

## ГАЛУЗЬ ТЕХНІКИ

Даний винахід стосується способу прискореної карбонатації перероблених бетонних гранулятів, а також реалізації цього способу в способі підвищення цінності цих гранулятів і парникових газів, що викидаються промисловим підприємством, наприклад, цементним заводом.

У Франції знесення будівель і споруд, збудованих після 50-х років, сьогодні переживає бум і генерує 300 мільйонів тонн відходів на рік, з яких близько 36 % складають матеріали на основі бетону. У зв'язку з цим слід нагадати, що бетон - це суміш, що складається, за вагою, з приблизно 80 % мінеральних інертних матеріалів, тобто гранулятів (в різних формах: щебеню, гравію і піску), 15 % в'язучого (в основному цементу) і 5 % води.

Проте, при показнику близько 2 тонн на людину на рік, бетон є найбільш споживаним вироблюваним матеріалом у світі. Зараз на виробництво бетону припадає близько 40 % загального споживання гранулятів. Саме тому, з економічних та екологічних причин, щоб уникнути використання природних ресурсів, наскільки це можливо, важливо підвищувати цінність матеріалів відходів від знесення споруд, зокрема, на основі бетону, щоб отримати перероблені бетонні грануляти, які є ідеальним заміном "природних" гранулятів.

Крім того, відходи від знесення споруд на основі бетону додають до відходів виробництва бетону, або, іншими словами, до бетону, який не відповідає вимогам через дефекти, а також надлишків бетону, не використаних на будівельному майданчику.

Ось чому в контексті даного винаходу "перероблені бетонні грануляти" означають бетонні грануляти, одержані від знесення споруд або будівель, що містять бетонні елементи, відходи виробництва бетону, а також надлишки бетону на будівельному майданчику. Перероблені бетонні грануляти отримують шляхом дроблення та просіювання існуючого бетону, який може мати форму блоків та/або щебеню. Таким чином, перероблені бетонні грануляти складаються зі старого природного грануляту, з'єданого зі старим цементним тістом. Крім того, в зернистому основі цього бетону розрізняють такі два типи фракцій:

- "грубу" фракцію, що містить грануляти, розміри яких перевищують 6 мм (або, іншими словами, грануляти з розміром зерен більше 6 мм);

- "піщану" фракцію, що містить грануляти, розміри яких менше або дорівнюють 6 мм (або, іншими словами, грануляти з розміром зерен менше або

Таким чином, відходи матеріалів на основі бетону є важливою сировиною, цінність якої будівельна промисловість наразі прагне підвищити для виробництва нових матеріалів, призначених для будівництва, що також відповідає екологічно чистому циклу.

Однак для того, щоб перероблені бетонні грануляти могли замінити природні грануляти, необхідно, щоб бетон, який містить перероблені бетонні грануляти, мав механічні властивості, еквівалентні або навіть кращі, ніж у бетону, отриманого з природних гранулятів. Проте, перероблені бетонні грануляти мають більш високу пористість мікроструктури, що є технологічним недоліком при їх використанні як заміника природних гранулятів. Дійсно, ця висока пористість призводить до більшого водопоглинання, що знижує механічні властивості отриманого бетону.

Відомо, що цю проблему пористості можна подолати шляхом проведення прискореної карбонатації перероблених бетонних гранулятів, а саме шляхом їх обробки газовим потоком, що містить діоксид вуглецю.

В контексті даного винаходу під "прискореною карбонатацією" слід розуміти процес карбонатації, реалізований за допомогою пристрою (зокрема, лабораторного або промислового пристрою), який, таким чином, відрізняється від природної карбонатації, як визначено нижче.

В процесі виробництва бетону цемент реагує з водою з утворенням гідратів кремнезему та кальцію. Ці гідрати надають бетону механічну міцність. Однак ці гідрати не є абсолютно стабільними в часі: в природних умовах вони карбонатаються, повільно поглинаючи атмосферний вуглекислий газ, і знову перетворюються на вапняк і силікагель. Тим не менш, це явище природної карбонатації відбувається дуже повільно (протягом декількох десятиліть) і переважно на поверхні будівельного матеріалу на основі бетону. Крім того, захоплена кількість діоксиду вуглецю залишається обмеженою, оскільки вона не перевищує 15-20 % від викидів діоксиду вуглецю, що утворюються під час виробництва бетону.

Оскільки перероблені бетонні грануляти складаються частково з цементного тіста, яке містить такі гідрати, що утворюються під час гідратації цементу, ці гідрати можуть карбонатизуватися, коли згадані перероблені бетонні грануляти піддають прискореній карбонатації.

Однак ефективність і оптимізація прискореної карбонатації (а саме, ефективність захоплення діоксиду вуглецю, що має, зокрема, ефект зменшення пористості на рівні мікроструктури перероблених бетонних гранулятів, а також швидкості реалізації) залежать від великої кількості параметрів, таких як, зокрема, розмір зерен гранулятів, пристрій для введення гранулятів в контакт з газовим потоком, температура, вологість і тиск, які повинні бути підібрані таким чином, щоб забезпечити найкращу ефективність. Проте, важко вибрати і поєднати гарні параметри для реалізації прискореної карбонатації оптимальним способом. Тому цей відомий спосіб прискореної карбонатації завжди є предметом інтенсивних досліджень з метою поліпшення його ефективності для підвищення цінності не тільки перероблених бетонних гранулятів, але й промислових газових викидів.

Дійсно, багато галузей промисловості, включаючи цементну, зв'язані системою обміну квотами на викиди, запровадженою Європейським Союзом в контексті боротьби зі зміною клімату. Ця система базується на принципі обмеження та обміну правами на викиди. Встановлюється поріг, який обмежує загальний рівень викидів деяких парникових газів галузями, охопленими цією системою. Цей поріг поступово знижується з роками з метою зменшення викидів парникових газів. В межах цих порогових значень галузі отримують або купують квоти на викиди, якими вони можуть обмінюватися з іншими галузями залежно від своїх потреб.

