

В. В. Швець
М. О. Постолатій
М. Я Жиловський

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГКОБЕТОННИХ ВИРОБІВ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ

Вінницький національний технічний університет

Розглянуто питання покращення теплотехнічних та механічних характеристик будівельних виробів за рахунок введення до складу суміші для їх приготування пінополістиролу, технічного вуглецю та піноутворювача. Проведено порівняння основних теплотехнічних показників будівельних матеріалів, розглянуто варіанти добавок та заповнювачів для нового матеріалу.

Розглянуто варіанти комбінування наповнювачів для забезпечення щільності та міцності новоутвореного матеріалу. Розглянуто основні марки технічного вуглецю та їх характеристики.

Розглянуто дію пластифікуючих добавок на зменшення витрат води та цементу. Досліджено проблематику створення нового економічно доцільного і енергоефективного нового будівельного матеріалу, перспективність використання пінополістиролу та технічного вуглецю для підвищення загальної ефективності будівельних матеріалів.

Ключові слова: легкий бетон, пінополістиролбетон, технічний вуглець, щільність, міцність, піноутворювач, ПАР, термічний опір, коефіцієнт теплопровідності, цементна паста, теплофізичні характеристики.

Вступ

Одним із перспективних сучасних теплоізоляційних рішень є створення та використання блоків з нового матеріалу – легкого бетону (ЛБ), який має низькі показники теплопровідності та здатний витримувати навантаження, що діють на стіни будівель.

Легкі бетонні блоки успішно застосовуються в будівництві, але технології їх виготовлення застарілі та потребують удосконалення, також важливим аспектом є покращення тепло-технічних властивостей блоків у зв'язку з підвищенням нормативних вимог. Один з основних напрямків вдосконалення блоків з легких бетонів – використання різноманітних заповнювачів. На сьогоднішній день для легких бетонів можна використовувати не лише (традиційні) мінеральні, але й органічний – кора, стружка чи гранульований пінополістирол (ППС). [1] Все частіше на ринку будівельних матеріалів можна зустріти бетонні блоки саме з добавками пінополістирольних кульок.

Аналіз

Легкий бетон з пінополістиролом (ППС) використовується протягом кількох десятиліть. ППС призначений для зменшення конструкційної ваги матеріалу для збірних конструкцій з покращеною тепло-/звукоізоляцією. 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 (рН > 8,5), таких як розчин цементу, хімічні та токсичні речовини могли легко вивільнитися [1]. 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 [2].

До основних переваг пінополістирол бетонних блоків належать: вартість метра квадратного стіни нижча в 1,5-1,7 рази; трудоемність зведення стіни нижча в 1,5-2 рази; економічність та комфорт при повній екологічній безпеці; конструкція стіни в 30 см еквівалентна по теплопровідності стіни з цегли, товщиною 1,8 м; висока технологічність будівництва, блоки легко піддаються обробці. При порівнянні пінополістиролбетонних блоків з пінобетоном та газосилікатом, то існує ряд переваг: при однакових марках на 20% міцніше вищенаведених матеріалів; краще працює на розтяг та згин; в умовах експлуатації вміст вологи в пінополістирол бетоні в 5 разів менший, тому в конструкціях з даного матеріалу відсутні мікроорганізми; теплопровідність вдвічі менша ніж у пінобетону та газосилікату, при цьому показники кращі навіть ніж у дерева – дані конструкції на 0,015 Вт/мк тепліше дерев'яних; морозостійкість марки Д500 на 50% вища ніж у пінобетону та газосилікату тієї ж марки; даний матеріал не боїться розчинників, бензину, масел, слабких розчинів кислот та лугів. Дослідивши пінополістирол

бетон як будівельний матеріал, можна виокремити основні його характеристики: відноситься до важко горючих матеріалів, належить до групи горючості Г1; густина – від 150 до 600 кг/м³; морозостійкість – від F100 і більше; міцнісні характеристики – від B0,5 до B2 (500-600 кг/м³); межа міцності на розтяг – клас B12,5 (для легких бетонів на пористих заповнювачах); коефіцієнт теплопровідності в межах 0,55-0,12 Вт/м·°C. Узагальнені показники міцності, теплопровідності та густини пінополістирол бетону наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Узагальнені показники міцності, теплопровідності та густини пінополістирол бетону

| Густина (кг/м ³) | Коефіцієнт теплопровідності Вт/(м·°C) | Міцність на стиск кг/м ³ |
|---------------------------------|---|--|
| D250 | 0,075 | 6,55 |
| D300 | 0,085 | 8,55-9,16 |
| D350 | 0,095 | 11,55-13,10 |
| D400 | 0,100 | 15,65-18,6 |
| D450 | 0,115 | 17,10-19,6 |
| D500 | 0,125 | 22,65-25,70 |
| D550 | 0,135 | 27,55-29,70 |
| D600 | 0,145 | 30,25-32,70 |

Деякі дослідження показали важливість використання також і золи-виносу в бетоні, що може заощадити значну кількість енергії та загальні витрати на виробництво цементу. Наприклад, у цих дослідженнях [3, 4] йдеться про використання гранул ППС як у бетоні, так і в розчині, що містить оброблену та необроблену золу-виношення. У них зазначено, що бетонні суміші з ППС, виготовлені з обробленої золи-виношення, мають нижчі показники водопоглинання та кращу хімічну стійкість порівняно зі звичайним бетоном [1].

