались з умов забезпечення теплоізоляції, мінімізації витрат на навантажувально-розвантажувальні роботи та транспортування.

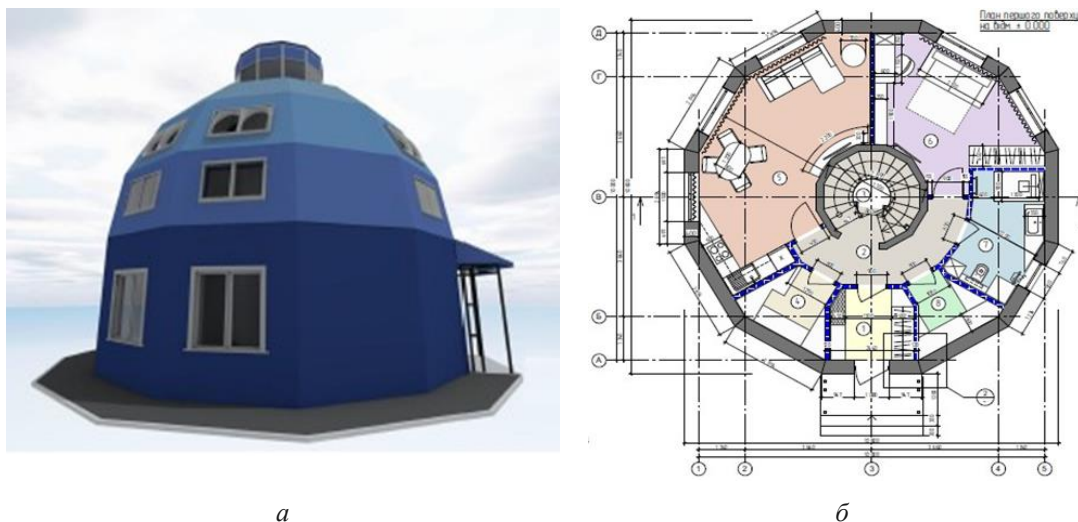


Рис. 6. Купольний житловий будинок зі стінових панелей (3-й проект):
а – загальний вигляд; б – план першого поверху

Зовнішні стінові панелі тришарові загальною товщиною 400 мм. Несний елемент – ребриста залізобетонна панель завтовшки 50 мм із висотою ребра 150 мм.

Теплоізоляційний прошарок – плити з екструзійного пінополістиролу товщиною 100 мм, що сприяють утворенню опалубкової форми для ребер панелей. Основним теплоізоляційним шаром виступає полістиролбетон товщиною 250 мм.

Кріплення стінових панелей між собою здійснюється за допомогою арматурних випусків та закладних деталей.

Для максимальної заводської готовності панелей зовнішню та внутрішню грані оздоблюють високоякісною полімерцементною штукатуркою для подальшого фарбування.

Для зменшення втрат та ізолювання стиків панелей спроектовано спеціальні вставки з газобетону декількох типів. Анкерування блоків-вставок проводиться за допомогою арматурних елементів, які встановлюються у горизонтальних швах. Для сумісної роботи блоків у них передбачені наскрізні отвори діаметром 30 мм, в які пропускається арматурний стрижень, після чого вільний простір заповнюється розчином та зачеканюється (рис. 4).

Звукоізоляція стін забезпечується за принципом однорідності огорожувальної конструкції. У внутрішніх стінах санітарних вузлів розташовано вентиляційні шахти, а у стінах кухонь ще й димові шахти.

Внутрішні стіни проектується двох видів в одну панель – 150 мм, та дві панелі 300 мм.

Стіни кожного наступного поверху зводять тільки після влаштування перекриття нижніх поверхів.

Для першого та другого проектів будівель передбачено декілька варіантів влаштування перекриття (загальною товщиною 280 мм) з дрібноштучних елементів (рис. 5, 6).

Перекриття (рис. 7) складається зі збірних залізобетонних плит та балок, поверх яких виконується стягування з дрібнозернистого бетону. Розміри плит та балок прийняті такими, щоб мінімізувати використання важких підйомних механізмів. Залізобетонні балки встановлюються у спеціальні пази в стінових панелях. Величина обпирання становить 150 мм. Кріплення з панеллю здійснюється за допомогою арматурних стержнів, що пропускаються через спеціальні отвори в ребрах панелей та тілі балки.

Для забезпечення просторової жорсткості та сумісної роботи збірних конструкцій із шаром бетону, виконаним на майданчику, плити та балки мають арматурні випуски.

На рисунку 8 зображено варіант уже відомого перекриття з балками та вкладишами із шлакоблоків.