Наприклад, під час виробництва цементу цементний завод викидає парникові гази (а саме діоксид вуглецю) на виході з печі для виробництва клінкеру. Внаслідок цього, беручи до уваги систему квот на викиди в Європейському Союзі та постійне зниження порогового рівня викидів, для цементного заводу важливо підвищувати цінність своїх викидів парникових газів шляхом впровадження технічних та екологічних рішень, які збільшують цінність цих викидів діоксиду вуглецю.

Таким чином, з огляду на екологічні проблеми, викладені вище, щодо підвищення цінності, з одного боку, бетонних відходів, а з іншого боку, викидів парникових газів, було б цікаво створити промисловий процес, який міг би одночасно та ефективно збільшувати цінність цих двох типів твердих і газових відходів.

#### РІВЕНЬ ТЕХНІКИ

В цьому відношенні, у заявці WO 2019/115722 A1 пропонується технічне рішення, яке задовольняє цю потребу, оскільки в ній описано спосіб виготовлення додаткового цементуючого матеріалу, який може замінити цемент, з відхідних газів, що містять діоксид вуглецю, і перероблених бетонних гранулятів, які мають параметр D90 менше або рівний 1000 мкм (або, іншими словами, 90 % цих гранулятів мають розмір зерен менше або рівний 1000 мкм). Цей спосіб полягає в тому, що зазначені перероблені бетонні грануляти, які зберігаються у вигляді штабеля або в силосі, вводять в контакт з відпрацьованими газами з метою отримання карбонатованого матеріалу, який потім деагломерують для отримання зазначеного додаткового цементуючого матеріалу.

Як описано в патентній заявці WO 2019/115722 A1, для підвищення ефективності та швидкості карбонатазації бажано, щоб параметр D90 перероблених бетонних гранулятів був меншим або дорівнював 100 мкм. Крім того, продукт, отриманий після завершення способу, описаного в цій патентній заявці WO 2019/115722 A1, є заміником цементу. Проте, як пояснюється вище, на виробництво бетону зараз приходится близько 40 % від загального споживання гранулятів, тому було б цікаво перетворити перероблені бетонні грануляти на заміник природних гранулятів, щоб уникнути використання ресурсів природних гранулятів.

Автори даного винаходу прагнули оптимізувати параметри прискореної карбонатазації, щоб зробити її більш ефективною для збільшення цінності перероблених бетонних гранулятів при безпосередньому отриманні, а саме без будь-якої додаткової стадії, такої як описана в патентній заявці WO 2019/115722 A1 стадія деагломерації карбонатованих гранулятів, які є ідеальними заміниками природних гранулятів. Автори даного винаходу також прагнули інтегрувати свій спосіб прискореної карбонатазації в спосіб підвищення цінності перероблених відходів бетонних гранулятів і викидів парникових газів, зокрема газових викидів з печі цементного заводу для виробництва клінкеру.

#### СУТЬ ВІНАХОДУ

Таким чином, винахід в першу чергу стосується способу прискореної карбонатазації, який характеризується тим, що включає принаймні такі стадії:

- а) отримання перероблених бетонних гранулятів, розмір зерен яких є меншим або дорівнює визначеному значенню  $V_1$ , яке становить від 1 мм до 6 мм, іншими словами, піщаної фракції  $0/V_1$ ;
- б) проведення сепарації піщаної фракції  $0/V_1$  шляхом визначення заданого гранулометричного порогового значення  $V_2$ , яке становить від 0,1 мм до 0,2 мм, таким чином, щоб отримати
  - 1-шу фракцію, розмір зерен якої є меншим за  $V_2$ , тобто піщаної фракції  $0/V_2$ , і
  - 2-гу фракцію з розміром зерен між  $V_2$  та  $V_1$ , тобто піщаної фракції  $V_2/V_1$ ;
- с) проведення стадії прискореної карбонатазації 2-ої фракції в динамічному карбонізаторі шляхом введення в контакт зазначеної 2-ої фракції з газовим потоком, що містить діоксид вуглецю, з метою отримання карбонатованих перероблених бетонних гранулятів.

В контексті даного винаходу під "динамічним карбонізатором" слід розуміти пристрій прискореної карбонатазації, який сконструйований таким чином, що на стадії с) зазначеного способу 2-га фракція перебуває в русі в зазначеному пристрої прискореної карбонатазації (наприклад, за допомогою підйомного та диспергуючого пристрою) та/або зазначений пристрій прискореної карбонатазації перебуває в русі.

В одному варіанті реалізації винаходу динамічний карбонізатор включає:

- 1-ий відкритий кінець, через який подається 2-га фракція,
  - 2-ий відкритий кінець, через який вводиться газовий потік, що містить діоксид вуглецю,
- причому вказані 1-ий і 2-ий відкриті кінці розділені обертовою секцією, що простягається по суті горизонтально в поздовжньому напрямку, і в якій 2-га фракція просувається від 1-го відкритого кінця до 2-го відкритого кінця, а газовий потік циркулює в протилежній до просування 2-ої фракції.

Введення 2-ої фракції через 1-ий відкритий кінець може здійснюватися послідовно або, переважно, безперервно.

У переважному варіанті реалізації винаходу секція має циліндричну загальну форму.

Перероблені бетонні грануляти на стадії а) складаються з піщаної фракції  $0/V_1$  або, іншими словами, з переробленого бетонного грануляту, розмір зерен якого перебуває між значенням, близьким до 0, і значенням  $V_1$ , яке може становити від 1 мм до 6 мм, переважно від 1,5 мм до 4 мм, ще переважно від 2 мм до 4 мм. Як переважні приклади даного винаходу, перероблені бетонні грануляти на стадії

а) складаються з піщаної фракції  $0/2$  або піщаної фракції  $0/4$ .