Але при аналізуванні даних виявлено, що замість золи-виносу економічно вигідніше та доцільніше використовувати технічний вуглець. 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. Найменші частинки технічного вуглецю мають складну структуру, що складається з псевдографітового кристалічного вуглецю і аморфного вуглецю. Величина частинок ТВ коливається в середньому в діаметрі від 9 до 320 мкм. На поверхні частинок ТВ утворюються різноманітні функціональні групи: гідроксильні, карбонатні, тощо. 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. З літературних даних [5] 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. ТВ можна рахувати бетонов'язучою речовиною, тобто неперервною матрицею, яка заповнює міжзернистий простір суміші крупного і мілкого заповнювача, а також склеює і робить монолітом зерна каркасу [6]. У таблиці 2 наведено наступні марки технічного вуглецю.

Для покращення фізико-технічних характеристик бетонів застосовують також різноманітні піноутворювачі. Великий вплив на властивості бетону, крім сировинних матеріалів, з яких він виготовляється, має вид піноутворювача та технологічні особливості його введення.

Поверхнево-активні речовини (ПАР, сурфактанти, детергенти) – хімічні речовини, молекули або йони яких концентруючись під дією молекулярних сил (адсорбуючись) біля поверхні розділу фаз (рідина (вода) – повітря (пара), рідина (вода) – рідина (масло), рідина – тверда поверхня), знижують поверхневу енергію, поверхневий натяг рідини, полегшують розтікання. До прикладу, у технології виготовлення ніздрюватих бетонів, ПАР використовуються як піноутворюючі добавки. [7, 8].

Молекули ПАР, адсорбуючись на поверхні розділення «повітря – вода», знижують поверхневий натяг води (розклинюючий ефект) [9] і стабілізують дрібні бульбашки повітря в цементному тісті. Це дозволяє регулювати структуроутворення суміші і покращує її стійкість.

Марки технічного вуглецю та їх коротка характеристика

| № | Назва | Характеристика |
|----|-------|--|
| 1 | П245 | пічний, високоактивний, отримується при термоокислюючому розпаді рідкої вуглецевої сировини, з високим показником дисперсності та структурності; |
| 2 | П234 | пічний, активний, отримується при термоокислюючому розпаді рідкої вуглецевої сировини, з високим показником дисперсності та середнім показником структурності; |
| 3 | К354 | каналний, активний, одержаний у дифузійному полум'ї при термоокислювальному розкладі природного газу, з високим показником дисперсності та низьким показником структурності; |
| 4 | П324 | пічний, активний, отримується при термоокислюючому розпаді рідкої вуглецевої сировини, з високим показником дисперсності та середнім показником структурності; |
| 5 | П514 | пічний, активний, отримується при термоокислюючому розпаді рідкої вуглецевої сировини, з середнім показником дисперсності та середнім показником структурності; |
| 6 | П701 | напівактивний, отримується при термоокислюючому розпаді природного газу в чистому вигляді або з добавками рідкої вуглецевої сировини, з низьким показником дисперсності та низьким показником структурності; |
| 7 | П702 | пічний, напівактивний, отримується при термоокислюючому розпаді рідкої вуглецевої сировини, з низьким показником дисперсності та низьким показником структурності; |
| 8 | П705 | пічний, напівактивний, отримується при термоокислюючому розпаді рідкої вуглецевої сировини, з низьким показником дисперсності та високим показником структурності; |
| 9 | П803 | пічний, малоактивний, отримується при термоокислюючому розпаді рідкої вуглецевої сировини, з низьким показником дисперсності та середнім показником структурності; |
| 10 | Т900 | малоактивний, отримується при термоокислюючому розпаді природного газу, з низьким показником дисперсності та низьким показником структурності. |

Пластифікуюча дія добавок ПАР полягає в зменшенні витрати води, а отже і цементу, при виготовленні розчинів. Піноутворюючі ПАР дозволяють отримувати пінобетонні суміші з рівномірно розподіленими порами у вигляді сферичних пухирців, діаметром 1...3 мм і обсягом – 80...85%. Найпоширенішими є синтетичні піноутворювачі, отримані омиленням (обробкою лугом) білків, жирних, смоляних, нафтових і нафтових кислот. Для таких піноутворювачів потрібно використовувати стабілізатор піни – столярний клей, сульфати алюмінію, заліза. На відміну від повітровтягуючих добавок, які спричиняють утворення мікропористої структури цементного каменю, піноутворюючі добавки викликають утворення в цементному камені замкнених макропор з розмірами від 0,1 мм до кількох міліметрів. Виробництво ефективного по теплофізичних параметрах пінобетону є проблемним через складність забезпечення стабільності ніздрюватої структури при високій пористості і постійній щільності, що забезпечується лише за рахунок підвищення міцності матриці поризованого матеріалу й створення оптимальної пористої структури матеріалу [10].