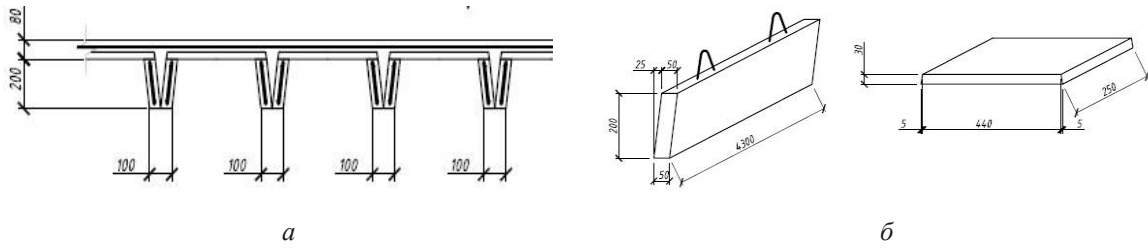


Рис. 7. Перекриття зі збірних залізобетонних плиток та балок:
а – переріз; б – елементи переkritтя

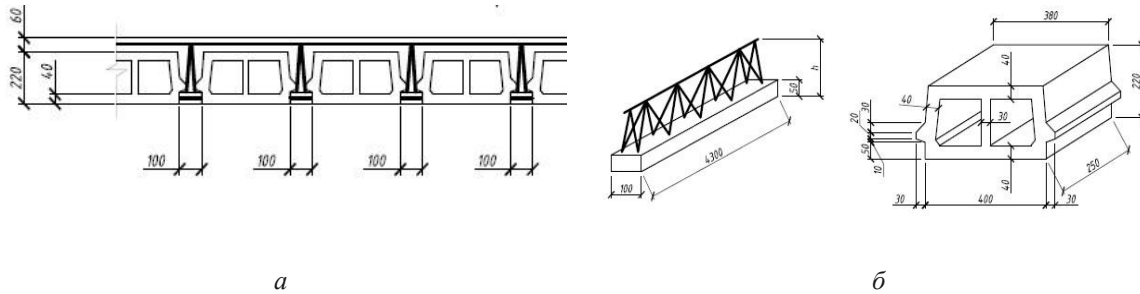


Рис. 8. Перекриття зі збірних залізобетонних балок із вкладишами з шлакоблоків:
а – переріз; б – елементи переkritтя

Для третього проекту будівлі передбачено переkritтя зі збірних залізобетонних плоских плит у вигляді сегментів товщиною 150 мм (рис. 9).

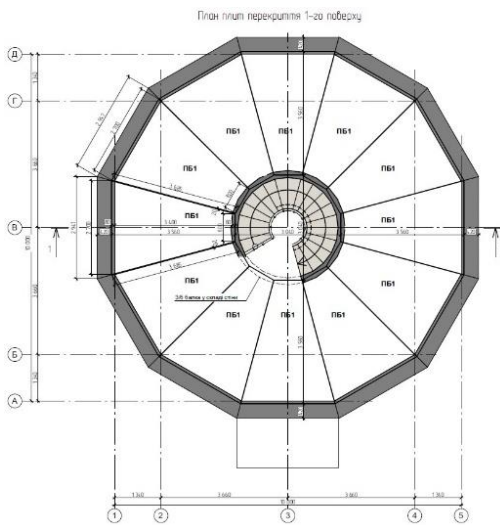


Рис. 9. План переkritтя купольного будинку

Розрахунок опору теплопередачі конструкції стінових панелей виконано згідно з ДБН В.2.6-31:2016 (рис. 10). На рисунку позначено: 1 – декоративний гідрозахисний штукатурний шар, армований сіткою 5 мм; 2 – утеплювач с полістиролбетон 250 мм; 3 – порожнистотворювач – плити пінополістирольні екструзійні 100 мм; 4 – залізобетонна

ребриста стінова панель 50 мм; 5 – цементно-піщана штукатурка 15 мм.

Термічний опір огорожувальної конструкції з урахуванням прийнятої товщини утеплювача склав $4,1 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що задовольняє вимогам ДБН В.2.6-31:2016 для будь-якого регіону України.