1-ша фракція складається з дрібного матеріалу піщаної фракції  $0/V_1$  стадії а). Більш конкретно, зазначена фракція дрібного матеріалу має розмір зерен менше  $V_2$ , причому  $V_2$  становить від 0,1 мм до 0,2 мм. Іншими словами, фракція дрібного матеріалу має розмір зерен в діапазоні від 0 до приблизно  $V_2$ , при цьому значення  $V_2$  не включене.

2-га фракція складається з грубого матеріалу піщаної фракції  $0/V_1$  стадії а). Іншими словами, перероблені бетонні грануляти 2-ої фракції мають розмір зерен між  $V_2$  і  $V_1$ , включаючи значення  $V_2$  і  $V_1$ . Значення  $V_2$  перебуває в межах від 0,1 мм до 0,2 мм, а значення  $V_1$  перебуває в межах від 1 мм до 6 мм, переважно в межах від 1,5 мм до 4 мм, ще переважно в межах від 2 мм до 4 мм.

Таким чином, автори винаходу знайшли, що, якщо піддати 2-гу фракцію перероблених бетонних гранулятів або, іншими словами, фракцію, вільну від дрібного матеріалу піщаної фракції  $0/V_1$  стадії а), прискореній карбонатазації в динамічному карбонізаторі, то зазначена прискорена карбонатація є дуже ефективною, з високим відсотком уловлювання діоксиду вуглецю і, отже, дозволяє отримати карбонатовані перероблені бетонні грануляти, які є ідеальними заміниками природних гранулятів у виробництві бетону.

Високий відсоток уловлювання діоксиду вуглецю має такі ефекти:

- зменшення пористості мікроструктури карбонатованих перероблених бетонних гранулятів, що дозволяє

обмежити поглинання води, яке негативно впливає на якість бетону, в який вводять ці грануляти;

- обмеження зниження pH бетону, в який вводять ці грануляти (або, іншими словами, обмеження кислотності бетону); це дозволяє обмежити корозію сталевих частин залізобетонних конструкцій.

Таким чином, бетон, отриманий з цими гранулятами, має відмінні механічні властивості. Більш конкретно, карбонатовані перероблені бетонні грануляти, отримані методом прискореної карбонатації згідно з винаходом, надають бетону, до якого вони включені, гарну міцність на стиснення, гарні властивості довговічності, зокрема, гарну стійкість до корозії сталевих арматур, що містяться в бетоні, причому згадану корозію спричиняють хлорид-іони та діоксид вуглецю.

Автори винаходу досить несподівано виявили, що вибір визначеного гранулометричного порогового значення  $V_2$ , що становить від 0,1 мм до 0,2 мм, з метою видалення частини дрібного матеріалу з піщаної фракції  $0/V_1$ , сприяє процесам обміну між рештою перероблених бетонних гранулятів (іншими словами, 2-ою фракцією) і газовим потоком на стадії прискореної карбонатації в динамічному карбонізаторі і, таким чином, покращує уловлювання діоксиду вуглецю. Це відкриття того, що видалення частини дрібного матеріалу прискорює карбонатацію перероблених бетонних гранулятів, суперечить загальним уявленням в цій галузі техніки, і зокрема опису вищезгаданої патентної заявки WO 2019/115722 A1, яка рекомендує надавати перевагу фракціям перероблених бетонних гранулятів з найменшим розміром зерен (іншими словами, дрібним фракціям) для проведення прискореної карбонатації.

Таким чином, на стадії прискореної карбонатації с), під час якої відібрані перероблені бетонні грануляти (тобто, 2-га фракція) вводять в контакт з газовим потоком, що містить діоксид вуглецю, відбувається реакція карбонатації залишкового цементного тіста в цих гранулятах.

Процеси обміну між переробленими бетонними гранулятами та діоксидом вуглецю покращуються, коли динамічний карбонізатор включає 1-ий відкритий кінець та 2-ий відкритий кінець, які розділені секцією, що простягається по суті горизонтально в поздовжньому напрямку, як описано вище. В цьому варіанті реалізації винаходу згадана обертова секція переважно має нахил донизу, орієнтований в напрямку просування 2-ої фракції, який становить від  $0,5^\circ$  до  $8^\circ$ , переважно від  $1^\circ$  до  $5^\circ$ . Найпреважно, нахил донизу становить  $2^\circ$ .

Обертова секція може бути по суті нахиленим циліндром, що має 1-ий відкритий кінець для введення, послідовно або переважно безперервно, 2-ої фракції перероблених бетонних гранулятів, і 2-ий відкритий кінець для введення газового потоку, що містить діоксид вуглецю. Циліндр приводиться в обертання, щоб забезпечити перемішування шару матеріалу, що складається з 2-ої фракції, а також його просування в циліндрі. Цей шар матеріалу продувається газовим потоком, який, таким чином, рухається в протитечії до просування шару матеріалу.

Преважно, для збільшення поверхні обміну між 2-ою фракцією перероблених бетонних гранулятів та газовим потоком, циліндр обладнаний на внутрішній поверхні пристроєм для підйому та розсіювання перероблених бетонних гранулятів всередині циліндра. Цей пристрій цілком зрозумілий для фахівця в цій галузі техніки.

Інші технічні ознаки динамічного карбонізатора та стадії прискореної карбонатації описані нижче.

Динамічний карбонізатор за стадією с) може складатися з обертової барабанної сушарки (а саме, добре відомого пристрою, що використовується в багатьох галузях промисловості, в тому числі у виробництві будівельних матеріалів), адаптованої для здійснення прискореної карбонатації, як описано вище. Іншими словами, даний винахід може бути реалізований за допомогою барабанної сушарки, яка була адаптована таким чином, щоб отримати динамічний карбонізатор, що має технічні ознаки, щойно описані вище, а також описані далі. Прикладами барабанних сушарок, які можуть бути використані в контексті даного винаходу, є, зокрема, сушарки серії TSM, що випускаються компанією Marini- Ermont, або сушарки з корпусом серії TTD, що випускаються компанією Allgaier.