Забезпечення міцності неорганічної матриці можливо шляхом підвищення хімічної активності в'язучого, зниження водоцементного відношення, використання механохімічної активації в'язучого. Створення оптимальної пористої структури залежить від кратності й стійкості піни у високомінералізованих цементних пастах [11], що вирішується спеціальними технологічними прийомами утворення та/або введення вже готової піни до розчинової суміші, а також підбором оптимальної ПАР.

Висновки

За рахунок використання таких матеріалів як: пінополістирольні гранули, технічний вуглець, піноутворювач можемо досягти значного покращення основних теплотехнічних характеристик нового матеріалу на основі легкого бетону, тобто сформувати щільну та міцну структуру виробу, зменшити його вагу та збільшити термічний опір створених блоків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Magazine of Civil Engineering, No. 8, 2018 Lam, T.V., Vu, D.T., Dien, V.K., Bulgakov, B.I., Korol, E.A. Properties and thermal insulation performance of light-weight concrete. Magazine of Civil Engineering. 2018. 84(8). Pp. 173–191. doi: 10.18720/MCE.84.17.
- 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).
- Lam Tang Van, Tho Vu Dinh, Dien Vu Kim, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., Bazhenova S.I. Combined Effects of Bottom Ash and Expanded Polystyrene on Light-weight Concrete Properties, MATEC Web of Conferences 251, 01007. 2018. DOI: 10.1051/matecco nf/201825101007.
- Ganesh Babu D., Ganesh Babu K., Wee T.H. Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash. Cem. Concr. Res. 2005. Vol. 35(6). Pp. 1218–1223. DOI: 10.1016/j. cemconres.2004.11.015.
- Z. Han, A. Fina, Prog. Polym. Sci. 36, 914 (2011).
- М.О. Постолатій Розробка високоефективного будівельного блоку з використанням пінополістиролу, технічного вуглецю та піноутворювача/ В.В. Швець, М.О. Постолатій// Науково-технічний журнал “Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві” Вінниця, ВНТУ, 2023.
- ДСТУ Б В.2.7-70-98 Матеріали будівельні. Метод випробування на розповсюдження полум'я (ГОСТ 30444-97). [Чинний 01.01.1999]Центральний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій ім. В. А. Кучеренко (ЦНДІБК ім. В. А. Кучеренко), 1998.
- Шабанова Г.М. Теплоізоляційно-конструкційний пінобетон з підвищеними експлуатаційними характеристиками. / Г.М. Шабанова, О.П. Васильчук, А.М. Корогодська, О.О. Гапонова, Ф.А. Васютін, Т.С. Бондаренко // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск “Хімія, хімічна технологія та екологія” Збірник наукових праць. 2009. Випуск № 40. С. 169-176.
- Розширений дрібнозернистий бетон для ремонту магістральних трубопроводів високого тиску / Л. Я. Парашук, Я. Б. Якимечко, Б. С. Білобран, Р. Я. Якимечко // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2010. № 664 : Теорія і практика будівництва. С. 144–149. Бібліографія: 6 назв.
- Бондар В. О. Дослідження впливу пластифікаторів, що сповільнюють тужавіння на міцність бетону : кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю „192 будівництво та цивільна інженерія“ / В. О. Бондар. Тернопіль : ТНТУ, 2021. 73 с. Гельфман М.И. Коллойдная химия / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов. [4-е изд.]. М.: Лань, 2008. 336 с.
- Римар Т. Е. Вплив термореактивних добавок на властивості гранульованих теплоізоляційних матеріалів на основі рідкого скла / Т. Е. Римар, О. В. Суворін // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. Нові рішення в сучасних технологіях: зб. наук. пр. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : New solutions in modern technology : coll. of sci. papers. Харків : НТУ "ХПІ", 2020. № 1 (3). С. 106-114.