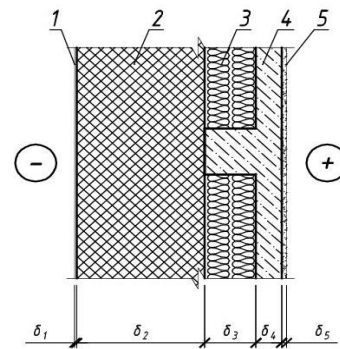


Рис. 10. Розрахункова схема стіни для визначення опору теплопередачі (пояснення в тексті)

Аналогічним чином виконано розрахунок опору теплопередачі конструкції покриття проектів 1 та 2 (рис. 11). На рисунку позначено: 1 – одношарова покрівельна мембрана 2 мм; 2 – армоване цементно-піщана стяжка 50 мм; 3 – ухило-твірний шар – гравій керамзитовий 50...100 мм; 4 – геотекстиль; 5 – плити пінополістирольні екструзійні 200 мм; 6 – монолітний дрібнозернистий бетон

50 мм; 7 – залізобетонна плита покриття
30 мм; 8 – залізобетонна балка покриття
200 мм; 9 – інтегральна вата 50 мм;
10 – пароізоляція; 11 – гіпсокартон 9 мм.

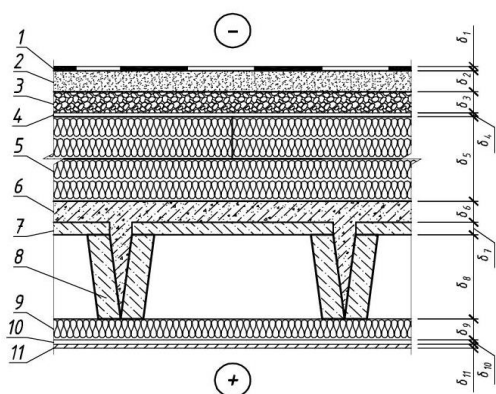


Рис. 11. Розрахункова схема покриття для визначення опору теплопередачі (пояснення в тексті)

Термічний опір прийнятої конструкції покриття з урахуванням утеплювача склав $6,57 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що є більшим $6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, тобто теж задовольняє вимогам ДБН В.2.6-31:2016.

Також для зменшення тепловитрат через вікна в проектах передбачено подвійні вікна, ефективність яких висвітлена у публікаціях [17; 18].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Серия 1.432.1-26. Железобетонные трехслойные стеновые панели длиной 6 м на гибких связях, изготавливаемые «лицом вниз», для производственных зданий промышленных предприятий. Вып. 1/96. *Панели стеновые. Рабочие чертежи.*
2. Серия 1.100.1-7. Индустриальные изделия крупнопанельных 3-5 этажных зданий с высотой этажа 2,8 м и со строительным модулем 15 м на основе жилых домов. Серия 97, вып. 2–4. *Панели наружных стен трехслойные легкобетонные толщиной 350 мм.*
3. Серия 1.132.1-21.98. Панели железобетонные наружные трехслойные с эффективным утеплителем для крупнопанельных жилых зданий, возводимых в сейсмических районах и районах с сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов.
4. Яновский Мануэль Нуньес. Маэстро архитектурного железобетона. *Будівельний журнал.* 2015. № 5–6 (117–118). С. 30–31.
5. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будівель та споруд. Теплова ізоляція будівель. Київ : Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. 70 с.
6. Колохов В. В., Саламаха Л. В., Адегов А. В., Волошко В. Н., Кудрявцев А. П. Анализ тепловой эффективности изготовления трёхслойных стеновых панелей. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Энергетика, экология, компьютерные технологии в строительстве.* 2014. № 76. С. 148–152.
7. Колохов В. В., Адегов А. В., Кудрявцев А. П., Перчаник Н. Е. Моделирование процесса прогрева бетона в тепловой установке при различных теплоносителях. *Строительство, материаловедение, машиностроение.* Вып. 84. 2015. С. 122–128.
8. Колохов В. В., Адегов О. В., Юрченко С. Л., Коваль О. О., Гаврилюк С. В. Моделирование конструктивных элементов энергоэффективных стеновых панелей. *Український журнал будівництва та архітектури.* 2022. № 1. С. 45–54.
9. Савицкий Н. В., Сопильняк А. М. Трёхслойные железобетонные ограждающие стеновые панели. *Строительство, материаловедение, машиностроение.* Вып. 50. 2009. С. 482–486.

Висновки

Розроблені конструктивні рішення для зведення малоповерхових будинків із використанням багатопверхових залізобетонних панелей з ефективним утеплювачем сучасні та перевищують норми з теплозбереження, що наразі бачиться актуальним з огляду на вартість енергоносіїв.

Розроблені конструктивні рішення стінових панелей разом із конструкцією міжпанельних швів з точки зору термічної однорідності найбільш однорідні на сьогоднішній день порівняно з аналогами.

Переглянуто конструкцію з'єднань панелей з урахуванням умов довговічності та теплопровідності.

Визначено напрямки подальшої модернізації розроблених конструкцій стінових панелей та перекриття.

Розроблені конструктивні рішення панельного домобудування та заводського виготовлення стінових панелей та конструкцій перекриття дають можливість скоротити час та знизити вартість будівництва.

10. Савицкий Н. В., Зинкевич А. М., Сопильняк А. М. Оценка несущей способности и эксплуатационной пригодности гибких связей трехслойных железобетонных стеновых панелей. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2010. № 664. С. 179–183.
11. Большаков В. И., Сопильняк А. М., Юрченко Е. Л., Панченко Н. В. Сопротивление теплопередаче трехслойных железобетонных панелей. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 82. 2015. С. 50–54.
12. Сопильняк А. М. Усовершенствование конструкций трехслойных навесных железобетонных стеновых панелей. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. Вып. 92. 2016. С. 145–150.
13. Dal D. Durisol Lightweight Precast Concrete. *Paper trade*. 1950. Vol. 130, № 23.
14. Buttler A. M., Machado E. F. Properties of Concrete with Recycled Concrete Coarse Aggregates. *ACI Spec. Publ.* 2005. Vol. 229. Pp. 497–510.
15. De Brito J., Silva R. V. Current Status on the Use of Recycled Aggregates in Concrete : Where Do We Go From Here? *RILEM Tech. Lett.* 2016. Pp. 1–5.
16. ASTM C33/C33M-18. Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International. West Conshohocken, PA. 2018.
17. Nikiforova Tetiana, Sopilniak Artem, Radkevych Anatolii, Shevchenko Tetiana. Simple methods of increasing the energy efficiency of windows in the reconstruction of old buildings. *Sustainable housing and human settlement : monograph*. Dnipro – Bratislava : SHEE Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture – Slovak University of Technology in Bratislava, 2018. Pp. 94–101.
18. Сопильняк А. М., Колохов В. В., Шляхов К. В., Сенчишак Д. В., Кобзар І. І. Дослідження доцільності застосування дворамних металопластикових вікон. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. № 4. С. 71–78.

REFERENCES

1. *Seriya 1.432.1-26. Paneli stinovi zalizobetonni trysharovi dovzhynoyu 6 m na hnuchkykh z'yednannyakh, vyhotovleni "lyts'ovoyu storonoyu vnyz", dlya budivel' promyslovoho vyrobnytstva* [Series 1.432.1-26. Reinforced concrete three-layer wall panels with a length of 6 m on flexible connections, manufactured “face down”, for industrial buildings of industrial enterprises]. Iss. 1/96. *Stinovi paneli. Robochi kreslennya* [Wall panels. Working drawings]. (in Russian).
2. *Seriya 1.100.1-7. Promyslovi vyrobny krupnpanel'nykh 3–5 poverkhovykh budynkiv z vysotoyu poverkhu 2,8 m i z budivel'nym modulem 15 m na osnovi zhytlovykh budynkiv* [Series 1.100.1-7. Industrial products of large-panel 5–3-storey buildings with a floor height of 2.8 m and a building module of 15 m based on residential buildings]. Series 97, iss. 2–4. *Paneli naruzhnykh sten trekhslonnye lehkobetonnye tovshchynoyu 350 mm* [Three-layer lightweight concrete exterior wall panels 350 mm thick]. (in Russian).
3. *Seriya 1.132.1-21.98. Paneli zhelezobetonnye naruzhnye trekhslonnye z efektyvnyim uteplytelem dlya krupnpanel'nykh zhytlovykh budynkiv, providnykh v neseysmichnykh rayonakh i rayonakh z seysmichnost'yu 7, 8 y 9 ballov* [Series 1.132.1-21.98. Reinforced concrete external three-layer panels with effective insulation for large-panel residential buildings erected in non-seismic areas and areas with seismic activity of 7, 8 and 9 points]. (in Russian).
4. Manuel' Nun'es Yanovs'kyu. *Maestro arkhitekturnoho zalizobetonu* [Maestro of architectural reinforced concrete]. *Buivel'nyy zhurnal* [Budivelny Magazine]. No. 5–6 (117–118), 2015, pp. 30–31. (in Russian).
5. *DBN V.2.6-31:2006. Konstruktsiyi budivel' ta sporud. Teplova izolyatsiya budivel'* [DBN B.2.6-31: 2006. Constructions of buildings and structures. Thermal insulation of buildings]. Kyiv : Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrainy, 2006, 70 p. (in Ukrainian).
6. Kolokhov V.V., Salamakha L.V., Adehov A.V., Voloshko V.N. and Kudryavtsev A.P. *Analiz teplovykh efektyvnosti vyhotovlennya trekhslonnykh stenovykh paneley* [Analysis of the thermal efficiency of the manufacture of three-layer wall panels]. *Budivnytstvo. Materialovedenye. Mashynostroenye. Seriya: Enerhetyka, ekolohyya, komp'yuternye tekhnolohyy v stroytel'stve* [Construction. Materials Science. Engineering. Series: Energy, Ecology, Computer Technologies in Construction]. 2014, no. 76, pp. 148–152. (in Russian).
7. Kolokhov V.V., Adehov A.V., Kudryavtsev A.P. and Perchanyk N.Yev. *Modelyuvannya protsesu prohrivannya betonu v teplovykh ustanovakh pry riznykh teplonosiyikh* [Simulation of the heating process of concrete in a thermal installation with various heat carriers]. *Budivnytstvo. Materialovedenye. Mashynostroenye* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2015, no. 84, pp. 122–128. (in Russian).
8. Kolokhov V.V., Adehov O.V., Yurchenko Yev.L., Koval' O.O. and Havrylyuk S.V. *Modelyuvannya konstruktivnykh elementiv enerhoefektyvnykh stinovykh paneley* [Modeling of structural elements of energy efficient wall panels]. *Ukrayins'kyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury* [Ukrainian Journal of Civil Engineering and Architecture]. 2022, no. 1. pp. 45–54. (in Ukrainian).
9. Savitskiy N.V. and Sopil'nyak A.M. *Trekhslonnyye zhelezobetonnyye ograzhdayushchiye stenovyye paneli* [Three-layer reinforced concrete enclosing wall panels]. *Budivnytstvo. Materialovedenye. Mashynostroenye* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2009, no. 50, pp. 482–486. (in Russian).

10. Savitskiy N.V., Zinkevich A.M. and Sopil'nyak A.M. *Otsenka nesushchey sposobnosti i ekspluatatsionnoy prigodnosti gibkikh svyazey trekhsloynnykh zhelezobetonnykh stenovykh paneley* [Evaluation of the bearing capacity and serviceability of flexible connections of three-layer reinforced concrete wall panels]. *Visnyk natsional'noho universytetu "Lvivs'ka politekhnika"* [Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"]. 2010, no. 664, pp. 179–183. (in Russian).
11. Bol'shakov V.I., Sopil'nyak A.M., Yurchenko Yev.L. and Panchenko N.V. *Soprotivleniye teploperedache trekhsloynnykh zhelezobetonnykh paneley* [Heat transfer resistance of three-layer reinforced concrete panels]. *Budivnytstvo. Materialovedenye. Mashynostroenye* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2015, no. 82, pp. 50–54. (in Russian).
12. Sopil'nyak A.M. *Uovershenstvovaniye konstruksiy trekhsloynnykh navesnykh zhelezobetonnykh stenovykh paneley* [Improvement of the designs of three-layer hinged reinforced concrete wall panels]. *Budivnytstvo. Materialovedenye. Mashynostroenye* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. 2016, no. 92, pp. 145–150. (in Russian).
13. Dal D. Durisol Lightweight Precast Concrete. Paper trade. 1950, no. 130, 23 p.
14. Buttler A.M. and Machado E.F. Properties of Concrete with Recycled Concrete Coarse Aggregates. *ACI Spec. Publ.*, 2005, no. 229, pp. 497–510.
15. De Brito J. and Silva R.V. Current Status on the Use of Recycled Aggregates in Concrete : Where Do We Go From Here? *RILEM Tech. Lett.*, 2016, pp. 1–5.
16. ASTM C33/C33M-18. Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
17. Nikiforova Tetiana, Sopilniak Artem, Radkevych Anatolii and Shevchenko Tetiana. Simple methods of increasing the energy efficiency of windows in the reconstruction of old buildings. Sustainable housing and human settlement : monograph. Dnipro – Bratislava : SHEE Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture – Slovak University of Technology in Bratislava, 2018, pp. 94–101.
18. Sopil'nyak O.M., Kolokhov V.V., Shlyakhov K.V., Senchyshak D.V. and Kobzar I.I. *Doslidzhennya dotsil'nosti zastosuvannya dvoramnykh metaloplastykovykh vikon* [Research of expediency of application of two-frame metalplastic windows]. *Visnyk Prydniprovskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2018, no. 4, pp. 71–78. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 12.04.2022.