Таким чином, винахід стосується використання обертової барабанної сушарки для проведення прискореної карбонатації перероблених бетонних гранулятів газовим потоком, що містить діоксид вуглецю.

Перероблені бетонні грануляти з піщаної фракції  $0/V_1$  стадії а) можуть бути отримані в результаті знесення споруд або будівель, що містять бетонні елементи, з відходів виробництва бетону або надлишків бетону на будівельному майданчику. Таким чином, вони можуть складатися з бетонних блоків та/або щебеню, можливо, армованих сталевими конструкціями, які піддають різним послідовним стадіям (або, де це доречно, інколи одночасним):

- сортування з метою видалення сталевих матеріалів,
- дроблення, та
- просіювання,

до отримання бажаної піщаної фракції  $0/V_1$  з перероблених бетонних гранулятів.

Стадія сортування може здійснюватися за допомогою системи відділення металобрухту, яка складається з електромагніту, призначеного для витягування сталевих елементів, в поєднанні з магнітною стрічкою для відділення металобрухту.

Наприклад, дроблення може включати стадію первинного дроблення, що здійснюється за допомогою дробарки, яка складається з:

- приймального бункера, наприклад, об'ємом в межах  $15 \text{ м}^3$ , з подачею за допомогою навантажувача перероблених бетонних матеріалів з розміром блоків менше або рівним 500 мм;
- вібраційного живильника;
- первинної дробарки щогового або роторного типу, призначеної для одержання перероблених бетонних матеріалів з розміром блоків менше або рівним від 60 мм до 200 мм,
- вихідного конвеєра.

Такий дробильний пристрій може бути обладнаний системою відокремлення металобрухту, як описано вище.

Потім отримані таким чином перероблені бетонні матеріали з розміром блоків менше або рівним від 60 мм до 200 мм, можуть бути піддані вторинному дробленню з метою отримання перероблених бетонних матеріалів з

розміром зерен менше або рівним 20 мм. Ця стадія вторинного дроблення може бути реалізована в другому дробильному пристрої, який включає, наприклад:

- систему для видалення грубозернистого матеріалу шляхом просіювання;
- обертову конусну дробарку для дроблення бетонних матеріалів для отримання зерен розміром менше або рівним 20 мм.

Отримані таким чином перероблені бетонні матеріали можуть бути піддані одній або декільком стадіям просіювання до отримання піщаної фракції  $0/V_1$ . Ці стадії просіювання здійснюються на просіювальних пристроях, які є цілком зрозумілими для фахівця в цій галузі техніки.

Загалом, отримання піщаної фракції  $0/V_1$  з перероблених бетонних гранулятів з бетонних блоків та/або щебеню, отриманих в результаті знесення та/або демонтажу житлових будинків або споруд, виробничих відходів або надлишків на будівельному майданчику, є цілком зрозумілим для фахівця в цій галузі техніки.

Наприклад, стадія розділення b) може здійснюватися в контурі дефілеризації, який складається із системи флеш-сушіння, зв'язаної з динамічним сепаратором. Налаштування динамічного сепаратора дозволяє визначити гранулометричне порогове значення  $V_2$ , що становить від 0,1 мм до 0,2 мм.

Звичайно, стадія розділення b) способу прискореної карбонізації є цілком зрозумілою для фахівця в цій галузі і може бути здійснена в пристрої, пристосованому для розділення, відмінному від циклу дефілеризації, описаного вище лише як варіант здійснення стадії b).

Час перебування в динамічному карбонізаторі 2-ої фракції може становити від 15 хвилин до 12 годин. В переважному варіанті здійснення винаходу цей час перебування становить одну годину.

У варіанті здійснення винаходу, де динамічний карбонізатор включає 1-ий і 2-ий відкриті кінці, які розділені обертовою секцією, що простягається по суті горизонтально в поздовжньому напрямку, як описано вище, швидкість обертання зазначеної обертової секції переважно становить від 0,5 об/хв до 10 об/хв.

Переважно, температура газового потоку, що містить діоксид вуглецю, становить від 15 °C до 90 °C.

Об'ємний відсоток діоксиду вуглецю в зазначеному газовому потоці становить від 3 % до 100 %. В одному варіанті здійснення винаходу газовий потік містить тільки діоксид вуглецю.

Переважно, 2-га фракція перероблених бетонних гранулятів може бути зволожена перед стадією c) способу карбонізації згідно з винаходом, переважно до вмісту води, що не перевищує 12 %. Іншими словами, якщо 2-гу фракцію звожують, її вологість переважно є нижчою або дорівнює 12 %. У варіанті здійснення винаходу, де динамічний карбонізатор включає 1-ий і 2-ий відкриті кінці, які розділені обертовою секцією, що простягається по суті горизонтально в поздовжньому напрямку, динамічний карбонізатор може включати, на рівні 1-го відкритого кінця, трубу для впорскування води, призначену для зволоження 2-ої фракції перед проведенням стадії c).

Крім того, відносна вологість повітря в динамічному карбонізаторі перебуває в діапазоні від 50 % до 100 %.

Вологовміст 2-ої фракції, а також відносна вологість в динамічному карбонізаторі, описаному вище, дозволяють оптимізувати стадію прискореної карбонізації c), а саме поліпшити кінетику реакції і відсоток уловлювання діоксиду вуглецю.

Газовий потік, що містить діоксид вуглецю, може складатися з промислових газових викидів, переважно газових викидів цементного заводу.

Тому даний винахід також стосується способу підвищення цінності перероблених бетонних гранулятів і промислових газових викидів, який відрізняється тим, що він реалізує спосіб прискореної карбонізації, як описано вище, і тим, що газовий потік, який містить діоксид вуглецю, складається з промислових газових викидів, переважно газових викидів цементного заводу.

Таким чином, завдяки способу підвищення цінності відповідно до винаходу:

- підвищується цінність перероблених бетонних гранулятів з одержанням карбонатизованих перероблених бетонних гранулятів, які, як описано вище, є ідеальними заміниками природних гранулятів для використання в бетонних сумішах;

- підвищується цінність газових промислових викидів, оскільки вони використовуються на стадії c) способу прискореної карбонізації.

Переважно, промисловими газовими викидами є гази, що надходять з печі цементного заводу, ще переважно, з печі для виробництва клінкеру.

В одному варіанті здійснення винаходу промислові газові викиди обробляють для отримання очищених газів, вміст діоксиду вуглецю в яких збільшений порівняно з вмістом діоксиду вуглецю у вихідних промислових газових викидах. Отримані таким чином очищені гази можуть зберігатися, наприклад, на цементному заводі, до їх застосування в способі прискореної карбонізації згідно з винаходом.

В одному варіанті здійснення способу підвищення цінності згідно з винаходом, 1-шу фракцію, тобто піщану фракцію  $0/V_2$  з розміром зерен менше  $V_2$  (тобто дрібні матеріали), де  $V_2$  становить від 0,1 мм до 0,2 мм, використовують у виробництві клінкеру. Ці дрібні матеріали є особливо придатними, оскільки вони складаються з декарбонатизованого матеріалу, що дозволяє уникнути декарбонізації природного вапняку.

Іншими словами, спосіб підвищення цінності перероблених бетонних гранулятів та промислових газових викидів дозволяє збільшувати цінність не тільки 2-ої фракції з розміром зерен від  $V_2$  до  $V_1$ , щоб після завершення прискореної карбонізації отримати карбонатизовані перероблені бетонні грануляти, які є ідеальним заміником природних гранулятів для використання в бетонних сумішах, але й 1-ої фракції з розміром зерен менше  $V_2$ , яка є декарбонатизованим матеріалом, дуже придатним для використання в рецептурі клінкеру.

#### ПЕРЕЛІК ФІГУР КРЕСЛЕННЯ

Винахід буде переважно зрозумілим з детального опису, викладеного нижче з посиланням на додані креслення, які представляють, як необмежувальний приклад, схему установки, що реалізує спосіб підвищення цінності перероблених бетонних гранулятів і промислових газових викидів згідно з винаходом, а також експериментальні результати здійснення прискореної карбонізації згідно з винаходом.

Фіг. 1 є схематичним зображенням установки, яка реалізує спосіб підвищення цінності перероблених бетонних гранулятів та промислових газових викидів згідно з винаходом.

На Фіг. 2 наведено гістограму відсотка уловлювання діоксиду вуглецю, одержаного для 5 експериментальних зразків, що складаються з піщаних фракцій різного гранулометричного складу.

На Фіг. 1 схематично зображено установку 1, яка реалізує спосіб підвищення цінності перероблених бетонних гранулятів та промислових газових викидів згідно з винаходом. Вантажівка 2 доставляє на установку 1 піщану фракцію перероблених бетонних гранулятів з розміром зерен менше або рівним 2 мм (іншими словами, піщану фракцію 0/2). Ця піщана фракція 0/2 транспортується до силосу 3 за допомогою першої транспортної системи 4.

Установка 1 має річну потужність переробки 15000 тонн піщаної фракції 0/2. Для цього до неї безперервно подається піщана фракція 0/2 зі швидкістю близько 2 т/год.

Бункер 3 включає систему подачі 5, яка налаштована таким чином, щоб:

- подавати піщану фракцію 0/2 до контуру дефілеризації 6 за допомогою шнека 27,
- а також регулювати швидкість потоку піщаної фракції 0/2 до зазначеного контуру дефілеризації 6.

Контур дефілеризації 6 складається з динамічного сепаратора 7 та системи флеш-сушіння 8. Контур дефілеризації 6 призначений для того, щоб:

- розділяти піщану фракцію 0/2 на 1-шу фракцію, так звану піщану фракцію 0/0,15 з розміром зерен менше 0,15 мм, і 2-гу фракцію, так звану піщану фракцію 0,15/2 з розміром зерен від 0,15 мм до 2 мм, і
- сушити ці дві фракції.

Зокрема, налаштування динамічного сепаратора 7 дозволяє визначити гранулометричне порогове значення  $V_2$ , яке перебуває в межах від 0,1 мм до 0,2 мм. В даному випадку значення  $V_2$  було встановлене рівним 0,15 мм.

Після завершення стадії сепарації 1-ша фракція складає, в масових відсотках, близько 20 % (тобто 0,4 т/год), а 2-га фракція - 80 % (тобто 1,6 т/год).

Потім отримана таким чином 1-ша фракція, яка при цьому є сухою, подається за допомогою 2-ої пневматичної системи транспортування 9 до печі 10 цементного заводу для виробництва клінкеру. Таким чином, дрібні матеріали фракції 0/2 переробляються в печі 10 цементного заводу як декарбонатований матеріал, дуже придатний для виробництва клінкеру.

2-гу фракцію (яка також є сухою) зволожують так, щоб її вологість становила 4 % перед подачею до 1-го відкритого кінця 12 динамічного карбонізатора 11, який також включає 2-ий відкритий кінець 13. Зазначені 1-ий і 2-ий відкриті кінці 12, 13 розділені обертовою секцією 31, яка має загальну циліндричну форму довжиною 6,5 м і діаметром 1,3 м. Зволоження 2-ої фракції може здійснюватися за допомогою інжекторної труби, не зображеної на Фіг. 1. Завдяки обертанню обертової секції 31 динамічного карбонізатора 11 зі швидкістю 1,5 об/хв, 2-га фракція просувається від 1-го кінця 12 до 2-го кінця 13 зазначеного динамічного карбонізатора 11. Таким чином, це дозволяє перемішувати шар матеріалу, що складається з 2-ої фракції, та забезпечити його просування в обертовій секції 31 динамічного карбонізатора 11.

Обертова секція 31 також має нахил донизу 2, орієнтований в напрямку просування 2-ої фракції в зазначеній обертовій секції 31.

Час перебування 2-ої фракції в динамічному карбонізаторі 11 становить близько однієї години.

Крім того, на рівні 2-го торця 13 динамічного карбонізатора 11 подається газовий потік, що містить суміш, яка складається, в об'ємних відсотках: 23 % діоксиду вуглецю, 5 % молекулярного кисню, 65 % молекулярного азоту і 7 % водяної пари. Його походження більш детально описане далі. Цей газовий потік має температуру 55 °C і швидкість потоку 2000 м<sup>3</sup>/год. Відносна вологість всередині динамічного карбонізатора 11 становить 75 %.

Таким чином, 2-га фракція підхоплюється газовим потоком, який циркулює в протитечії до просування 2-ої фракції в межах обертової секції 31 динамічного карбонізатора 11. З метою збільшення поверхні обміну між 2-ою фракцією і газовим потоком обертова секція 31 обладнана на своїй внутрішній поверхні пристроєм для підйому і розсіювання 2-ої фракції (на Фіг. 1 не показаний).

Газовий потік з витратою 6000 м<sup>3</sup>/год витягується з вихідного отвору 14 печі 15 для виробництва клінкеру цементного заводу. Склад цього газового потоку, в об'ємних відсотках, є таким: 23 % діоксиду вуглецю, 5 % молекулярного кисню, 65 % молекулярного азоту і 7 % водяної пари. Температура цього газового потоку становить 350 °C. Цей газовий потік подається за допомогою 3-ої транспортної системи 29 до охолоджувального пристрою, який складається з системи розпилення 16, яка включає форсунки для розпилення повітря і води, щоб охолодити його до температури 150 °C. Потім цей газовий потік подається 4-ою транспортною системою 30 до рукавного фільтра 17 для очищення від пилу. Потім цей газовий потік подається за допомогою 5-ої транспортної системи 18 до точки розгалуження 19, з якої:

- 1-ша частина цього газового потоку з витратою 4000 м<sup>3</sup>/год надходить за допомогою 6-ої транспортної системи 20 до контуру дефілеризації 6 для подачі в нього, і
- 2-га частина цього газового потоку з витратою 2000 м<sup>3</sup>/год подається 7-ою транспортною системою 21 в охолоджувальний пристрій 22, що складається з повітряно-повітряного теплообмінника, де охолоджується до температури 55 °C.

Потім охолоджений таким чином газовий потік подається за допомогою 8-ої транспортної системи 23 до 2-го кінця 13 динамічного карбонізатора 11. Це газовий потік, який надходить в динамічний карбонізатор 11 для здійснення прискореної карбонатації, як описано вище.

Потім гази, що залишилися після завершення прискореної карбонатації, і гази, що використовуються в контурі дефілеризації 6, збираються на виході 24 динамічного сепаратора 7 для видалення пилу, а потім транспортуються за допомогою 9-ої транспортної системи 32 до печі 33 цементного заводу, для повторної подачі в гази зазначеної печі 33.

В такій установці 1 витрата газового потоку, що подається на динамічний карбонізатор 11, перевищує максимальний потенціал уловлювання діоксиду вуглецю переробленими бетонними гранулятами. Таким чином, установка 1 сприяє підвищенню цінності частини газових викидів печі 15 цементного заводу. Дійсно, на кожную вироблену тону цементу утворюється 470 кг діоксиду вуглецю. Якщо цементний завод виробляє один мільйон

тонн цементу на рік, то описана установка прискореної карбонатазації 1, яка здатна карбонатизувати 15000 тонн/рік піщаної фракції 0/2, сприяє скороченню викидів діоксиду вуглецю цього цементного заводу в межах 0,08 %.

Основною задачею установки 1 є підвищення цінності перероблених бетонних гранулятів до карбонатованих перероблених бетонних гранулятів, які є ідеальним замінником натуральних гранулятів для використання в бетонних сумішах.

Отримані після завершення прискореної карбонатазації перероблені бетонні грануляти вивантажуються з 2-го кінця 13 динамічного карбонізатора 11 для транспортування за допомогою шнека 27 до ковшового елеватора 29, а потім по з'єднувальному каналу 25 надходять до силосу для зберігання 26.

Перероблені бетонні грануляти подаються за допомогою шнека 27 до вантажівки 28 для транспортування за межі установки 1.

#### ВІДОМОСТІ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ МОЖЛИВІСТЬ ЗДІЙСНЕННЯ ВІНАХОДУ

Були проведені експерименти з метою демонстрації впливу на відсоток уловлювання діоксиду вуглецю зразками, що складаються з перероблених бетонних гранулятів, з яких були видалені дрібні матеріали після завершення прискореної карбонатазації, а також властивостей бетонів, отриманих на основі таких карбонатованих зразків.

##### 1-ша серія експериментів

У 1-ій серії експериментів піщана фракція 0/2, отримана після дроблення перероблених бетонних гранулятів, отриманих в результаті знесення будівлі, була піддана стадіям розділення, що складаються з 4 повітряно-струминних просіювань відповідно до стандарту NF EN 993-10 з такими гранулометричними фракціями:

0,1 мм, 0,125 мм, 0,15 мм і 0,2 мм, для одержання 5 таких зразків:

- 1-ий зразок, що містить початкову піщану фракцію 0/2;
- 2-ий зразок, що містить піщану фракцію 0,1/2;
- 3-ій зразок, що містить піщану фракцію 0,125/2;
- 4-ий зразок, що містить піщану фракцію 0,15/2;
- 5-ий зразок, що містить піщану фракцію 0,2/2.

Маса кожного зі зразків становила 500 г.

5 зразків були піддані прискореній карбонатазації протягом однієї години в динамічному карбонізаторі, що складається з лабораторної розчиномішалки, герметизованої і обладнаної системою циркуляції газу, а також системою підігріву.

Умови були такими:

- газовий потік був сумішшю 25 % об. діоксиду вуглецю, 70 % об. молекулярного азоту, 4,7 % об. молекулярного кисню, 0,3 % об. діоксиду азоту і 500 ppm діоксиду сірки, при температурі 55 °C;
- вологість зразків 4,5 %;
- відносна вологість повітря в мішалці 95 %;
- швидкість перемішування 10 об/хв.

Таким чином, після завершення прискореної карбонатазації було отримано 5 карбонатованих зразків. Іншими словами, уловлювання діоксиду вуглецю 5 зразками під час цієї прискореної карбонатазації дозволило отримати 5 карбонатованих зразків.

Відсоток поглинання діоксиду вуглецю кожним з 5 зразків визначався за допомогою карбонатної бомби шляхом обробки соляною кислотою кожного із зразків 1-5 до та після прискореної карбонатазації і вимірювання тиску, створюваного вивільненням діоксиду вуглецю в результаті цієї обробки кислотою.

Під "відсотком поглинання діоксиду вуглецю зразком" слід розуміти відношення маси діоксиду вуглецю, поглиненого вказаним зразком, до маси цього зразка.

Зокрема, використовували такий протокол:

- 0,8 г зразка для аналізу поміщали в реакційну ємність карбонатної бомби;
- додавали в ємність 5 мл 5 % об. розчину ацетату кальцію;
- обережно вливали в реакційну ємність 5 мл 37 % об. розчину соляної кислоти;
- карбонатну бомбу повільно перемішували протягом періоду від 1 до 10 хвилин.

Діоксид вуглецю, що вивільняється під час обробки карбонатів кислотою, підвищує тиск всередині карбонатної бомби.

В Таблиці 1 нижче наведено відсоток уловлювання для кожного з 5 зразків.

Таблиця 1

| Зразок №                       | 1   | 2 | 3   | 4   | 5   |
|--------------------------------|-----|---|-----|-----|-----|
| % уловлювання діоксиду вуглецю | 1,4 | 2 | 2,5 | 3,1 | 1,6 |

На Фіг. 2 наведено гістограму відсотка уловлювання діоксиду вуглецю для зразків №№ 1-5.

З огляду на Таблицю 1 та Фіг. 2 можна стверджувати, що за однакових умов прискореної карбонатазації:

- Зразки №№ 2-5 мають переважний ступінь уловлювання діоксиду вуглецю, ніж зразок № 1. Це показує вплив на ефективність прискореної карбонатазації видалення з піщаної фракції 0/2 дрібного матеріалу з розміром зерен менше визначеного значення  $V_2$ , яке становить від 0,1 мм до 0,2 мм.

- Найпереважно уловлювання діоксиду вуглецю (3,1 %) отримано для зразка № 4, а саме піщаної фракції 0,15/2 або, іншими словами, фракції, яка була отримана з піщаної фракції 0/2 шляхом видалення дрібного матеріалу з розміром зерен менше 0,15 мм. Цей відсоток уловлювання діоксиду вуглецю є набагато вищим, ніж 1,4 % у піщаної фракції 0/2.

2-га серія експериментів

У 2-ій серії експериментів піщану фракцію 0/2 піддавали прискореній карбонатації за таких саме умов, що й в 1-ій серії експериментів, за винятком того, що лабораторна розчиномішалка залишалася статичною. Таким чином, прискорена карбонатація проводилася статично, без перемішування піщаної фракції 0/2.

Через одну годину відсоток уловлювання діоксиду вуглецю становив 0,8 %, а через дві години - 1 %.

Таким чином, ця 2-га серія експериментів показує позитивний вплив динамічного, або, іншими словами, приведеного в рух, карбонізатора на відсоток уловлювання діоксиду вуглецю. Дійсно, це сприяє обміну між переробленими бетонними гранулятами та газовим потоком.

#### 3-тя серія експериментів

У 3-ій серії експериментів зразки №№ 1 і 4, що містили відповідно піщану фракцію 0/2 і піщану фракцію 0,15/2, піддавали прискореній карбонатації протягом 28 днів в тій самій лабораторній розчиномішалці, що й в 1-ій і 2-ій серіях експериментів, яка залишалася статичною. Використовували такі умови:

- газовий потік був сумішшю 3 % об. діоксиду вуглецю і 97 % об. повітря при температурі 20 °C;
- вихідна вологість зразків 5 %;
- відносна вологість повітря в камері карбонатації 65 %.

Відсоток уловлювання діоксиду вуглецю для зразка № 1 становив 2,8 %, а для зразка № 4 - 3,6 %.

Ця 3-тя серія експериментів також показала позитивний вплив видалення дрібного матеріалу з піщаної фракції 0/2 на ефективність прискореної карбонатації.

#### 4-та серія експериментів

У 4-ій серії експериментів були підготовлені зразки № 6 і № 7. Зразок № 6 містив піщану фракцію 0/4, отриману після дроблення перероблених бетонних гранулятів, отриманих в результаті знесення будівлі. Ця піщана фракція 0/4 була піддана стадії розділення, що складається з повітряно-струминного просіювання відповідно до стандарту NF EN 993-10 гранулометричної фракції 0,15 мм, для отримання зразка № 7 масою 500 г, який містить піщану фракцію 0,15/4.

Зразки №№ 6 і 7 були піддані прискореній карбонатації протягом однієї години в тій самій лабораторній розчиномішалці, що й в попередній серії експериментів, і за тих самих умов прискореної карбонатації, що й в 1-ій серії експериментів.

