ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ШАРУВАТИХ ЗАЛІЗОБЕТОННО-ПІНОБЕТОННИХ ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ

О. Литвиняк, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-9595-3685

Б. Демчина, д. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-3498-1519

О.-М. Медвецька

ORCID ID: 0000-0001-7795-6762

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://doi.org/10.31734/architecture2021.22.038>

Литвиняк О., Демчина Б., Медвецька О.-М. Энергоеффективность шаруватих залізобетонно-пінобетонних плит перекриття

Забезпечення енергетичної ефективності житлових і громадських споруд є важливим завданням, що переорієнтовує принципи проектування та зведення споруд різного призначення, та спрямоване на оптимізацію тривалості будівництва, забезпечення раціональних техніко-економічних показників, зниження кількості матеріалів, які використовують для конструктивних елементів будівель, без зменшення їх необхідної несучої здатності. Забезпечення дотримання цих принципів можливо під час раціонального використання конструктивних елементів, утворених поєднанням різних будівельних матеріалів із відмінними фізико-механічними, звуко- та теплоізоляційними властивостями. До інноваційного типу будівельних конструктивних елементів, що повною мірою відповідатимуть сучасним вимогам до житлових і громадських споруд, належать композиційні шаруваті залізобетонно-пінобетонні плити перекриття, отримані з різномірних будівельних матеріалів, – важкого бетону, стрижневої арматури та безавтоклавного пінобетону (безавтоклавного фібропінобетону). Шарувата залізобетонно-пінобетонна плита перекриття конструктивно складається із сукупності верхніх і нижніх повздовжніх балок, утворених із шару важкого бетону та просторового арматурного каркасу, між якими розташований шар безавтоклавного пінобетону або безавтоклавного фібропінобетону. Для практичного застосування інноваційних, різних за конструкцією композиційних шаруватих залізобетонно-пінобетонних плит перекриття отримані обґрунтовані показники їх енергозберігаючої ефективності. Критерієм енергозберігаючої ефективності обрано опір теплопередачі композиційної шаруватої плити перекриття. Досліджено шаруваті залізобетонно-пінобетонні плити перекриття із такими геометричними параметрами: ширина нижніх і верхніх повздовжніх балок – 500 мм; висота всієї шаруватої залізобетонно-пінобетонної плити перекриття – 200 мм, 220 мм та 240 мм; висота шару важкого бетону – 40 мм, 45 мм, 50 мм (висота плити перекриття – 200 мм); 45 мм, 50 мм, 55 мм (висота плити перекриття – 220 мм) та 50 мм, 55 мм, 60 мм (висота плити перекриття – 240 мм). Опір теплопередачі досліджуваних шаруватих плит перекриття прийнято таким, що дорівнює $0,91 \dots 0,52 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$ залежно від висоти плити перекриття, висоти шару важкого бетону у нижніх і верхніх повздовжніх балках і проєктної марки безавтоклавного пінобетону за густиною. Запропоновані конструкції плит перекриття за їх використання у житлових і громадських спорудах одночасно забезпечують необхідну несучу здатність та виконання достатньо високих сучасних вимог щодо енергозбереження й екологічності.

Ключові слова: плита перекриття, шарувата конструкція, залізобетон, безавтоклавний пінобетон, енергозбереження, безавтоклавний фібропінобетон, енергоефективність.

Lytvyniak O., Demchyna B., Medvetska O.-M. The energy efficiency of layered reinforced concrete – foam concrete floor slabs

Ensuring energy efficiency for residential and public buildings is an important issue. It changes the principles of building design and the construction. And it is also directed to optimize the construction time, ensuring the efficient technical and economic indices, to reduce the number of materials, which are used for the structural components of the buildings, without the diminution of their necessary bearing capacity. Those principles can be ensured during the efficient use of the structural elements that are created by combining different building materials with various physical-mechanical, sound-proof, and heat-insulating properties. The innovative types of building structural elements, which will completely satisfy the modern demands for the residential and public buildings, are the layered reinforced concrete – foam concrete floor slabs. The floor slabs are created of different building materials – normal concrete, reinforcement rod, and non-autoclave foam concrete (non-autoclave foam concrete with fiber). The layered reinforced concrete – foam concrete floor slab is structurally formed from the totality of the upper and lower longitudinal beams (these beams are created from the layer of normal concrete and spatial reinforcing cage) between which the layer of the non-autoclave foam concrete (non-autoclave foam concrete with fiber) is arranged. The well-founded indices of the energy efficiency of the layered reinforced

concrete – foam concrete floor slabs were received for the practical use of these slabs. The heat transfer resistance of the layered reinforced concrete – foam concrete floor slabs was accepted as a criterion of energy efficiency. The layered reinforced concrete – foam concrete floor slabs with the next geometrical parameters: the width of the upper and lower longitudinal beams is 500 mm; the height of all layered reinforced concrete – foam concrete floor slab is 200 mm, 220 mm, and 240 mm; the height of the layer of normal concrete is 40 mm, 45 mm, 50 mm (the height of floor slab is 200 mm); 45 mm, 50 mm, 55 mm (the height of floor slab is 220 mm) and 50 mm, 55 mm, 60 mm (the height of floor slab is 240 mm) were investigated. The heat transfer resistance of the investigated layered floor slabs was received equal to $0.91 \dots 0.52 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ depending on the height of floor slabs, the height of the layer of normal concrete in upper and lower longitudinal beams, and the designed grade of the non-autoclave foam concrete by the density. The proposed constructions of floor slabs during their use in residential and public buildings simultaneously ensure the necessary bearing capacity and the execution of sufficiently high modern demands about energy-saving and ecological compatibility.

Key words: floor slab, layered structure, reinforced concrete, non-autoclave foam concrete, energy-saving, non-autoclave foam concrete with fiber, energy efficiency.

Постановка проблеми. Питання щодо енергетичної ефективності будівель, яке виникло в результаті зростання вартості енергоресурсів, є одним з актуальних для економічного розвитку України і відображається в прийнятому Законі України «Про енергетичну ефективність будівель». Виконання цього закону спонукає до забезпечення належного рівня енергетичної ефективності будівель відповідно до технічних регламентів, національних стандартів, норм і правил, стимулювання зменшення споживання енергії у будівлях і створення умов із забезпечення термомодернізації будівель [1].

Відповідно до законодавчої і нормативної бази, сучасне проектування та зведення споруд різноманітного призначення має бути спрямоване на оптимізацію тривалості будівництва, забезпечення раціональних техніко-економічних показників, зниження кількості матеріалів, які використовують для конструктивних елементів будівель, без зменшення їх необхідної несучої здатності, а також забезпечення сучасних високих вимог із енергозбереження під час експлуатації споруд [2; 3].

Реалізація наведених вимог під час проектування житлових і громадських споруд із використанням «традиційних» матеріалів (важкого бетону, арматури) можлива за комплексного врахування нормативних вимог із забезпечення несучої здатності конструктивних елементів споруд, нових нормативних вимог із енергозбереження [4; 5] та економічного оцінювання доцільності використання відповідних конструктивних рішень. Тому дослідження зі створення нових будівельних конструкцій і розроблення заходів із забезпечення їх несучої здатності та енергетичної ефективності споруд належать до важливих.

Ураховуючи наведене, можна стверджувати, що забезпечення енергетичної ефективності будівельних конструкцій – важливе завдання, вирішення якого сприятиме енергетичній незалежності нашої держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вітчизняні та закордонні науковці провели дослідження, які спрямовані на забезпечення енергетичної ефективності будівельних конструкцій і, відповідно, на розроблення «пасивних» будинків. Ці дослідження стосуються різноманітних сфер – вивчення енергоефективних властивостей будівельних матеріалів [6], пошуку оптимальних конструктивних рішень енергоощадних перекриттів і ефективних енергозберігаючих конструкцій для малоповерхового будівництва [7–9], забезпечення енергоефективності житлового будівництва з урахуванням макроекономічних показників [10]. Аналіз цих досліджень дав змогу встановити, що ефективне забезпечення сучасних вимог до будівельних споруд та окремих конструкцій можливе внаслідок раціонального поєднання в одній конструкції різних за фізико-механічними, звуко- та теплоізоляційними властивостями будівельних матеріалів. До переліку таких матеріалів можна віднести традиційні – важкий бетон і стрижневу арматуру, та менш поширений безавтоклавний пінобетон (безавтоклавний фібропінобетон). Поєднання згаданих матеріалів у конструкції перекриття допоможе дотриматися встановлених сучасних вимог до житлових і громадських споруд [2; 3; 11].

Постановка завдання. Метою дослідження є встановлення енергозберігаючої ефективності шаруватих залізобетонно-пінобетонних плит перекриття.

Виклад основного матеріалу. Шарувата залізобетонно-пінобетонна плита перекриття – це інноваційна конструкція перекриття із верхніх і нижніх повздовжніх балок із просторовими арматурними каркасами, які містять між собою безавтоклавний пінобетон або безавтоклавний фібропінобетон (рис. 1) [12].

Рис. 1. Шарувата залізобетонно-пінобетонна плита перекриття [12]:

1, 2 – відповідно, нижні та верхні повздовжні балки;

3 – безавтоклавний пінобетон або безавтоклавний фібропінобетон.

З технологічної точки зору, створення шаруватої залізобетонно-пінобетонної плити перекриття є простим і охоплює стадії виготовлення повздовжніх балок (на підприємстві будівельних конструкцій), встановлення повздовжніх балок (однакові верхні та нижні) у будівельній споруді, заповнення всієї плити перекриття, що складається з набору повздовжніх балок, шаром безавтоклавного бетону або фібропінобетону (безпосередньо на будівельному майданчику).

Повздовжня балка складається із просторового арматурного каркасу та шару важкого бетону. Просторовий арматурний каркас конструктивно виконується у вигляді трикутної призми або паралелепіпеда. За виготовлення просторового арматурного каркасу у вигляді трикутної призми її нижня грань повинна містити не менше трьох повздовжніх стрижнів, які з'єднані між собою поперечними арматурними стрижнями.

Після виготовлення арматурних каркасів проводять бетонування їх нижніх граней шаром важкого бетону класу C25/30. Висота шару важкого бетону повинна становити 20...25 % від висоти шаруватої залізобетонно-пінобетонної плити перекриття. Також важливо те, що висота кожної повздовжньої балки повинна бути меншою за її ширину (рис. 2) [12].

Ширина нижніх і верхніх повздовжніх балок становить 500 мм, а висота всієї шаруватої залізобетонно-пінобетонної плити перекриття – 200 мм, 220 мм та 240 мм. Відповідно, висота шару важкого бетону у повздовжніх балках може дорівнювати 40 мм, 45 мм, 50 мм (висота плити перекриття – 200 мм); 45 мм, 50 мм, 55 мм (висота

плити перекриття – 220 мм) та 50 мм, 55 мм, 60 мм (висота плити перекриття – 240 мм).

Після досягнення шаром важкого бетону у повздовжній балці потрібної проектної міцності повздовжні балки доставляють на будівельний майданчик. Із повздовжніх балок укладають плити перекриття. Спочатку нижні повздовжні балки розташовують щільно одна до одної стиками шарів важкого бетону. Сусідні кінці верхніх повздовжніх арматурних стрижнів просторових каркасів пари суміжних нижніх повздовжніх балок з'єднують поперечними арматурними стрижнями, на які обернено опираються із дискретними проміжками верхні повздовжні балки, щоб їх просторові каркаси були розташовані між просторовими каркасами пари суміжних нижніх повздовжніх балок. Додатково між верхніми повздовжніми балками верхні повздовжні арматурні стрижні просторових каркасів нижніх повздовжніх балок з'єднують поперечними арматурними стрижнями. Після цього здійснюють бетонування відкритих арматурних каркасів нижніх і верхніх повздовжніх балок шаром безавтоклавного пінобетону проектної марки за густиною D800...D1200 (безавтоклавного фібропінобетону проектної марки за густиною D800...D1200) [12].

Запропонована конструкція перекриття дає змогу одночасно забезпечити необхідну несучу здатність за використання цих плит перекриття у житлових і громадських спорудах (згідно з ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи») та виконати достатньо високі сучасні вимоги енергозбереження й екологічності.

Рис. 2. Поперечні перерізи шаруватої залізобетонно-пінобетонної плити перекриття [12]: 1; 2 – відповідно, нижні та верхні повздовжні балки;

3 – безавтоклавний пінобетон або безавтоклавний фібропінобетон;

3 – безавтоклавний пінобетон або безавтоклавний фібропінобетон;

4 – повздожні арматурні стрижні нижньої грані просторового каркасу;

5 – поперечні арматурні стрижні просторого каркасу; 6 – верхні повздожні арматурні стрижні просторового каркасу; 7 – поперечні арматурні стрижні, на які обернено оперті верхні повздожні балки; 8 – поперечні арматурні стрижні, що з'єднують верхні повздожні арматурні стрижні просторових каркасів нижніх повздожніх балок між верхніми повздожніми балками; 9 – повздожні арматурні стрижні, що розташовані у шарі важкого бетону;

10 – поперечні арматурні стрижні, що з'єднують поєдовжні арматурні стрижні, розташовані у шарі важкого бетону із поєдовжніми арматурними стрижнями нижньої грані просторового каркасу.

З метою встановлення та підтвердження теплоізоляційних характеристик шаруватої залізобетонно-пінобетонної плити перекриття було проведено моделювання її енергозберігаючої ефективності з урахуванням рекомендацій та пропозицій, які наведені у ДБН В.2.6-31:2016 «Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель» та ДСТУ Б В.2.6-189-2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель».

Згідно з положеннями [4; 5], критерієм енергозберігаючої ефективності є опір теплопередачі термічно однорідної непрозорій огорожувальній конструкції, який розраховували, зважаючи на конструктивні особливості шаруватой залізобетонно-пінобетонної плити перекриття, за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_s} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_1}{\lambda_{r,c}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{f,c}} + \frac{\delta_3}{\lambda_{r,c}} + \frac{\delta_4}{\lambda_{f,c}} + \frac{1}{\alpha_s}, \quad (1)$$

α_g та α_s – коефіцієнт теплопередачі відповідної внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції; δ_1 – товщина шару важкого бетону нижньої повздовжньої балки шаруватої залізобетонної плити перекриття; δ_2 – товщина шару безавтоклавного пінобетону, який розташований між нижньою та верхньою повздовжніми балками шаруватої залізобетонної плити перекриття; δ_3 – товщина шару важкого бетону верхньої повздовжньої балки шаруватої залізобетонної плити перекриття; δ_4 – товщина шару безавтоклавного пінобетону, який розташований на рівні верхньої повздовжньої балки шаруватої залізобетонної плити перекриття; $\lambda_{r,c}$ – теплопровідність залізобетону; $\lambda_{f,c}$ – теплопровідність безавтоклавного пінобетону.

Значення коефіцієнта теплопередачі відповідної внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції і теплопровідності

залізобетону та безавтоклавного пінобетону різної проектної марки за густиною встановлювали за довідковими нормативними таблицями [4; 5].

Також для здійснення оцінки енергозберігаючої ефективності шаруватой залізобетонно-пінобетонної плити перекриття порівнювали опір теплопередачі досліджуваної плити перекриття та круглопустотної і монолітної залізобетонної плит перекриття. Результати розрахунку опору

теплопередачі та порівняння трьох видів перекриттів відображено на рис. 3.

Опір теплопередачі шаруватих залізобетонно-пінобетонних плит перекриття, згідно з проведеним розрахунком, становить $0,91 \dots 0,52$ ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт (рис. 3) залежно від висоти всієї плити перекриття, висоти шару важкого бетону в нижніх і верхніх поперечних балках і марки безавтоклавного пінобетону за густиною.

Рис. 3. Гістограма-порівняння енергозберігаючої ефективності шаруватой залізобетонно-пінобетонної, круглопустотної та монолітної залізобетонної плит перекриття.

Згідно з проведеним порівнянням трьох видів плит перекриття, можна стверджувати, що шарувата залізобетонно-пінобетонна плита перекриття є ефективнішою з точки зору енергозберігання, ніж круглопустотна та монолітна залізобетонна плити перекриття (рис. 3).

Висновки. Шарувата залізобетонно-пінобетонна плита перекриття є інноваційною конструкцією перекриття, яку доцільно використовувати у житловому та громадському будівництві. Застосування запропонованих плит перекриття дасть змогу виготовляти поперечні балки шаруватих залізобетонно-пінобетонних плит перекриття на

підприємствах залізобетонних конструкцій поточковим методом, використовуючи виробничі потужності, засоби механізації та автоматизації процесів виготовлення арматурних каркасів і бетонування, які діють на них, що допоможе зменшити собівартість виготовлення плит перекриття, комплексно вирішувати завдання зі створення нових робочих місць для працевлаштування кваліфікованих працівників відповідних спеціальностей і професій, завантаження виробничих потужностей та може бути одним із рушіїв відродження промислового потенціалу будівельної галузі України, зокрема під час застосування збірно-монолітного будівництва, та у

майбутньому забезпечувати ідеальні умови для безпечної життєдіяльності людей у зведених спорудах [2; 11].

Бібліографічний список

1. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. База даних «Законодавство України»; ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text> (дата звернення 09.08.2021).
2. Демчина Б. Г., Литвиняк О. Я., Верба В. Б., Демчина Х. Б., Половко А. П. Конструкції з безавтоклавного пінобетону: монографія / за ред. Б. Г. Демчини. Львів: Простір-М, 2019. 348 с.
3. Безпека життєдіяльності людини у концепції реалізації цілей сталого розвитку: кол. монографія. Львів: Фоліант (ПП Віконська О. В.), 2020. 292 с.
4. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Київ, 2017. 33 с.
5. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ, 2014. 55 с.
6. Izzet Yüksek. The Evaluation of Building Materials in Terms of Energy Efficiency. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 2015. 59 (1). P. 45–58.
7. Serdiuk V. R., Franishyn S. Yu. The construction decisions improvement of energy efficient floorings. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2018. № 1. С. 12–17.
8. Рабінська О. П. Ефективні енергозберігаючі конструкції малоповерхових житлових будинків. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб.* Київ. 2012. Вип. 45. Ч. 2. С. 159–163.
9. Вознюк Л., Демчина Б., Собчак-Пястка Ю. Випробування керамзитобетонних плит перекриття із ефективними вставками. *Вісник Львівського національного аграрного університету: архітектура і сільськогосподарське будівництво*. 2016. № 17. С. 109–117.
10. Орловська Ю. В. Енергоефективність житлового будівництва як резерв зростання його економічного потенціалу. *Економіка будівництва і міського господарства*. 2014. Т. 10. № 1. С. 5–11.
11. Lytvyniak O., Tashak M. The suggestions as to the calculation bearing capacity of sandwich reinforced concrete – foamed concrete floor slabs. *Acta Polytechnica*. 2019. Vol. 59. No 1. 2019. P. 59–66.
12. Залізбетонне перекриття будинку: пат. 105880 Україна. № а 2013 09264; заявл. 23.07.2013; опубл. 25.06.2014. Бюл. № 12/2014.

Стаття надійшла 07.09.2021