

13. A. Drews, A. C. de Keizer, H. G. Beyer et al., "Monitoring and remote failure detection of grid-connected PV systems based on satellite observations," *Solar Energy*, vol. 81, no. 4, pp. 548–564, 2007.
14. S. Silvestre, M. A. D. Silva, A. Chouder, D. Guasch, and E. Karatepe, "New procedure for fault detection in grid connected PV systems based on the evaluation of current and voltage indicators," *Energy Conversion and Management*, vol. 86, pp. 241–249, 2014.
15. G. T. Klise and J. S. Stein, "Mode used to assess the performance of photovoltaic systems," Tech. Rep., Sandia National Laboratories, 2009.
16. A. Chouder and S. Silvestre, "Automatic supervision and fault detection of PV systems based on power losses analysis," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, no. 10, pp. 1929–1937, 2010.
17. A. Mellit and S. Shaari, "Recurrent neural network-based forecasting of the daily electricity generation of a Photovoltaic power system," in *Proceedings of the Ecological Vehicle and Renewable Energy (EVER '09)*, pp. 26–29, Monte-Carlo, Monaco, March 2009.
18. A. Mellit and S. A. Kalogirou, "Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications: a review," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 34, no. 5, pp. 574–632, 2008.

Рукопис подано до редакції 10.04.2019

УДК 666.97

Л.М. КОВЕРНІЧЕНКО, канд. техн. наук, доц., О.П. ХІЛЬЧЕНКО, ст. викл.
Криворізький національний університет

БЕТОНИ НА ШТУЧНОМУ ПОРИСТОМУ ЗАПОВНЮВАЧІ – АКТИПОРОРИТУ ІЗ ТЕХНОГЕННИХ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ КРИВОГО РОГУ

Мета. Метою дослідження є отримання штучного пористого заповнювача виготовленого із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу високої якості з порівняно низькою енергоємністю та бетонові на його основі.

Сучасний напрямок у виробництві будівельних конструкцій ґрунтується на застосуванні легких і полегшених бетонів, для виробництва яких необхідно використовувати легкі заповнювачі.

Сьогодні будівельні матеріали і вироби виготовляють, в основному, з природної сировини і рідше з побічних продуктів промисловості. Проте, щорічно здобич у великих кількостях сировини за наявності взаємозамінних техногенних відходів інших галузей промисловості погіршує екологічну обстановку. Техногенні відходи – це відходи виробництва, які шкідливо впливають на життєдіяльність людини та навколишнє середовище. Тому, що часто відходи підприємств викидають на звалище, оскільки не вважається потрібним їх використання в індустрії будівельних матеріалів.

Методи. Для вирішення цієї мети застосовувалися стандартні та спеціальні методи для визначення й дослідження властивостей компонентів та складу шихти, а також сировинних гранул заповнювача. Для обробки результатів експериментів використовували статистичний аналіз.

Наукова новизна. Проведенні наукові дослідження дали змогу розробити технологію виготовлення штучного пористого заповнювача – актипорориту на основі техногенних промислових відходів.

Практична значимість. У Криворізькому залізорудному басейні збагачення залізних руд гірничо-металургійними комбінатами супроводжується утворенням великої кількості відходів до 50% від їх початкової маси. Ці відходи погіршують екологічну ситуацію на Криворіжжі та їх можна розглядати як штучно створену сировинну базу для будівництва та виготовлення будівельних матеріалів.

Застосування техногенних відходів в технології виготовлення пористих заповнювачів розширює сировинну базу, зменшує матеріальні витрати та енергоресурси на виробництво і покращує екологічну обстановку.

Результати. Виконані дослідження дозволили розробити спосіб виробництва штучного пористого заповнювача для бетону – актипорориту із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу. Даний спосіб і використані компоненти шихти відрізняються від відомих і забезпечують отримання легкого заповнювача - актипорориту досить високої якості із економією енерговитрат.

Ключові слова: актипорорит, техногенні відходи, актипороритобетон, міцність актипороритобетону, щільність актипороритобетону.

doi: 10.31721/2306-5435-2019-1-105-118-123

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Сучасний напрямок у виробництві будівельних конструкцій ґрунтується на застосуванні легких і полегшених бетонів, для виробництва яких необхідно використовувати легкі заповнювачі [1].

Сьогодні будівельні матеріали і вироби виготовляють, в основному, з природної сировини і рідше з побічних продуктів промисловості [2]. Проте, щорічно здобич у великих кількостях

сировини за наявності взаємозамінних техногенних відходів інших галузей промисловості погіршує екологічну обстановку. Техногенні відходи – це відходи виробництва, які шкідливо впливають на життєдіяльність людини та навколишнє середовище. Тому, що часто відходи підприємств викидають на звалище, оскільки не вважається потрібним їх використання в індустрії будівельних матеріалів [3].

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Зменшення сировинної бази на фоні охорони надр та ресурсозбереження є однією із основних проблем індустрії будівельних матеріалів [4].

Зростання цін на всі види енергоносіїв приводить до зростання витрат на будівництво. Виникає потреба в зниженні енергозатрат. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є підвищення термічного опору конструкцій нових споруд, що може бути досягнуте, за рахунок використання при будівництві будівель і споруд економічного легкого бетону [5] з принципово новими властивостями і значно зниженою теплопровідністю на нових пористих заповнювачах, виробництво яких економічніше ніж існуючих.

У Криворізькому залізородному басейні поряд з видобутком багатой залізної руди великий розвиток отримало використання бідних руд шляхом їх збагачення і агломерації. Збагачення залізних руд гірничо-збагачувальними комбінатами (ГЗК) супроводжується утворенням великої кількості відходів до 50% від їх початкової маси. Щорічно складається в сховища велика кількість відходів збагачення. В цілому, з початку експлуатації ГЗК, в хвостосховищах Кривбасу накопичено близько 1,5 млрд.м³ відходів збагачення. Ці відходи погіршують екологічну ситуацію на Криворіжжі та їх можна розглядати як штучно створену сировинну базу для будівництва та виготовлення будівельних матеріалів [6].

Тому застосування техногенної сировини для виготовлення пористих заповнювачів є актуальною, так як розширює сировинну базу, зменшує матеріальні витрати та енергоресурси на виробництво і покращує екологічну обстановку.

Аналіз досліджень та публікацій. На сьогоднішній день промисловість будівельних матеріалів випускає цілий ряд штучних пористих заповнювачів. Це такі заповнювачі як: сланцепоритові та аглопоритові, щебінь, гравій, пісок; шлакова пемза; керамзит; перліт; глинозольний керамзит [7]; заповнювач на основі рідкого скла та відходів збагачувальних комбінатів.

В даний час існує значна кількість технологій виготовлення штучних пористих заповнювачів. А так же значна кількість рекомендованих складів шихти для їх виготовлення, в тому числі і з використанням відходів гірничо-збагачувальних комбінатів [8].

Аналіз відомих технологій отримання штучних пористих заповнювачів і складів шихти для їх приготування показав, що отримані в даний час по відомим технологіям і з відомих шихт легкі заповнювачі мають цілу низку недоліків. Зокрема, або одержувані заповнювачі не в повній мірі відповідають сучасним вимогам, або технологія їх отримання досить складна і малоефективна внаслідок високої енергоємності [9].

Постановка задачі. Метою дослідження є отримання штучного пористого заповнювача виготовленого на основі техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу високої якості з порівняно низькою енергоємністю та бетонів на його основі.

Звідси випливають наступні завдання досліджень:

визначити вплив компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача з техногенної сировини на його фізико-механічні властивості;

встановити взаємозв'язок між складом та властивостями компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача та процесом термообробки.

Методи досліджень. Об'єктом досліджень є гранули штучного пористого заповнювача із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Криворіжжя та властивості компонентів шихти для виготовлення штучного пористого заповнювача, її склад в залежності від впливу процесу термообробки. Застосовувалися стандартні та спеціальні методи для визначення й дослідження властивостей компонентів та складу шихти, а також сировинних гранул заповнювача. Для обробки результатів експериментів використовували статистичний аналіз.

Викладення матеріалу та результати. З огляду на викладене, в даній роботі поставлена мета отримання легких заповнювачів на основі відходів техногенної сировини і розробка способу їх отримання, що відрізняється зменшеними енергозатратами.

Міцність вологих і висушених при 220-250°C гранул зростає із збільшенням часу грануляції і кількості змочувального розчину. При збільшенні щільності змочувального розчину та крупності сировинного порошку міцність гранул знижується не суттєво. Міцність вологих гранул достатня для транспортування їх в сушильно-нагрівальний барабан і складає 180-280 Н/гранул. Така висока міцність сприятиме збереженню гранул при русі їх в печі, що обертається, де вони піддаються стираючій дії.

Зразки отриманих пористих заповнювачів темно-коричневого кольору, що мало відрізняються один від одного, мають великопористу структуру з кавернами. Пори в основному округлої форми, розміром 240 – 950 мкм. Поверхня заповнювача частково оплавлена і відрізняється від внутрішніх шарів меншою пористістю. Відсутність щільною кірки, яка не спеклася на поверхні нового заповнювача, як і очікувалося, вестиме до підвищеного зчеплення цементним каменем, що, зрештою, приведе до підвищення міцності бетону [2].

На рис. 1-3 приведені залежності властивостей сирцових гранул і отриманого з них штучного пористого заповнювача актипорориту від крупності сировинного порошку, кількості та щільності змочувального розчину, часу грануляції та кількості складових шихти.

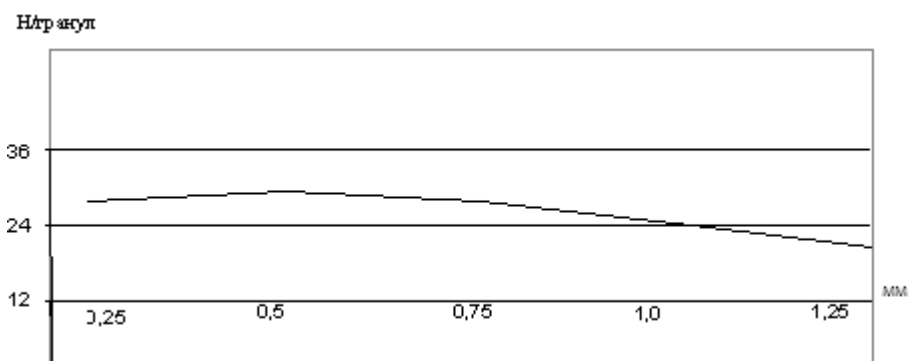


Рис. 1. Залежність міцності вологих сировинних гранул від крупності сировинної суміші, мм

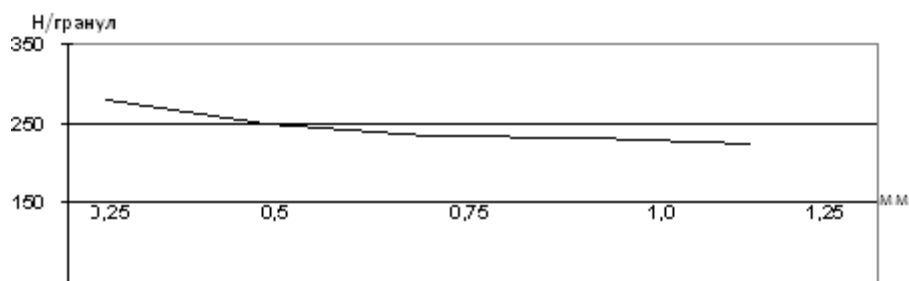


Рис.2. Залежність міцності сухих сировинних гранул від крупності компонентів шихти, мм

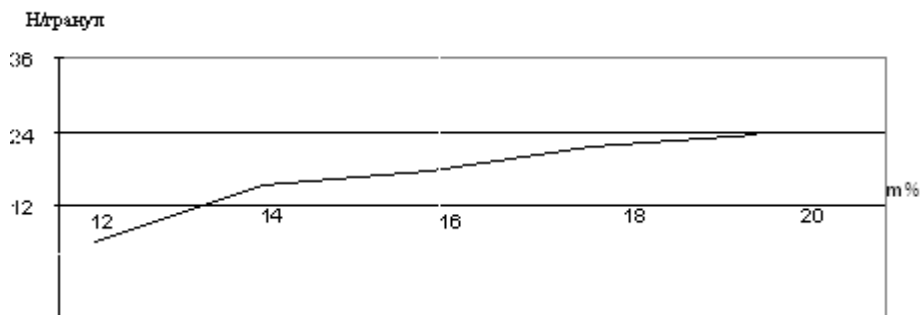


Рис. 3. Залежність міцності сирих гранул заповнювача від кількості змочувального розчину, m %

Аналіз результатів підбору складів легких бетонів показав, що їх міцність на пористих заповнювачах- актипороритах із техногенної сировини зростає із збільшенням витрати об'єму

в'язучого в бетоні. На рис. 4 представлені залежності міцності легких бетонів різних складів на пористих заповнювачах із техногенної сировини від витрат в'язучого

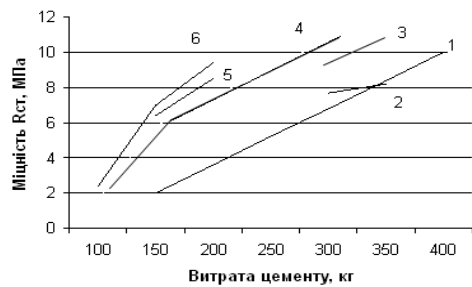


Рис.4. Залежність міцності бетону від витрат в'язучого

В результаті проведених експериментів отримані склади легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини класів міцності В3,5; В5,0; В7,5 з витратами цементу менше нормативних на 50-60%

Основною властивістю бетонів є його міцність при стисненні. Саме міцність бетону або його клас необхідний при розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій.

Відомо, що при дослідженні бетону що має в своєму складі новий заповнювач, дуже важливим моментом є встановлення залежності між міцністю бетону та його структурою.

За наслідками експерименту побудовані залежності міцності легких бетонів на пористих заповнювачах-актипорориту із техногенної сировини на розтягування при вигині від міцності на стиснення (рис. 5).



Рис. 5. Залежність бетонів різних складів між міцністю на стиск і на розтяг

Аналіз отриманих результатів показав, що руйнування легкого бетону на пористих заповнювачах-актипороритах із техногенної сировини і керамзитобетону відбуваються однаково.

Залежність між міцністю таких бетонів на стиск та їх призматичною міцністю характеризуються графіками на рис. 6.



Рис. 6. Залежність бетонів між міцністю на стиск та призматичною міцністю: 1 – легкий керамзитобетон; 2 - легкий бетон на пористих заповнювачах-актипороритах із техногенної сировини

Морозостійкість є основним показником довговічності легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини, матеріалу, що володіє підвищеним водопоглинанням.

По морозостійкості конструкційно-теплоізоляційний легкий бетон на пористих заповнювачах із техногенної сировини отриманий марок F 35,

F50, F75, F100, F150.

Аналіз отриманих результатів дозволяє відзначити, що легкий бетон на пористих заповнювачах-актипороритах із техногенної сировини має необхідну морозостійкість для кліматичних умов України.

Теплотехнічні властивості легких бетонів на пористому заповнювачі із техногенної сировини визначали в залежності від його середньої щільності, якісного і кількісного складу заповнювача, кількості та ступеню поризації в'язучого на зразках діаметром 25см і завтовшки 2см.

Коефіцієнт теплопровідності легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини менший, ніж для звичайного керамзитону на 15-20%. Це забезпечує такому матеріалу істотні переваги в житловому будівництві.

Легкий бетон на пористих заповнювачах із техногенної сировини характеризується складною системою пір, що відрізняються один від одного розмірами і формою порового простору.

Результати досліджень показують, що велика пористість легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини знижується із зростанням середньої щільності бетону, як і об'єм відкритих капілярних пір. Таким чином, характер і об'єм пористості легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини в порівнянні із керамзитобетоном, має більший відсоток умовно закритих пір при більшому значенні загальної пористості. Зменшення відкри-

тої пористості легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини сприяє збільшенню його морозостійкості.

Водопоглинання бетону дає великий вплив на його теплозахисні властивості і довговічність.

Результати досліджень показують, що водопоглинання актипороритобетонів найінтенсивніше в період перших семи діб. Потім водопоглинання носить затухаючий характер. По абсолютній величині водопоглинання актипороритобетону значно менше ніж керамзитобетон.

Випаровування води з легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини відбувається порівняно поволі і залежить від його водозмісту, щільності, а також температури і вологості повітря.

Сушка зразків проводилася в приміщенні з температурою повітря 18-20°C, відносна вологість повітря 60%.

Дослідження водовіддавання бетону свідчать, що рівноважну вологість легкий бетон на пористих заповнювачах із техногенної сировини приймає через 3 місяці.

Водопоглинання легких бетонів на пористих заповнювачах із техногенної сировини менше, ніж керамзитобетону на 19-20%. Пояснити це можна зменшенням кількості відкритих пір.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Виконані дослідження дозволили розробити спосіб виробництва штучного пористого заповнювача для бетону – актипорориту із техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу. Даний спосіб і використані компоненти шихти відрізняються від відомих і забезпечують отримання легкого заповнювача - актипорориту досить високої якості із зниженими енерговитратами.

Проведені дослідження дали змогу встановити крупність сировинного порошку, час його грануляції на властивості сировинних гранул штучного пористого заповнювача - актипорориту та встановити оптимальні їх значення:

міцність сировинних гранул при стисканні - 10,5 Н/ок та міцність при ударі - 6 разів;

сировинні матеріали повинні бути подрібнені до частинок розміром 1 мм;

час грануляції порошку 7 хв.

Подальші проведення досліджень по використанню техногенної сировини гірничо-металургійних підприємств Криворіжжя для виготовлення будівельних матеріалів зокрема штучних пористих заповнювачів та бетонів на його основі є актуальним, так як зменшує матеріальні витрати та енергоресурси на виробництво, розширює сировинну базу і покращує екологічну обстановку.

Список літератури

1. **Симонов М.З.** Основы технологии легких бетонов / **М.З. Симонов.** – М.: Стройиздат, 1993. – 581 с.
2. **Кривенко П.В.** Заповнювачі для бетону: [Підручник] / **П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, М.О. Кочевих.** – К.: ФАДА ЛТД, 2001. – 399 с.
3. **Барышников В.Г.** Вторичные материальные ресурсы горной металлургии: [Справочник] / **В.Г. Барышников, Г.И. Пашков** и др. – М.: Экономика, 1986. – 344 с.
4. **Онацкий С.П.** Производство керамзита / **С.П. Онацкий.** - М.: Стройиздат, 1987. - 333 с.
5. **Комиссаренко Б.С.** Керамзитобетон для эффективных ограждающих конструкций / **Б.С. Комиссаренко, А.Г. Чикноворьян.** - Самара: СамГАСА, 2003. – 134 с.
6. **Шишкин А.А.** Поризованные бетоны для ремонта строительных конструкций: Монография/ **А.А. Шишкин, Ю.И. Чабан.** – Кривой Рог: «Минерал», 2005. – 160 с.
7. **Макридин Н.И.** Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны: учеб. пособие / **Н.И. Макридин, И.Н. Максимова.** – Пенза: ПГУАС, 2013. – 324 с.
8. **Хільченко О.П.** Режим термообработки в залежності від складу шихти при виготовленні штучних наповнювачів з техногенної речовини / Науковий вісник будівництва. Харків-2016. -2(84)-С.280-284
9. **Хільченко О.П.** Структурні особливості штучного пористого заповнювача – пульпо пору із відходів гірничо-металургійних підприємств / Качество минерального сырья. Сб. науч. праць. т.2 – 2018. С. 186-191

Рукопис подано до редакції 10.04.2019