REFERENCES

- Journal of Civil Engineering, No. 8, 2018 Lam, T.V., Vu, D.T., Dien, V.K., Bulgakov, B.I., Korol, E.A. Properties and thermal insulation performance of light-weight concrete. Journal of Civil Engineering. 2018. 84(8). Pp. 173-191. doi: 10.18720/MCE.84.17.
- K.Ganesh Babu, D.Saradhi Babu, Behavior 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).
- Lam Tang Van, Tho Vu Dinh, Dien Vu Kim, Bulgakov B.I., Aleksandrova O.V., Bazhenova S.I. Combined Effects of Bottom Ash and Expanded Polystyrene on Light-weight Concrete Properties, MATEC Web of Conferences 251, 01007. 2018. DOI: 10.1051/matecco nf/201825101007.
- Ganesh Babu D., Ganesh Babu K., Wee T.H. Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash. Cem. Concr. Res. 2005. Vol. 35(6). Pp. 1218-1223. DOI: 10.1016/j. cemconres.2004.11.015.
- Z. Han, A. Fina, Prog. Polym. Sci. 36, 914 (2011).
- Postolatii M.O. Development of a highly efficient building block using expanded polystyrene, carbon black and foaming agent / V.V. Shvets, M.O. Postolatii // Scientific and technical journal "Modern technologies, materials and structures in construction" - Vinnytsia, VNTU, 2023.
- DSTU B V.2.7-70-98 Construction materials. Test method for flame spread (GOST 30444-97). [In force 01.01.1999] Central Research Institute of Building Structures named after V. A. Kucherenko (CRISBK named after V. A. Kucherenko), 1998.
- Shabanova G.M. Thermal insulation and structural foam concrete with increased performance characteristics / G.M. Shabanova, O.P. Vasylichuk, A.M. Korogodska, O.O. Gaponova, F.A. Vasyutin, T.S. Bondarenko // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Thematic issue "Chemistry, chemical technology and ecology" Collection of scientific papers. - 2009. - Issue № 40. - P. 169-176.
- Expanded fine-grained concrete for the repair of high-pressure main pipelines / L. Parashchuk, Y. Yakimechko, B. Bilobran, R. Yakimechko // Bulletin of Lviv Polytechnic National University. - 2010. - No. 664: Theory and practice of construction. - P. 144-149. - Bibliography: 6 titles.
- Bondar VO Study of the influence of plasticizers that slow down the hardening on the strength of concrete: master's thesis in the specialty "192 - Civil Engineering and Civil Engineering" / VO Bondar: TNTU, 2021. 73 p. Gelfman M.I. Colloidal chemistry / M.I. Gelfman, O.V. Kovalevych, V.P. Yustratov.
- Influence of thermosetting additives on the properties of granular thermal insulation materials based on liquid glass / T. E. Ryamar, O. V. Suvorin // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : New solutions in modern technology : a collection of scientific papers = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : New solutions in modern technology : coll. of sci. papers: NTU "KHPI", 2020. - NO. 1 (3). - PP. 106-114.

Віталій Вікторович Швець – к.т.н., доцент, завідувач кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет. E-mail: v.shvets@vntu.edu.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. ORCID:0009-0008-1054-1018.

Жиловський Максим Ярославович – студент факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

V. Shvets
M. Postolatii
M. Zhylovskyy

IMPROVING THE THERMAL PERFORMANCE OF LIGHTWEIGHT CONCRETE PRODUCTS THROUGH THE USE OF CARBON BLACK

Vinnitsa National Technical University

The article considers the issue of improving the thermal and mechanical characteristics of building products by introducing polystyrene foam, carbon black, and foaming agent into the mixture for their preparation. A comparison of the main thermal performance of building materials is made, and options for additives and aggregates for the new material are considered. Several approaches to improving the thermal insulation properties of the material through the optimal combination of different additives are proposed.

The main thermal engineering characteristics for improvement, such as density, frost resistance, strength, thermal conductivity, and energy efficiency, are highlighted. The options for combining fillers to ensure the density and strength of the newly formed material are considered. The influence of expanded polystyrene on reducing the weight of building material and, as a result, on reducing the load on foundations is studied. The main grades of carbon black and their main characteristics are considered. The influence of different types of carbon black on thermal conductivity and overall resistance of the material to loads is investigated. Methods for ensuring the strength of the inorganic matrix by increasing the chemical activity of the binder, reducing the water-cement ratio, and using mechanochemical activation of the binder are studied. The influence of the type of foaming agents and their technological features on the properties of concrete is investigated.

The effect of plasticizing additives on reducing water consumption and, as a result, cement consumption is considered. The problems of creating a new economically feasible and energy-efficient new building material and the prospects of using expanded polystyrene and carbon black to improve the overall efficiency of building materials are investigated. The possibilities of reducing energy consumption in the production of new building materials are analyzed.

Key words: *lightweight concrete, expanded polystyrene concrete, technical carbon, density, strength, foaming agent, surfactant, thermal resistance, thermal conductivity, cement paste, thermal characteristics..*

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. ORCID:0009-0008-1054-1018.

Maksym Zhylovskyy – student of Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia