

В. В. Швець
М. О. Постолатій

РОЗРОБКА ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО БУДІВЕЛЬНОГО БЛОКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПІНОПОЛІСТИРОЛУ, ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ ТА ПІНОУТВОРЮВАЧА

Вінницький національний технічний університет

Запропоновано робоча гіпотеза розробки нового будівельного матеріалу на основі цементу (Ц) з використанням пінополістиролу (ППС), технічного вуглецю (ТВ) та піноутворювача (ПУ).

Розкрито питання покращення економічних та енергетичних показників будівництва за рахунок використання нового будівельного матеріалу створеного на основі синергетичного ефекту від застосування позитивних характеристик цементу, пінополістиролу, технічного вуглецю та піноутворювача та розглянуто ефективність застосування кожного з наведених матеріалів.

Виділено основні характеристики легкого заповнювача ППС як енерго- та ресурсозберігаючого нового матеріалу, виокремлено основні переваги використання технічного вуглецю як матеріалу для збільшення міцності та щільності каркасу. Розглянуто застосування піноутворюючих добавок для зменшення ваги будівельного блоку.

Ключові слова: енергоефективність, будівельна галузь, легкий бетон, пінополістирол, пінополістирол бетон, технічний вуглець, щільність, міцність, теплопровідність, піноутворювач, термічний опір, легка вага.

Вступ

За останні роки економічна, енергетична та геополітична сфери зазнали значних змін. Тому саме зараз виникає питання шляхів покращення показників та ситуації в цілому. Для запобігання критичного стану, важливим етапом є збільшення інвестицій як вітчизняного, так і зарубіжного походження. Ефективне використання інвестицій є ключовим елементом у розвитку економіки будь-якої країни. Для покращення інвестування та подальшого розвитку передових технологій на території України необхідно довести доцільність та ефективність тих чи інших розробок та напрацювань.

У зв'язку з війною в Україні, що призвела до руйнування житлово-комунальної та енергетичної структури міст, перед будівельної галуззю постала проблема зведення великих об'ємів житлового фонду з застосуванням простих та енергоефективних технологій. Будівельна галузь одна з основних та найбільших споживачів енергії серед усіх галузей економіки, тому її енергетична ефективність стає все більш важливою через екологічні обмеження та зростання вартості палива та енергії. Енергія, необхідна в будівлях, здебільшого спрямована на забезпечення теплового комфорту, тому щоб зменшити їх енергоспоживання необхідно детально розглянути питання енергоефективності та економічної доцільності тих чи інших елементів будівельної галузі.

Аналіз

Для забезпечення комфортного проживання в будівлях, температура всередині будівлі має становити в середньому $20\div 25$ °С, тому конструктивні рішення повинні забезпечувати низькі вимоги до теплопередачі. Для того, щоб зменшити передачу температури від будівлі ззовні до середини, та зберегти міцнісні характеристики було запропоновано певні традиційні методи, такі як: будівництво суцільної цегляної стіни та встановлення додаткових шарів теплоізоляція (шар пінопласту, ізоляційна фарба або використання пустотілої цегли тощо. Проте ці рішення збільшать трудомісткість, терміни будівництва та витрати.

Сучасні ефективні технології зведення будівель йдуть в ногу з технологічним прогресом, що провокує зменшення уваги до конструкцій та матеріалів. Тому на сьогоднішній день актуальним є питання виявлення матеріалів, що користуються найбільшим попитом в будівництві. Найчастіше при зведенні будівель використовують цеглу в 48,3 % випадків (рис. 1) [1].

Основою такого попиту є значна міцність та довговічність цього будівельного матеріалу. В 21 % випадків будівництва використовують деревину тому, що воно має певні властивості, які чинять опір механічним впливам, таким як: стиск, вигин, розтяг. 18,7 % будівництва відбуваються з використанням блоків (піно-газо-полістеролбетону та інші). Ця технологія має переваги в екологічності, енергоефективності та має меншу собівартість при зведенні в порівнянні з іншими матеріалами. Найменшим попитом в будівництві користуються помешкання з каменю або моноліту – 7,8 % випадків.

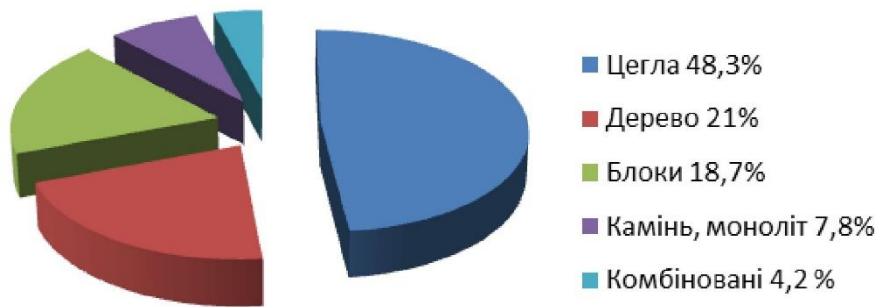


Рисунок 1 – Діаграма використання будівельних матеріалів [1]

Найоптимальнішим та найпопулярнішим рішенням будівельних організацій для підвищення теплотехнічних показників є зведення будівель з блоків з підвищеними показниками теплоізоляції: газобетонні, пінобетонні, полістиролбетонні, керамзитобетонні, а також саман та арболіт. До таких сучасних рішень утеплення відноситься використання цегляних блоків з нового матеріалу – легкого бетону (ЛБ), який має значний термічний опір та витримує навантаження, що діють на зовнішні стіни будівель.

Легкі бетони успішно застосовуються в будівництві, завдяки своїй низькій щільності. ЛБ є важливим матеріалом для зменшення власної ваги бетону, що відповідає спеціальному бетону конструкції висотних будинків. Для виробництва легкого бетону можна використовувати кілька видів неорганічних легкі заповнювачів, такі як керамзит, агроперліт, або органічні легкі заповнювачі, як кульки з пінополістиролу (ППС) [2].

ППС, також відомий як спінений полістирол, є типом стабільної полімерної піни з полістиролу з наднизькою щільністю, що складається з дискретних повітряних пустот у полімерній матриці, як показано на рис. 2.



Рисунок 2 – Спінений полістирол.

Останнім часом у багатьох технічних публікаціях йдеться про введення гранул ППС у матеріали на основі цементу. У цих технічних публікаціях наголошувалося на використанні гранул ППС як часткової або повної заміни крупних і дрібних заповнювачів.

На даний момент полістирольні кульки є відходами. Багато промислових продуктів упаковують у полістирол, який поглинає удари та має низьку теплопровідність. Ці відходи можна збирати та використовувати для виробництва бетонних панелей на основі полістиролу - це ефективний спосіб утилізації ППС, що не піддається біологічному розкладу, уникаючи відкритого звалища [3].

Легкий бетон з пінополістиролом (ППС) використовується вже кілька десятиліть. ППС призначений для зменшення конструкційної ваги матеріалу для збірних і збірних конструкцій з покращеною тепло-/звукоізоляцією. В першу чергу валик ППС був частково замінений як крупним, так і дрібним заповнювачем. Продуктивність, працездатність, механічні властивості та довгострокова продуктивність були проаналізовані та проінформовані. Крім того, обговорювалися такі функціональні можливості, як вологоізоляція, теплоізоляція та звукоізоляція матеріалу.

Хоча гранули ППС мають сферичну форму та закриту комірчасту структуру з приблизно 98% повітря і мають гідрофобну природу, їх можна легко додавати з цементною пастою в розчин або

бетонні суміші для отримання конструкційного легкого цементу. Щільність кульок ППС коливається від 12 до 35 кг/м³. Коли кульки ППС змішували в умовах високої лужності (pH > 8,5), таких як розчин цементу, хімічні та токсичні речовини могли легко вивільнитися. На відміну від інших легких заповнювачів, кульки ППС не мають недоліку водопоглинання через морфологію закритих пор. Висока водопоглинаюча здатність або ускладнює виробництво цементних сумішей, або знижує міцність на стиск через занадто великий вміст води. Однак високий вміст води може відігравати роль внутрішнього джерела затвердіння, що дозволяє покращити продуктивність кінцевого продукту [4].

Завдяки поєднанню теплоізоляційного матеріалу, яким є полістирольні гранули та бетону в одному продукті вдається отримати оптимальну комбінацію характеристик для будівельного матеріалу – стійкість до гниття, гідрофобність, найвищі показники несучих характеристик, теплоізоляції, вогнезахисту, звукопоглинання, морозостійкості і періодів замерзання / розморожування (термін експлуатації). Нещодавні дослідження були зосереджені на матеріалах на основі цементу з переробленими гранулами ППС, де було піднято питання використання даного матеріалу у цілях покращення екологічної ситуації та вирішення проблеми якості повітря.

Ще одним важливим елементом для покращення теплотехнічних характеристик легкого бетону є використання технічного вуглецю. Технічний вуглець (Carbon black) – це широковідомий компонент, що використовується як підсилювальний наповнювач у виготовленні протекторних шин для автомобілів та виробів із гуми, як чорний пігмент у поліграфічній галузі та електропровідна складова у електрохімічній промисловості.

На початку розвитку виробництва цього продукту, його називали «сажею», що на сьогодні не має нічого спільного з технічним вуглецем (ТВ), оскільки сучасне виробництво технічного вуглецю – автоматизоване. Сучасні засоби автоматизації забезпечують контроль та керування більшістю технологічних змінних, результатом чого є продукт з визначеними характеристиками якості. Сажа ж є продуктом, що утворюється при відхиленні режимних параметрів від заданих технологічних норм.

Міжнародна спільнота вчених довгий час працювала над розробкою оперативного методу визначення розмірів частинок ТВ. Однією з відправних точок у пошуку вирішення цієї проблеми, стало винайдення у 1980-х роках діагностики розмірів частинок сажі методом лазерного розжарювання (Laser-Induced Incandescence – LI). Доцільність вимірювання дисперсності можна пояснити тим, що вона є основною морфологічною властивістю технічного вуглецю, яка формується саме в реакторі. Дисперсність визначають враховуючи міжнародний стандарт якості ASTM International (American Society for Testing and Materials), який співпрацює разом із міжнародною організацією зі стандартизації ISO (International Organization for Standardization).

Однією з перспективних на нових технологій застосування ТВ є його використання у якості наповнювача у полімерних композитних матеріалах (ПКМ). Полімерні матриці, наприклад, часто використовуються в легких та гнучких композитах, які мають високу стійкість до корозії і зносу. Одна з ключових функцій матриці – це розподіл навантаження на всю поверхню наповнювачів, таким чином, що напруга рівномірно розподіляється вздовж всього композиту.

Найменші частинки технічного вуглецю мають складну структуру, що складається з псевдографітового кристалічного вуглецю і аморфного вуглецю. Частинки ТВ складаються в ланцюжок і складають складні розгалужені графітові структури. Величина частинок ТВ коливається в середньому в діаметрі від 9 до 320 нм. На поверхні частинок ТВ утворюються різноманітні функціональні групи: гідроксильні, карбонатні і тд.. При отриманні модифікованої форми технічного вуглецю відбувається його часткове окислення повітрям в тонкому шарі і при цьому кислотомісні групи міцно адсорбуються на поверхні частин ТВ.

У роботі Р.В. Дінжос, Н.М. Фіалко, Е.А. Лисенкова [5] як полімерну матрицю для дослідження використовували промисловий поліетилен (ПЕ) (виробник: SABIC®HDPE. Company Eurotrubplast Holding Company Ltd Trusthose) та композити, які містили до 2,5 мас. % технічного вуглецю (ТВ). Частинки технічного вуглецю мають розмір 100-120 нм. Питома поверхня 10-25 м²/г. Для опису процесів теплопереносу в ПКМ необхідно знати залежність ефективної теплопровідності наповненого полімеру від геометрії, орієнтації, фізикохімічних особливостей взаємодії, теплофізичних параметрів, концентрації та розподілення вхідних в композицію компонентів. Для опису процесів теплопереносу в ПКМ необхідно знати залежність ефективної теплопровідності наповненого полімеру від геометрії, орієнтації, фізико-хімічних особливостей взаємодії, теплофізичних параметрів, концентрації та розподілення вхідних в композицію компонентів.

Авторами статті було проведено дослідження залежності коефіцієнту теплопровідності від процентного вмісту технічного вуглецю (рис 3).

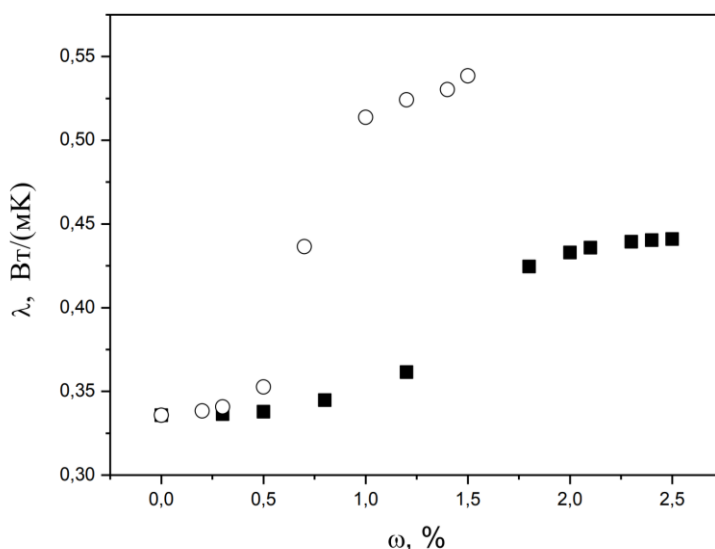


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнту теплопровідності від процентного вмісту ТВ (квадрати) [6]

З літературних даних [6] відомо, поверхня частинок володіє шорсткістю, за рахунок наповзань одного шару на інший, що в подальшому при використанні ТВ як наповнювача забезпечить щільність та міцність новоутвореного матеріалу. Грубо кажучи, ТВ можна рахувати бетонов'яжучою речовиною, тобто непереривною матрицею, яка заповнює міжзернистий простір суміші крупного і мілкого заповнювача, а також склеює і робить монолітом зерна каркасу. За рахунок високої дисперсності і великої питомої поверхності вуглецю для досягнення даних умов необхідна незначна кількість твердої добавки у порівнянні зі звичайними добавками. Технічний вуглець має низьку насипну щільність в щільному стані (508 кг/м³), високою пористістю (74,3 об. %). Істинна щільність ТВ дорівнює 1978 кг/м³, питома адсорбція поверхні – 200 м²/г, питома зовнішня поверхня – 175 м²/г [7].

За рахунок такої комбінації (бетон + пінополістирол + технічний вуглець) можна отримати міцний, зносостійкий та теплий, але відносно важкий за вагою, будівельний матеріал. Для того, щоб запобігти збільшенню ваги, пропонується застосувати піноутворюючі добавки. Такі добавки допомагають досягти пористої структури та покращують стабілізацію процесу твердіння бетону. В результаті застосування даної методики на виході отримаємо легкий, міцний та теплий матеріал.

На основі аналізу потреб ринку будівельних матеріалів запропоновано конструкцію термоблока [рис. 4, зразок 4], який містить в собі цементний каркас, ППС у ролі заповнювача для забезпечення теплоізоляції, технічний вуглець у якості наповнювача для забезпечення міцності та піноутворюючі добавки для зменшення ваги отриманого блоку.

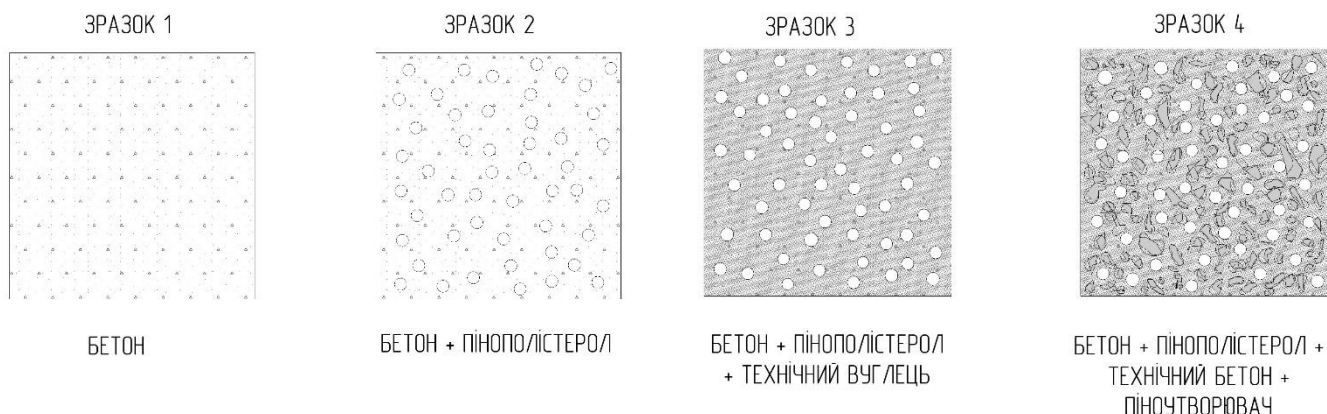


Рисунок 4 – Варіанти будівельних блоків в залежності від наповнення

В результаті отримуємо блок, який має переваги над традиційними матеріалами. Легка вага, низька проникність для хлоридів, невбираюча й гідрофобна природа мають відносно значення серед таких характеристик [8]. До основних переваг пінополістиролбетону з використанням ТВ як наповнювача відносять:

- високі теплоізоляційні та звукоізоляційні властивості;
- відносно низьку вагу, в порівнянні з бетоном, що спрощує транспортування, обробку та укладання матеріалу;
- екологічну чистоту;
- економічну вигідність та швидкий ріст популярності.

Використання запропонованого блоку скоротить тривалість проведення будівельних процесів на майданчику, що в свою чергу зменшить вартість даних робіт.

Висновок

Робоча гіпотеза наших досліджень ґрунтується на синергетичному ефекті використання таких особливостей матеріалів: міцності та в'язучих властивостей цементу, низької ваги та теплотехнічних показників ППС, широкий діапазон частинок ТВ за розмірами та їх шорстка поверхня (дозволяє формувати щільну і міцну структуру виробу) та здатність піноутворювача насичувати виріб повітрям (зменшує вагу виробу та збільшує термічний опір).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Швець В. В., Слівінський В. В., Козак В. Ю. Технічні особливості використання теплоізоляційних будівельних матеріалів XLIX Науково-технічна конференція, Вінниця, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9946>.
2. Лам Т.В., Ву Д., Зиен В., Булгаков Б.И., Король Е.А. Властивості та теплоізоляційні ефективності легких бетонів // Інженерно-будівельний журнал. 2018. № 8(84). С. 173–191.
3. DPP Meddage та MTR Jayasinghe, «Використання легких бетонних панелей на основі ППС як ізоляційного матеріалу даху для системи плит NERD», в ICSBE 2020, Сінгапур, 2022, стор. 375–384. doi: 10.1007/978-981-16-4412-2_28.
4. K.Ganesh Babu, D.Saradhi Babu, Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 5, 2003, Pages 755-762, ISSN 0008-8846, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01055-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01055-4).
5. Дінжос Р. В. Аналіз теплопровідності полімерних наноккомпозитів наповнених вуглецевими нанотрубками та технічним вуглецем / Р. В. Дінжос, Н. М. Фіалко, Е. А. Лисенков // Журнал nano- та електронної фізики. - 2014. - Т. 6, № 1. - С. 01015(6). - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/jnef_2014_6_1_17.
6. Z. Han, A. Fina, Prog. Polym. Sci. 36, 914 (2011).
7. А.В. Малезник, Журнал прикладной химии. 78, 938 (2005).
8. Lapyote Prasittisopin, Pipat Termkhajornkit, Young Hoon Kim, Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects, Journal of Cleaner Production, Volume 366, 2022, 132919, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132919>.

REFERENCES

1. Shvezc V.V., Slivins`kyj V.V., Kozak V.Yu. Tehnichni osoblyvosti vykorystannya teploizolyacijnyh budivel`nyh materialiv XLIX Naukovo-technichna konferenciya, Vinnycya, 2020. [Elektronnyj resurs]. Rezhym dostupu do resursu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2020/paper/view/9946>.
2. Lam, T.V., Vu, D.T., Dien, V.K., Bulgakov, B.I., Korol, E.A. Properties and thermal insulation performance of lightweight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2018. 84(8). Pp. 173–191. doi: 10.18720/MCE.84.17.
3. DPP Meddage та MTR Jayasinghe, «Використання легких бетонних панелей на основі ППС як ізоляційного матеріалу даху для системи плит NERD», в ICSBE 2020, Сінгапур, 2022, стор. 375–384. doi: 10.1007/978-981-16-4412-2_28.
4. K.Ganesh Babu, D.Saradhi Babu, Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume, Cement and Concrete Research, Volume 33, Issue 5, 2003, Pages 755-762, ISSN 0008-8846, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01055-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01055-4).
5. Dinzhos, R.V. Thermal conductivity analysis of polymer nanocomposites filled with carbon nanotubes and technical carbon / R.V. Dinzhos, N.M. Fialko, E.A. Lysenkov // Journal of nano- and electronic physics. - 2014. - Vol. 6, No. 1. - P. 01015(6). - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/jnef_2014_6_1_17.
6. Z. Han, A. Fina, Prog. Polym. Sci. 36, 914 (2011).
7. A.V. Malezhik, Journal of Applied Chemistry. 78, 938 (2005).
8. Lapyote Praittisopin, Pipat Termkhajornkit, Young Hoon Kim, Review of concrete with expanded polystyrene (EPS): Performance and environmental aspects, Journal of Cleaner Production, Volume 366, 2022, 132919, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132919>.

Віталій Вікторович Швець – к.т.н., доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: vitalshv@i.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Постолатій Маріанна Олександрівна – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету. E-mail: postolatiu@gmail.com.

V. Shvets
M. Postolatii

DEVELOPMENT OF A HIGH-PERFORMANCE BUILDING BLOCK USING POLYSTYRENE FOAM, ENGINEERED CARBON AND FOAMING FORM

Vinnitsa National Technical University

A working hypothesis for the development of a new construction material based on cement (C) using expanded polystyrene (PPS), technical carbon (TC) and foaming agent (PU) is proposed.

The issue of improving the economic and energy indicators of construction due to the use of a new building material created on the basis of the synergistic effect of the use of positive characteristics of cement, expanded polystyrene, technical carbon and foaming agent is discussed, and the effectiveness of the use of each of these materials is considered.

The main characteristics of lightweight PPS aggregate as an energy- and resource-saving new material are highlighted, the main advantages of using technical carbon as a material for increasing the strength and density of the frame are highlighted. The use of foaming additives to reduce the weight of the building block is considered.

Key words: expanded polystyrene concrete blocks, PPS, brickwork, thermal conductivity, energy efficiency, economic feasibility, heat engineering potential, multi-criteria evaluation.

Vitaliy Shvets – Ph.D., associate professor of urban planning and architecture, Vinnytsia National Technical University. E-mail: vitalshv@i.ua. ORCID: 0000-0002-2748-3685.

Marianna Postolatii – post graduate student of the department of construction, urban and architecture of Vinnytsia national technical university. E-mail:postolatiu@gmail.com.