

**A SIMULATION OF COMPOSITE REINFORCED
CONCRETE – FOAM CONCRETE FLOOR SLAB**

**МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОЗИТНОЇ
ЗАЛІЗОБЕТОННО-ПІНОБЕТОННОЇ ПЛИТИ ПЕРЕКРИТТЯ**

Oksana Lytvyniak¹
Yaroslav Lytvyniak²

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-241-8-3>

Abstract. The rapid development of the construction industry motivates designers and scientists to create modern building structures. During the simulation and designing, they must consider not only the necessary bearing capacity of the structure and building in general, but they have to take into account the economic, energy efficient, soundproof expediency of the use of this structure. To solve these tasks, we can only use non-trivial innovative approaches during the combined connection of properties of well-known and "new" building materials and also new constructive decisions. Intensive attention can purposefully be addressed to improvement floor slabs, especially reinforced concrete floor slabs. The monolithic reinforced concrete floor slabs are used during the buildings' construction for residential, administrative and public purposes. These structures require the arrangement of additional sound and heat insulation layers. Furthermore, they have a large material capacity and considerable weight. All these factors promote the increase in the cost of construction. *The aim of this paper* is a simulation of the newest floor structures with the use of building materials that have different physical and mechanical properties to ensure modern high design requirements. The achievement of this aim is possible as a result of a detailed study of the properties of building materials and the experience of

¹ Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Civil Safety, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

² Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

the use of different floor structures. *The methodology of this study* is based on general research methods of analysis and synthesis that are used in the theory and practice of the building industry. *The result of this paper* is a simulation of a composite reinforced concrete – foamed concrete floor slab. These floor slabs consist of lower and upper reinforced concrete longitudinal beams, and a space between them must be filled by non-autoclave foamed concrete (non-autoclave foamed concrete with fiber). It is worth noting that the use of non-autoclave foamed concrete in composite reinforced concrete – foamed concrete floor slab permits to satisfy the modern high requirements of energy saving and environmental friendliness with the providing of necessary bearing capacity of the structure. *The practical value of this study* is a proposition for the use of composite reinforced concrete – foamed concrete floor slab in the buildings for residential, administrative and public purposes. The purpose of their application is to ensure the necessary bearing capacity of construction and building in general, a shortening of the construction period, decrease material capacity, ensure the obligatory level of energy efficiency, environmental friendliness and noise insulation and improve technical and economic indicators.

1. Вступ

Теперішнє спорудження будівель вимагає від науковців, проєктантів і будівельників створювати такі споруди, які дозволили б вирішити декілька важливих завдань – забезпечення необхідної несучої здатності конструкції та споруди в цілому, скорочення термінів будівництва, зменшення матеріалоемності, забезпечення необхідного рівня енергоефективності, екологічності та шумоізоляції, а також покращення техніко-економічних показників.

Вирішити такі різнопланові та багатогранні завдання можливо лише у комплексному підході, використовуючи різні методики, методології та пропозиції.

Такими украй необхідними завданнями є зменшення матеріалоемності споруди, підвищення рівня енергоефективності та шумоізоляції конструктивних будівельних елементів з одночасним забезпеченням їхньої необхідної несучої здатності при спорудженні нових споруд чи реконструкції уже існуючих з єдиною метою – забезпечення комфорту для життєдіяльності людей і подовження часу експлуатації цих споруд.

На даний час, вирішити ці завдання можливо лише із застосуванням нетривіальних інноваційних підходів під час консолідованого сполучення характеристик загальновідомих і «нових» будівельних матеріалів, а також нових конструктивних рішень. Інтенсивна увага може бути цілеспрямовано звернена на покращення плит переkritтя, особливо залізобетонних.

Сьогодні, найчастіше при зведенні будівель житлового, адміністративного та громадського призначення використовують монолітні залізобетонні плити переkritтя, які вимагають улаштування додаткових шарів звуко- та теплоізоляції, мають велику матеріалоемність, значну вагу. Це все сприяє підвищенню вартості будівництва.

Однак, якщо поєднати у конструкції переkritтя різні будівельні матеріали з різними фізико-механічними властивостями можна створити таку конструкцію переkritтя, яка задовольняла б високі сучасні вимоги щодо несучої здатності, енергоефективності та шумоізоляції, а її виготовлення було достатньо швидким та економічно доцільним. Такими будівельними матеріалами, з допомогою яких можна утворити плиту переkritтя, є важкий бетон, безавтоклавний пінобетон (безавтоклавний фібропінобетон) та стержнева арматура. Спільне використання у плитах переkritтя цих матеріалів дасть змогу отримати конструкцію з необхідною несучою здатністю, енергоефективними та звукоізоляційними властивостями. Консолідоване поєднання різних будівельних матеріалів нададуть поштовх у створенні надійних, економічно доцільних, енергозберігаючих конструкцій переkritтя для використання у спорудах різного призначення, що на даний час є актуальним і необхідним.

2. Безавтоклавний пінобетон, стан досліджень і його роль у сучасній будівельній індустрії

Сучасний швидкий розвиток будівництва ґрунтується на зменшенні матеріалоемності та зниженні собівартості продукції, підвищенні вимог енергозбереження й екологічності, що спонукає до використання у будівельних конструкціях ефективних матеріалів (комірчастих бетонів), таких як пінобетон, газобетон та інші.

Комірчасті бетони – це різновид будівельних матеріалів, які мають відносно недовгу історію. Дослідження комірчастих бетонів розпоча-

лося наприкінці XIX століття, а перші патенти на такі матеріали були отримані у Німеччині у 1890 році, у Норвегії у 1910 році, у 1921 році у Данії та у Швеції у 1924 році та у 1931 році [1, с. 11].

Пінобетон (рис. 1), як різновид комірчастого бетону, отримують шляхом змішування водного розчину в'язучих речовин з піною та кремнеземистим компонентом. Вперше спосіб отримання пінобетону запропонував у 1911 році датський інженер Є.С. Байер. Більше того, у 1924 році міжнародним патентом був захищений винахід шведського архітектора А. Еріксона на пінобетон – штучний пористий матеріал, структура якого характеризувалася наявністю рівномірно розподілених сферичних пор діаметром до 2 мм, заповнених повітрям (від величини пор та їхньої кількості в одиниці об'єму залежали основні властивості пінобетону: середня густина, міцність, теплопровідність, звукоізоляція), що мав властивості близькі до дерева та отримав практичне застосування тільки в 1925 році спочатку в Німеччині, а потім і в інших країнах. До 70-х років пінобетон вже широко використовувався в сорока країнах світу [2, с. 385; 3, с. 521].

Технологія виготовлення пінобетонної суміші передбачає утворення комірчастої структури матеріалу при звичайній температурі та можливість транспортування готової пінобетонної суміші. При цьому, існує два види технології виготовлення пінобетону – пориза-



Рис. 1. Комірчаста структура пінобетону

ція бетонної суміші піною, яка попередньо підготовлена традиційним способом і сухою мінералізацією та приготування пінобетонної суміші без попереднього приготування піни. Перший вид технології виготовлення пінобетонної суміші полягає в окремому приготуванні високократної піни та поризованої розчинної суміші, із подальшим їх змішуванням в окремому змішувачі або у змішувачі для приготування розчинної суміші. Також дана технологія виготовлення матеріалу може відбуватися шляхом попереднього приготування піни та мінералізації її сухими компонентами суміші шляхом поступового та, звісно, рівномірного додавання їх до піномаси при одночасному перемішуванні їх у змішувачі (метод сухої мінералізації). Перевагами застосування цього методу є отримання більш щільних міжпорових перегородок у мікроструктурі пінобетону внаслідок більш щільного упакування частинок в'язучої речовини та зменшення водоцементного відношення. З допомогою цієї технології можна отримати із високим коефіцієнтом конструктивної якості. Метод виготовлення пінобетонної суміші без приготування піни полягає у залученні повітря у суміш в'язучої речовини, кремнеземистого компонента, води та піноутворювача при швидкому їх перемішуванні у високошвидкісному змішувачі [2, с. 386–387].

Український стандарт ДСТУ Б В.2.7 45:2010 «Будівельні матеріали. Бетони ніздрюваті. Технічні умови» встановлює, що класифікація пінобетону здійснюється за маркою в залежності від середньої густини у сухому стані, яку позначають D – D200, D250, D300, D350, D400, D500, D600, D700, D800, D900, D1000, D1100. В залежності від гарантованої міцності на стиск розрізняють класи пінобетону: B0,35; B0,5; B0,75; B1; B1,5; B2; B2,5; B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15. За морозостійкістю пінобетони поділяють на марки F15, F25, F35, F50, F75. Також в залежності від середньої густини пінобетону у сухому стані із врахуванням його основного призначення існують три групи матеріалу – пінобетони теплоізоляційні ($\rho \leq 500 \text{ кг/м}^3$), пінобетони конструкційно-теплоізоляційні ($\rho = 500 \dots 900 \text{ кг/м}^3$) та пінобетони конструкційні ($\rho = 1000 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$).

Як бачимо, із вище наведено, безавтоклавний пінобетон – це будівельний матеріал, який є відносно «молодим» порівняно із важким бетон, а, отже, ще недостатньо вивчений. І тому, для розуміння пер-

спективи його застосування необхідно знати стан досліджень цього будівельного матеріалу.

Перші дослідження пінобетону, як і комірчастих бетонів загалом, були розпочаті з визначення їхніх властивостей та встановлення технології отримання теплоізоляційного пінобетону при звичайній температурі. Значний вклад в ці дослідження зробили вчені Ребіндер П.А., Брюшков А.А., Кауфман Б.Н.. Не варто, також забувати про роботи Гензлера М.І., Кауфмана Б.Н. та Шульца К.І., які допомогли втілити у життя спорудження будівельних конструкцій із безавтоклавного пінобетону, який був отриманий на будівельному майданчику [4–6].

Оскільки, для отримання безавтоклавного пінобетону з необхідними властивостями важливе значення має його водоцементне відношення, відповідно Попов М.А. у своїх дослідженнях [7] встановив, що залежність міцності пінобетону від його водоцементного відношення має певний екстремум, а не є обернено пропорційною залежністю. Більше того, ця залежність досягає певного свого максимуму при оптимальному значенні водоцементного відношення.

Враховуючи те, що пінобетон має пористу (комірчасту) структуру важливим є отримання його пор певної форми та розташування. Дослідження в цьому плані проводили Бахтіяров К.І. та Баранов А.Т. Ці вчені здійснили великий обсяг досліджень, які дозволили встановити, що при досягненні оптимального інтервалу водоцементного відношення форма пор є подібною до сферичної, що, в свою чергу, дозволяє збільшити міцність матеріалу після його твердіння. Більше того, рівномірне розташування пор у структурі пінобетону знову ж таки при оптимальному рівні водоцементного відношення дає змогу підвищити його модуль пружності, морозостійкість, однак зменшує теплопровідність [8].

Більше того, у дослідженнях [9–12] було розроблено методику дослідження структури комірчастого бетону, управління структурою та властивостями пінобетону, оптимізацію властивостей пінобетону нормального тверднення та особливостей структуроутворення безавтоклавного пінобетону.

Проте, не варто нехтувати тим, що завдяки природі цементного матеріалу у пінобетоні та його високій пористості, це дуже слабкий будівельний матеріал при дії зусиль розтягу, тому він часто тріскається у пластичному стані, при усадці та у твердому стані. Тому, щоб покра-

щити міцність пінобетону на розтяг і розрив до нього додають різні волокна – з скла, металу, пропілену, кевлару, нейлону і т.д. Проте, з'єднати фібру з піною через цементно-піщаний розчин довгий час було неможливим, тому що крупна фракція цементно-піщаного розчину не давала можливість отримувати стінки між бульбашками такої міцності, щоб в них достатньо надійно утримувалася фібра, і щоб матеріал просто не розсипався [13].

Також необхідно зазначити, що механічні властивості армованого фіброю пінобетону мають вплив на декілька факторів – густину свіжого та затверділого пінобетону, гранулометричний склад, відсоток використання пуцоланового матеріалу та об'єм хімічного піноутворювача. Щодо реологічних властивостей суміші армованого фіброю пінобетону, на них мають вплив як властивості піни, так і властивості волокон. Відповідно, необхідно здійснювати чітке дозування піноутворювача для посилення адгезії та когезії між піноутворювачем і цементуючим наповнювачем у порівнянні з матеріалами без волокон. Більше того, застосування різних видів волокон у безавтоклавному пінобетоні дозволяє зменшити автогенну усадку у 1,2...1,8 разів, а усадку при висиханні – у 1,3...1,8 разів. Варто також відзначити, що додавання волокон у безавтоклавний пінобетон практично не змінює тепло- та звукоізоляційні характеристики пінобетону [14].

Отже, використання різних волокон як додаткового дисперсного армування безавтоклавного пінобетону дозволяє збільшити сферу застосування цього будівельного матеріалу у будівництві.

Всі вище описані дослідження проводилися з метою дослідження будівельного матеріалу, технології його виготовлення, його фізико-механічних характеристик. Однак, надзвичайно важливим є «поведінка» безавтоклавного пінобетону чи безавтоклавного фібропінобетону у конструкції.

3. Конструкції перекриття із використанням пінобетону

Використання пінобетону у конструкціях перекриття немає масового вигляду, оскільки є відсутні чітка методологія до проектування сумішей і кодексу практики із їхнього застосування.

Проте, вчені – українські та іноземні – проводили та здійснюють цілий спектр експериментальних і аналітичних досліджень для того,

щоб використання комірчастих бетонів, особливо пінобетону у плитах перекриття стало більш значущим і масовішим.

Одними із перших конструкцій перекриття з використанням комірчастих бетонів були малогабаритні плити для безгорищних покриттів із прогонами, які почали застосовувати у 1938 році. Довжина цих плит становила 1,5 м і 3 м, а ширина – 0,5 м. Товщина плит була 120, 140 та 160 мм. Ці плити покриття були виготовлені із пінобетону або піносілікату з густиною $750 \pm 50 \text{ кг/м}^3$ [15]. Згодом почали зводити будівлі з горищними плитами, які були виконані з комірчастих бетонів з густиною 700...800 кг/м^3 . Ці горищні плити були армовані або звичайною арматурою або попередньо напруженими брусками [16, 17] Довжина цих плит була 3,6 м або 6 м, а їхня товщина становила 180 мм і 240 мм.

Згідно з [18] перші міжповерхові плити перекриття (рис. 2) почали використовувати з 1953 року. Ці конструкції були довжиною до 3,6 м, а їхня товщина та ширина становила відповідно 160 мм і 1450 мм. Марка комірчастого бетону у цих плитах перекриття була М150, а арматура – сталь Ст3, Ст5 та холоднотянутий дріт у вигляді зварних сіток.

Оскільки комірчасті бетони мають незначний модуль деформації, тому кількість армування приймали із розрахунку за деформаціями, а не згідно розрахунку на несучу здатність. Тому, з метою зменшення витрат арматури в одношарових плоских плитах перекриття були додатково розроблені варіанти попередньо напружених комбінованих панелей (рис. 3).

Перший варіант попередньо напружених комбінованих панелей (див. рис. 3, а) передбачав розташування напруженої арматури у задалегідь виготовлених залізобетонних брусках, що вкладалися на дно форми або зверху по конструктивній нижній арматурній сітці. Арматура використовувалася стержнева класу А-III, А-IV або з висо-

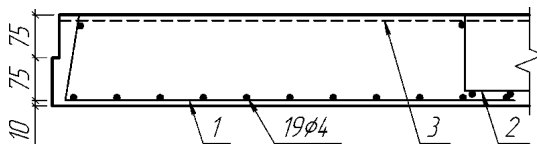


Рис. 2. Фрагмент плити міжповерхового перекриття:
де 1 – сітка № 1; 2 – сітка № 2; 3 – сітка № 3

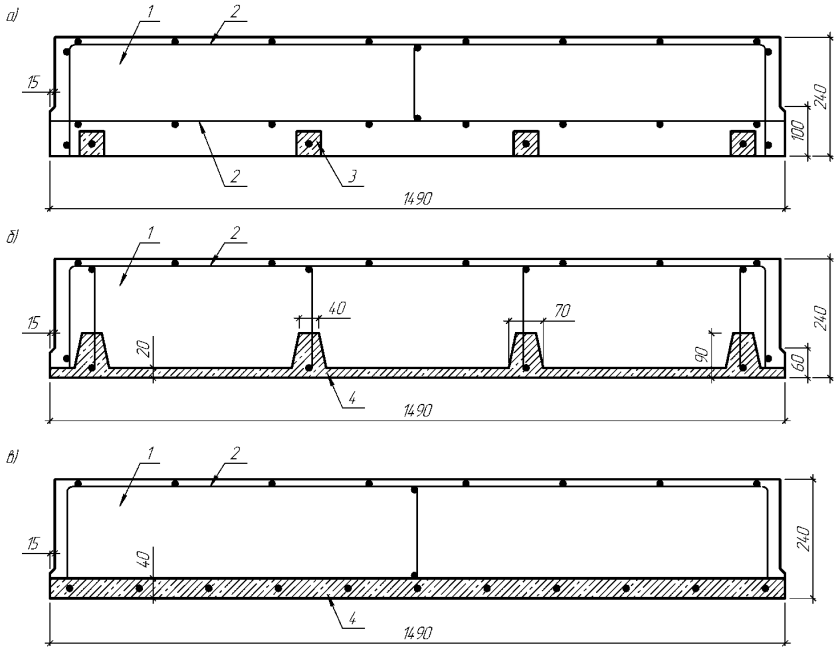


Рис. 3. Поперечний переріз трьох основних варіантів попередньо напружених комбінованих панелей $l = 6$ м [15]:
а) із попередньо напруженими брусками; б) із ребристою бетонною плитою;
в) із плоскою бетонною плитою, що армована високоміцним дротом;
1 – комірчастий бетон (густина – 700 кг/м^3); 2 – сітка із дроту;
3 – заздалегідь виготовлений брусок із бетону марки М300;
4 – плита із бетону марки $\geq \text{M200}$

коміцного дроту. Бруски з стержневою арматурою були технологічно простими у виготовленні і їх можна було улаштувати із арматурними випусками для кращого анкерування у комірчастому бетоні.

У другому та третьому варіанті попередньо напружених комбінованих панелей (рис. 3, б, в) робочу напружену арматуру розташовували у шарі важкого бетону, який виконували безпосередньо перед бетонуванням шару комірчастого бетону. Після цього вся конструкція панелі піддавалася автоклавній обробці.

Розвиток промисловості та спорудження нових промислових об'єктів спонукали науковців і проєктантів розробити для широкого використання великопанельні конструкції перекриття з конструкційно-теплоізоляційного пінобетону (рис. 4). Густина пінобетону становила 750 ± 50 кг/м³. Розміри в плані ці конструкції були 1,5 х 6 м. Також ці великопанельні згинані конструкції мали ребра з важкого бетону. Висота цих ребер становила 200 мм, а товщина полицки була у межах 100...160 мм.

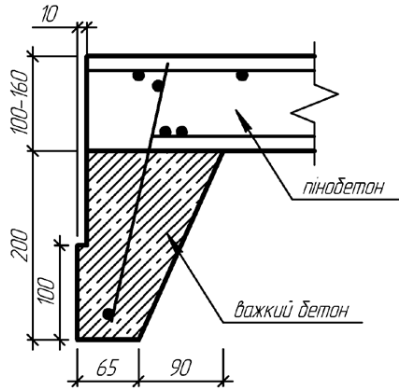


Рис. 4. Деталь поперечного перерізу пінобетонної армованої плити

Враховуючи переваги та недоліки плит перекриття для використання у промислових об'єктах, були розроблені конструкції перекриття як для промислових, так і для житлових і громадських будівель. Такими конструкціями були двошарові плити перекриття (рис. 5) довжиною 6 м. Нижній шар цих плит перекриття був виконаний із важкого бетону, а верхній шар – із пінобетону (його густина була 650 кг/м³). Армування даних конструкцій були здійснено попередньо напруженою стержневою арматурою й арматурою з холодно-тягнутого дроту.

Виробництво всіх вище згаданих конструкцій перекриття чи покриття споруд мало певні технологічні труднощі, оскільки використовувався комірчастий бетон, обробка якого здійснювалася тільки в автоклавах з високою температурою та вологістю на підприємствах будівельних конструкцій, що має певні недоліки. Ця автоклавна обробка була причиною появи усадкових тріщин у шарі комірчастого бетону через його недостатнє армування. Більше того, автоклавна обробка потребує значних фінансових витрат для її реалізації.

Приймаючи до уваги всі переваги та недоліки вище описаних плит перекриття, українські та закордонні вчені здійснювали та здійснюють значний обсяг досліджень новітніх конструкцій перекриття.

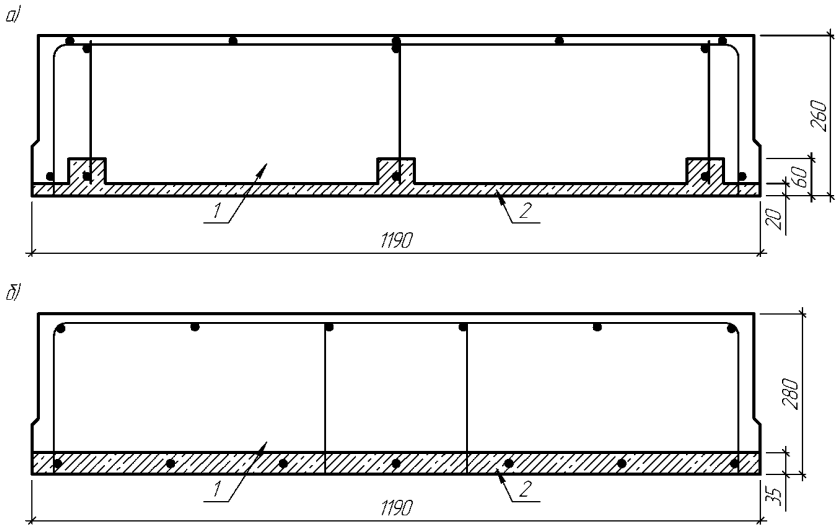


Рис. 5. Плити для горіщних перекриттів з попередньо напруженою арматурою:

а) із стержневою арматурою; б) із дотяною арматурою;

1 – комірчастий бетон (пінобетон або газобетон); 2 – важкий бетон

Джерело: [18]

Одним із прикладів новітніх і широко використовуваних плит перекриття є збірно-монолітні перекриття «TERIVA» (рис. 6). Даний вид перекриття утворюється балками перекриття, які виготовляють із сталевого каркасу. Нижня частина цієї балки є забетонувана бетоном класу не нижче С20/25 у бетонну полицку, переріз якої є 40 x 120 мм. На цю балку перекриття опирають пустотілі керамзитобетонні блоки висотою 210 мм або 300 мм. Після улаштування балок перекриття та пустотілих керамзитобетонних балок, їх бетонують шаром легкого бетону. Таким чином утворюється збірно-монолітне перекриття.

Ще одним прикладом застосування комірчастого бетону у плитах перекриття є розробка науковців будівельного інституту у м. Веймар (Німеччина) [19], які запроектували, виготовили та експериментально дослідили композитні плити перекриття з важкого бетону з вклади-



Рис. 6. Вигляд перекриття TERIVA

шами з комірчастого бетону (рис. 7). Розмір цих плит перекриття становить 2,5 x 6 м. Технологія виготовлення даних конструкцій перекриття полягає у наступному. Спочатку виготовляють балки перекриття з каркасом, які улаштовують з певним кроком. Після цього бетонують на половину висоти ці балки перекриття, а згодом ущільнюють свіжий бетон. Згодом, улаштовують на бетон нижчого рівня елементи з комірчастого бетону з певними проміжками по ширині всього перекриття. Наприкінці, бетонують проміжки між вкладишами з комірчастого бетону легкоущільнюючим бетоном.

Варто відзначити, що проектування та дослідження комбінованих плит перекриття з використанням пінобетону та інших легких матеріалів проводять не тільки в Європі, але й в Азії та арабських країнах.

Однією з таких конструкцій є бетонна плита перекриття з пінобетону в технічній області плити перекриття. Дана конструкція складається з нижнього шару бетонного перекриття, середнього шару перекриття, верхнього шару бетонного перекриття. При цьому, нижній шар бетонного перекриття виготовлений з пінобетону (рис. 8).

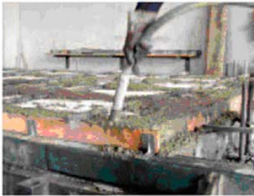
Пінобетон утворюється шляхом повного спінювання піноутворювача в механічному режимі за допомогою піноутворювальної системи піноутворювача. У порівнянні з бетоном такого ж об'єму, пінобетон



*уцілений свіжий бетон
нижчого рівня*



*елементи із комірчастого
бетону, що вкладені на нижній
важкий бетон*



*уцілення легкоуцілюючого
бетону між елементами
із комірчастого бетону*



*плита перекриття з блоками
із комірчастого бетону*

Рис. 7. Плита перекриття з блоками із комірчастого бетону

Джерело: [19]

має переваги в тому, що щільність невелика, маса легка, при цьому пінобетон має хорошу звукоізоляцію, теплозбереження та теплоізоляційні характеристики завдяки великій кількості дрібних закритих отворів, в приміщенні, яке опалюється взимку, досягається хороший енергозберігаючий ефект, тому нижнє бетонне перекриття має такі переваги, як легка маса, звукоізоляція, теплозбереження та теплоізоляція [20].

Важливим прикладом дослідження конструкцій з використанням пінобетону є аналітичні та експериментальні дослідження легких пінобетонних композитних панелей (рис. 9). Ці композитні пінобетонні панелі склалися з двох зовнішніх бетонних шарів, для яких був виготовлений «деформований» арматурний каркас діаметром 6 мм та з отворами 100 x 100 мм. Для з'єднання шарів бетону в одну конструкцію використовували п'ять зрізних з'єднувачів з використанням гаряче округленого прутка з м'якої сталі. Діаметр цього

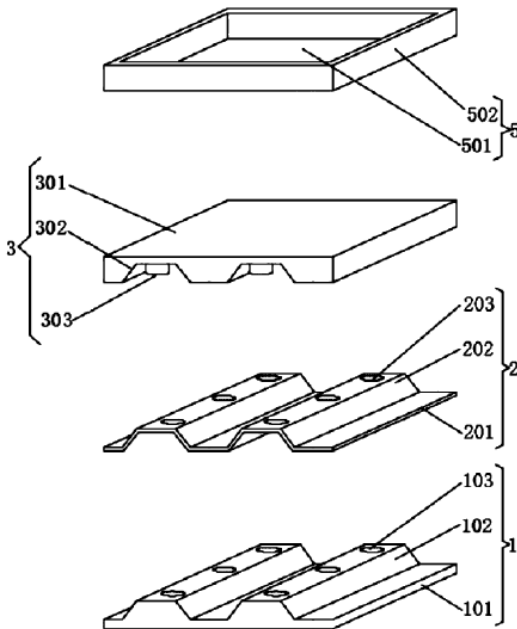


Рис. 8. Бетонна плита перекриття з пінобетону

Джерело: [20]

прутка становив 6 мм з кутом нахилу 450, яка повинен проходити уздовж висоти усієї панелі. Додатково використовували листи пінополістиролу як ізоляційний матеріал між двома зовнішніми бетонними шарами. Для заливки панелей був використаний пінобетон. Відповідно, ці легкі панелі поводили себе як структурно об'єднаний композитний елемент [21].

4. Композитна залізобетонно-пінобетонна плита перекриття

Враховуючи всі вище наведені дослідження комплексних плит перекриття з використанням пінобетону або комірчастого бетону, пропонуємо для застосування у житловому, адміністративному та громадському будівництві використовувати композитну залізобетонно-пінобетонну плиту перекриття (рис. 10).

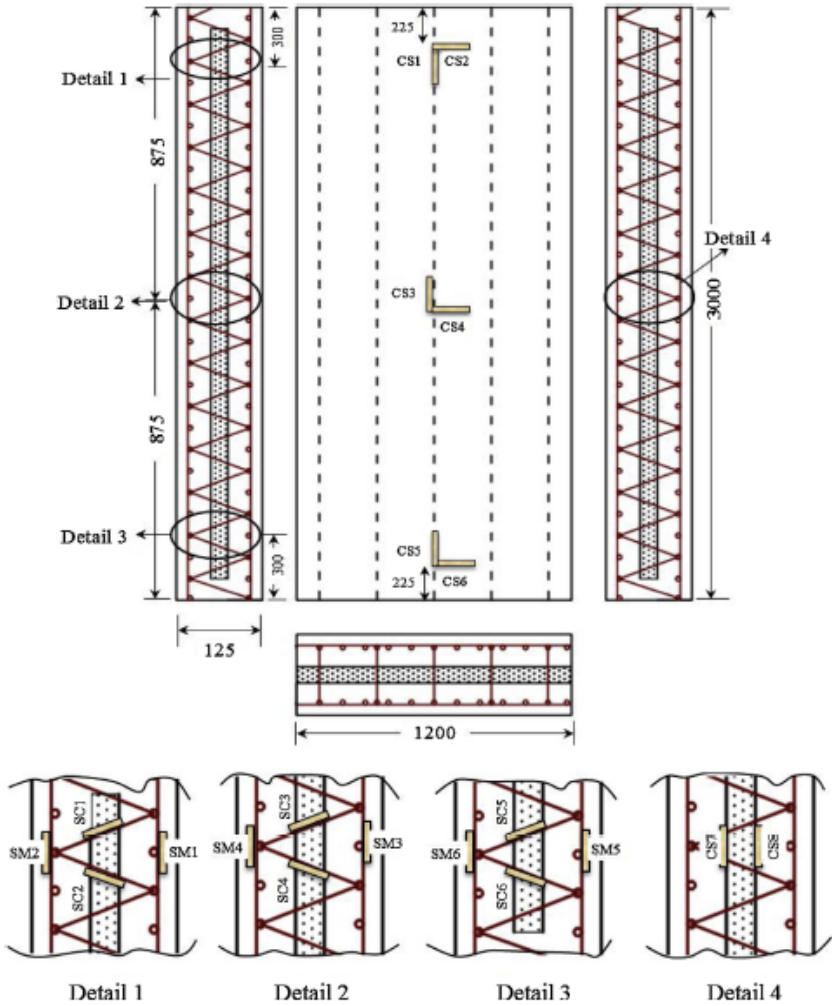
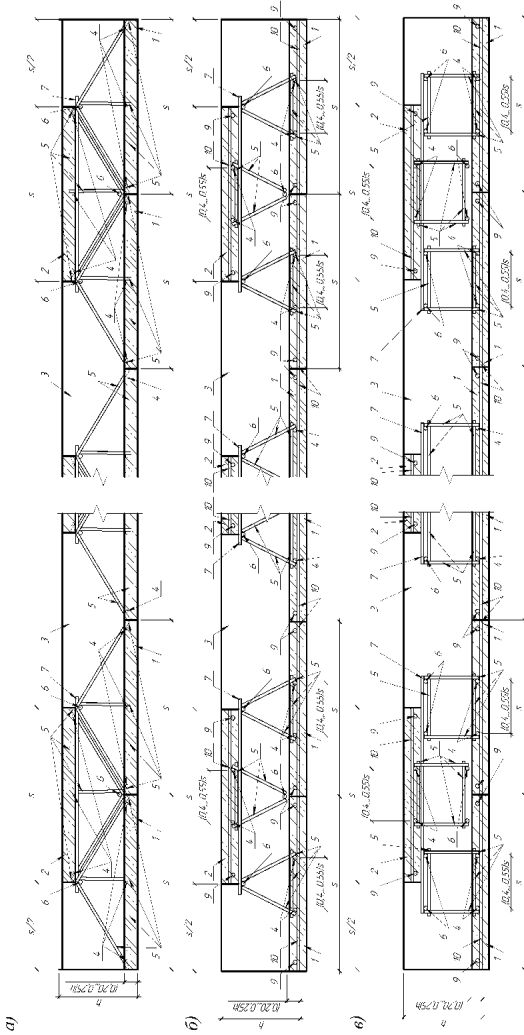


Рис. 9. Вид і переріз легких пінобетонних композитних панелей

Джерело: [21]



Примітки:

- 1, 2 - шпалви та верхні повздожжні балки;
- 3 - безармований пінобетон (безармований фібробетон);
- 4 - повздожжні арматурні стержні тижняної грані просторового каркасу;
- 5 - поперечні арматурні стержні просторового арматурного каркасу;
- 6 - верхні повздожжні арматурні стержні просторового арматурного каркасу;
- 7 - поперечні арматурні стержні, на які обернено оперті верхні повздожжні балки;
- 8 - поперечні арматурні стержні, що з'єднують верхні повздожжні арматурні стержні просторових каркасів нижніх повздожжніх балок між верхніми повздожжніми балками;
- 9 - повздожжні арматурні стержні, що розташовані у шарі важкого бетону;
- 10 - поперечні арматурні стержні, що з'єднують повздожжні арматурні стержні, що розташовані у шарі важкого бетону. Їх повздожжніми арматурними стержнями нижньої грані просторового каркасу

Рис. 10. Поперечний переріз композитної залізобетонно-пінобетонної плити перекриття

Джерело: [22]

Композитна залізобетонно-пінобетонна плита перекриття – це конструкція перекриття, яка складається із двох (верхнього і нижнього) залізобетонних шарів та розташованого між ними шару безавтоклавного пінобетону (безавтоклавного фібропінобетону).

Нижній залізобетонний шар (рис. 10, а) повинен бути виконаний із повздовжніх балок, які влаштовують щільно одна до одної з метою утворити суцільний шар. Верхній залізобетонний шар має бути виконаний також із повздовжніх балок, проте ці балки повинні бути розташовані над стиками кожної пари суміжних нижніх повздовжніх балок нижнього залізобетонного шару. Виконання кожної повздовжньої балки розпочинається з створення просторового арматурного каркасу у вигляді трьохгранної призми. Нижня грань цієї призми повинна обов'язково містити не менше трьох повздовжніх арматурних стержнів, які повинні бути з'єднані між собою поперечними арматурними стержнями. Поперечні арматурні стержні просторових арматурних каркасів кожної повздовжньої балки виконують у вигляді хомутів та / або відгинів. Після виготовлення арматурного каркасу його нижню грань бетонують шаром важкого бетону класу не нижче С20/25. Висота бетонного шару повинна становити $(0,2 \dots 0,25) \cdot h$ (h – проектна висота всієї композитної залізобетонно-пінобетонної плити перекриття). Варто відзначити, що кінці верхніх повздовжніх арматурних стержнів просторових арматурних каркасів всіх повздовжніх балок або кожної пари суміжних повздовжніх балок нижнього залізобетонного шару з'єднують між собою поперечними арматурними стержнями. На ці поперечні арматурні стержні обернено опирають повздовжні балки верхнього залізобетонного шару. Дане обпирання здійснюють таким чином, щоб просторові арматурні каркаси повздовжніх балок верхнього залізобетонного були розташовані між просторовими арматурними каркасами кожної пари суміжних повздовжніх балок нижнього залізобетонного шару. Простір між повздовжніми балками верхнього та нижнього залізобетонного шару заповнюють шаром безавтоклавного пінобетону (безавтоклавного фібропінобетону) [22].

Використання композитної залізобетонно-пінобетонної плити перекриття дозволить забезпечити необхідну несучу здатність всієї конструкції перекриття. Вище названа висота шару важкого бетону у повздовжніх балках дасть змогу забезпечити виконання вимог пожеж-

ної безпеки, а також виключить утворення тріщин у шарі важкого бетону.

Варто зазначити, що можливе також виконання просторового арматурного каркасу повздовжньої балки шириною не на цілу балку (рис. 10, б, в), а на ширину, яка є рівною $(0,4 \dots 0,55) \cdot s$ (s – ширина повздовжніх балок). Однак, у цьому випадку додатково повздовжні арматурні нижньої грані просторового каркасу повинні бути з'єднані з допомогою поперечних арматурних стержнів із повздовжніми арматурними стержнями, які розташовані у шарі важкого бетону кожної повздовжньої балки.

Також з метою технологічного спрощення виконання просторових арматурних каркасів є можливим виконання його у вигляді паралелепіпеда шириною $(0,4 \dots 0,55) \cdot s$ (рис. 10, в).

Враховуючи незначну міцність безавтоклавного пінобетону (безавтоклавного фібропінобетону) на стиск, необхідно між повздовжніми балками верхнього залізобетонного шару верхні повздовжні арматурні стержні просторових арматурних каркасів повздовжніх балок нижнього залізобетонного шару були з'єднані між собою поперечними арматурними стержнями.

Отже, композитна залізобетонно-пінобетонна плита перекриття є такою конструкцією, під час використанні якої вирішуються важливі завдання сьогодення у будівельній галузі – скорочення термінів будівництва (виготовлення повздовжніх балок здійснюється спочатку на заводі будівельних конструкцій потоковим методом, а після цього улаштування всього перекриття відбувається на будівельному майданчику), зменшення матеріалоемності, забезпечення необхідного рівня енергоефективності, шумоізоляції, а також забезпечення необхідної несучої здатності всієї споруди та конструкції перекриття загалом.

5. Висновки

На основі викладеного матеріалу можна зробити такі висновки:

1. Використання безавтоклавного пінобетону дає змогу полегшити вагу конструкцій, дає значну економію енергоресурсів, а сам матеріал має велику вогнестійкість та створює комфорт у будинках для проживання людей, тому застосування пінобетону у будівельних конструкціях є надзвичайно актуальним.

2. Конструкція та типологія існуючих збірних плит перекриття передбачають виконання їх на спеціалізованих будівельних заводах та підприємствах, але сучасний стан будівельної індустрії є спрямований на те, щоб більша частина будівельних робіт виконувалась безпосередньо на будівельному майданчику, що дозволяло б мінімізувати транспортні витрати. Для більшої частини описаних комплексних плит перекриття необхідне використання опалубки на цілий виріб. Використання у перекриттях комірчастого бетону автоклавного виготовлення на даний час є дуже вартісним і неефективним. Тому, існуючі плити перекриття не в повній мірі задовольняють сьгоднішні високі вимоги економічності й енергозбереження у будівництві. Використання безпосередньо на будівництві безавтоклавного пінобетону у композитній залізобетонно-пінобетонній плиті перекриття дозволить задовольнити високі вимоги сьгодення з енергозбереження та екологічності з забезпеченням необхідної несучої здатності споруди.

3. Використання на об'єктах житлового та громадського будівництва, зокрема реалізації програм із створення соціального житла, реконструкції існуючих споруд житлово-комунального господарства, запропонованих композитних залізобетонно-пінобетонних плит перекриття дозволить здійснювати виготовлення повздовжніх залізобетонних балок на підприємствах залізобетонних конструкцій потоковим методом для зменшення їх собівартості виготовлення, застосовуючи існуючі на них виробничі потужності, засоби механізації і автоматизації процесів бетонування та виготовлення арматурних каркасів, що дозволить комплексно вирішувати завдання із 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 при застосуванні збірно-монолітного будівництва [23; 24].

Список літератури:

1. Budowanie z betonu komórkowego. Poradnik – catalog / Stowarzyszenie producentów betonów, 2005.
2. Кривенко П. В., Пушкорьова К. К., Барановський В. Б., Кочевих М. О., Гасан Ю. Г., Константи́нівський Б. Я., Ракша В. О. Будівельне матеріалознавство : підручник. Київ : «Видавництво Ліра – К», 2012. 624 с.

3. Ружинский С., Портник А., Савиных А. Всё о пенобетоне / Изд. 2-е. СПб. : ООО «Стройбетон», 2006. 627 с.
4. Гензлер М. Н., Линдеберг С. А. Пенобетонщик. Ленинград-Москва : ОНТИ НКТП СССР, Главная редакция строительной литературы, 1936. 161 с.
5. Кауфман Б. Н. Производство и применение пенобетона в строительстве. Москва, 1940. 128 с.
6. Кауфман Б. Н. Пенобетон. Подбор состава и основные свойства. М. : Изд. СтройЦНИЛ Главстройлегпрома Наркомата легкой промышленности, 1938. 120 с.
7. Попов Н. А. Производственные факторы прочности лёгких бетонов. М.-Л. : Госстройиздат, 1933. 104 с.
8. Юдович Б. Э., Зубехин С. А. Субмикроструктурный пенобетон: новое в основах технологии. *Цемент и его применение*. 2009. № 2. С. 81–85.
9. Загорчак Ю. О. Управління структурою та властивостями пінобетону : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби». Одеса, 2004. 22 с.
10. Мартыненко В. А. Методика исследования пористой структуры ячеистого бетона. *Вісник ПДАБтаА*. 2002. № 10. С. 51–56.
11. Мартинов Є. В. Компримісна оптимізація властивостей пінобетону нормального тверднення : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби». Одеса, 2009. 24 с.
12. Орлов Д. А. Особливості структуроутворення та властивості пінобетону неавтоклавного твердіння : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.05 «Будівельні матеріали та вироби». Одеса, 2009. 22 с.
13. Саницкий М. А. Позняк О. Р., Лів В. В. Пінобетон на модифікованих портландцементях / VIII Міжнар. наук. конф. «Актуальні проблеми будівництва та інженерії докiлля», Львів, Кошице, Жешув, 6-11 жовт. 2003 р. : 36. матеріалів конференції. Львів : Вид-во Вісник Національного університету «Львівська політехніка», 2003. С. 23–36.
14. Mugahed Amran, Roman Fediuk, Nikolai Vatin, Yeong Hwei Lee, Gunasekaran Murali, Togay Ozbakkaloglu, Sergey Klyuev and Hisham Alabduljabber. Fibre-Reinforced Foamed Concretes: A Review / *Materials* 2020, 13, 4323; doi:10.3390/ma13194323
15. Жодзишский И. Л., Макаричев В. В. Крупнопанельные покрытия из ячеистых бетонов. Москва : Стройиздат, 1967. 144 с.
16. Жодзишский И. Л., Золотухин В. Г. Прогобы армопенобетонных плит и способы их уменьшения. Сб. «Исследование сборных и сборно-монолитных конструкций из легких и ячеистых бетонов». Госстройиздат, 1960.
17. Жодзишский И. Л. Предварительнонапряжённые железобетонные бруски со стержневой арматурой. *«Бетон и железобетон»*. 1959. № 8.
18. Макаричев В. В., Милейковская К. М. Исследование армированных конструкций из ячеистых бетонов. Москва : Госстройиздат, 1963. 99 с.
19. Journal «Beton und Fertigteile Technik» (Бетонный завод) № 01/2007.
20. Patent CN210459752 Concrete floor slab with foam concrete 2020.
21. Y.H. Mugahed Amran, Rayed Alyousef, Hisham Alabduljabbar, Fahed Alrshoudi, Raizal S.M. Rashid, Influence of slenderness ratio on the structural

performance of lightweight foam concrete composite panel, Case Studies in Construction Materials. 2019. Volume 10.

22. Залізбетонне перекриття будинку: пат. 105880 Україна. № а 2013 09264 ; заявл. 23.07.2013 ; опубл. 25.06.2014, Бюл. № 12/2014.

23. Демчина Б. Г., Литвиняк О. Я., Верба В. Б., Демчина Х. Б., Половко А. П. Конструкції з безавтоклавного пінобетону : монографія. Львів : Простір-М, 2019. 348 с.

24. O. Lytvyniak, M. Tashak. 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.

References:

1. Budowanie z betonu komórkowego. Poradnik – catalog (2005) / Stowarzyszenie producentów betonów.
2. Kryvenko P. V., Pushkoryova K. K., Baranovskyi V. B., Kochevykh M. O., Hasan Y. G., Konstantynivskiy B. Ya., Raksha V. O (2012) Construction materials science: Textbook. Kyiv: «Lira Publishing House – K», 624 p. (in Ukrainian)
3. Ruzhinsky S., Portyk A., Savynych A. (2006) Everything about foam concrete. Ed. 2nd. St. Petersburg: ООО «Stroybeton», 627 p. (in Russian)
4. Genzler M. N., Lindeberg S. A. (1936) Foam concrete worker. Leningrad-Moscow: ONTI NKTP USSR, Main edition of construction literature, 161 p. (in Russian)
5. Kaufman B. N. (1940) Production and use of foam concrete in construction. 128 p. (in Russian)
6. Kaufman B. N. (1938) Foam concrete. Selection of composition and main properties. Moscow: Ed. StroyTsNIL Glavstroylegprom People's Commissariat of Light Industry, 120 p. (in Russian)
7. Popov N. A. (1933) Production factors of strength of lightweight concrete. M.-L.: Gosstroyzdat, 104 p. (in Russian)
8. Yudovich B. E., Zubekhin S. A. (2009) Submicrocrystalline foam concrete: new in the basics of technology Part 1. *Cement and its application*, no. 2, pp. 81–85. (in Russian)
9. Zakorchemnyi Yu. O. (2004) Management of the structure and properties of foam concrete. Odesa, 22 p. (in Ukrainian)
10. Martynenko V. A. (2002) Technique for studying the porous structure of cellular concrete. *Visnik PDABTA*, no. 10, pp 51–56. (in Russian)
11. Martynov E. V. (2009) Compromise optimization of the properties of foam concrete of normal hardening. Odesa, 24 p. (in Ukrainian)
12. Orlov D. A. (2009) Peculiarities of structure formation and properties of foam concrete of non-autoclave hardening. Odesa, 22 p. (in Ukrainian)
13. Sanytskyi M. A., Pozniak O. R., Iliv V. V. (2003) Foam concrete on modified Portland cement. VIII International of science conf. «Actual problems of construction and environmental engineering», Lviv, Košice, Rzeszów, October 6-11. 2003: Coll. materials of the conference. *Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic»*, pp. 23–36. (in Ukrainian)

14. Mugahed Amran, Roman Fediuk, Nikolai Vatin, Yeong Huei Lee, Gunasekaran Murali, Togay Ozbakkaloglu, Sergey Klyuev and Hisham Alabduljabber (2020) Fibre-Reinforced Foamed Concretes: A Review / *Materials* 2020, 13, 4323; doi:10.3390/ma13194323
15. Zhodzishsky I. L., Makarichev V. V. (1967) Large-panel coatings from cellular concrete. Moscow: Stroyizdat, 144 p. (in Russian)
16. Zhodzishsky I. L., Zolotukhin V. G. (1960) Deflections of reinforced concrete slabs and ways to reduce them. «*Study of prefabricated and prefabricated-monolithic structures made of lightweight and cellular concrete*». Gosstroiizdat. (in Russian)
17. Zhodzishsky I. L. (1959) Prestressed reinforced concrete bars with bar reinforcement. «*Concrete and reinforced concrete*», no. 8. (in Russian)
18. Makarichev V. V., Mileikovskaya K. M. (1963) Study of reinforced structures made of cellular concrete. Moscow: Gosstroyizdat, 99 p. (in Russian)
19. Journal «Beton und Fertigteil Technik» № 01/2007.
20. Patent CN210459752 Concrete floor slab with foam concrete 2020.
21. Y. H. Mugahed Amran, Rayed Alyousef, Hisham Alabduljabbar, Fahed Alrshoudi, Raizal S. M. Rashid (2019) Influence of slenderness ratio on the structural performance of lightweight foam concrete composite panel. *Case Studies in Construction Materials*, vol. 10.
22. Reinforced concrete floor slab of the house: pat. 105880 Ukraine. No. a 2013 09264; statement 23.07.2013; published 25.06.2014, Bul. No. 12/2014. (in Ukrainian)
23. Demchyna B. G., Lytvyniak O. Ya., Verba V. B., Demchyna H. B., Polovko A. P. (2019) Structures from autoclaved foam concrete: monograph / edited by B. G. Demchyn. Lviv: Prostir-M, 348 p. (in Ukrainian)
24. Lytvyniak O., Tashak M. (2019) The suggestions as to the calculation bearing capacity of sandwich reinforced concrete – foamed concrete floor slabs. *Acta Polytechnica*, vol. 59, no. 1 (2019), pp. 59–66.