Відсоток уловлювання діоксиду вуглецю для:

- зразка № 6 (піщана фракція 0/4) склав 2,3 %;
- зразка № 7 (піщана фракція 0,15/4) склав 3,6 %.

Ця 4-та серія експериментів також демонструє позитивний вплив видалення дрібного матеріалу (іншими словами, перероблених бетонних гранулятів з розміром зерен менше 0,15 мм) з піщаної фракції 0/4 на відсоток уловлювання діоксиду вуглецю.

#### 5-та серія експериментів

В цій 5-ій серії експериментів порівнювали властивості бетону, приготовленого з карбонатованого зразка № 2 з 1-ої серії експериментів (іншими словами, карбонатованої піщаної фракції 0,1/2), з властивостями бетону, приготовленого з традиційно використовуваного природного піску.

Зокрема, для цієї 5-ої серії експериментів використовували:

- карбонатований зразок № 2 з 1-ої серії експериментів;
- карбонатований зразок № 2'.

Карбонатований зразок № 2' був отриманий з іншої 2-ої піщаної фракції 0/2, яка за своїми фізико-хімічними властивостями відрізняється від тієї, що використовувалася для 1-ої серії експериментів, оскільки вона була отримана після дроблення перероблених бетонних гранулятів, що утворилися в результаті знесення будівлі іншого походження.

Ця 2-га піщана фракція 0/2 також була піддана стадії сепарації, яка полягала в повітряно-струминному просіюванні відповідно до стандарту NF EN 993-10 гранулометричної фракції 0,1 мм для отримання зразка № 2', що містить піщану фракцію 0,1/2.

Зразок № 2' був підданий прискореній карбонатації за таких саме умов, що й зразок № 2, і які описані в 1-ій серії експериментів, для отримання карбонатованого зразка № 2'.

Приготування бетонів №№ 1-3:

Три бетони (бетон № 1, бетон № 2 і бетон № 3) були приготовлені відповідно до традиційного процесу виробництва бетону.

Зокрема, бетон № 1 був приготовлений з використанням піску та природних гранулятів.

Бетон № 2 був приготовлений з таким самим складом піску і природних гранулятів, як і бетон № 1, за винятком того, що 30 % маси природного піску було замінено на піщану фракцію карбонатованого зразка № 2.

Бетон № 2 був приготовлений з таким самим складом піску і природних гранулятів, як і бетон № 1, за винятком того, що 30 % маси природного піску було замінено на піщану фракцію карбонатованого зразка № 2'.

Властивості бетонів №№ 1-3:

Враховуючи кількість природного піску, заміщеного в бетонах № 2 та № 3 карбонатованою піщаною фракцією, а саме піщаною фракцією, що походить відповідно з карбонатованих зразків № 2 та № 2', а також рівень діоксиду вуглецю, який був уловлений під час прискореної карбонатації при приготуванні цих карбонатованих піщаних фракцій карбонатованих зразків № 2 та № 2', бетони № 2 та № 3 мають вуглецевий баланс, знижений на 10,8 % та 8,5 %, відповідно, у порівнянні з бетоном № 1.

Бетони № 2 та № 3 мають не однаковий відсоток зниження вуглецевого балансу. Це пояснюється вищезгаданим різним походженням піщаних фракцій 0/2, які були використані для отримання карбонатованих зразків № 2 та № 2'. Розбіжність у відсотках на 2,3 % не є дивною, враховуючи різне походження двох піщаних фракцій 0/2 і, отже, відмінності в їх фізико-хімічних властивостях. Таким чином, можна стверджувати, що зразок № 2 поглинув під час прискореної карбонатації більше діоксиду вуглецю, ніж зразок № 2'.

Міцність на стиснення бетонів №№ 1-3 вимірювали відповідно до стандарту NF EN 12390 3 на зразках

розміром 11 x 22 см після 7 і 28 днів мокрого твердіння при 20 °С.

В Таблиці 2 нижче наведено дані про міцність на стиснення (виражену в МПа) через 7 днів і 28 днів для бетонів №№ 1-3.

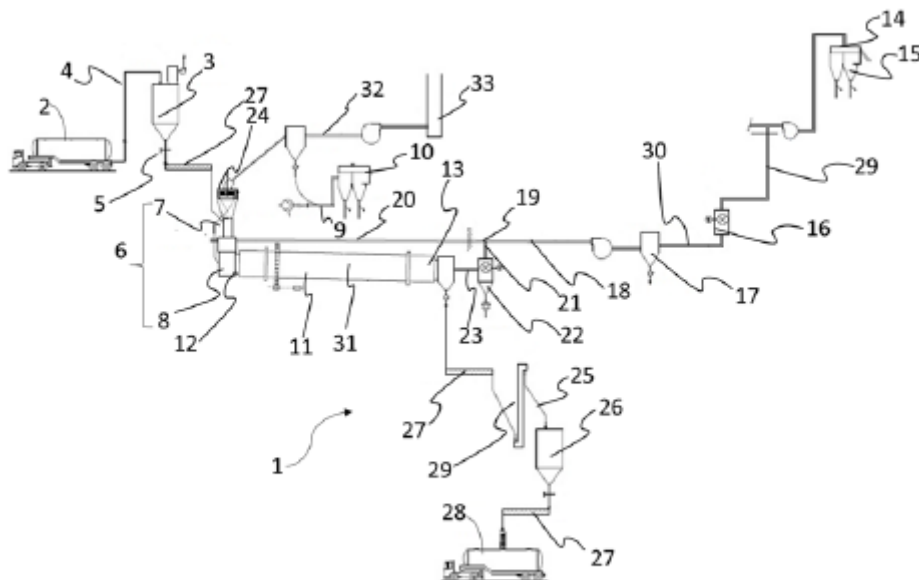
Таблиця 2

|           | Міцність на стиснення через 7 днів<br>(МПа) | Міцність на стиснення через 28 днів<br>(МПа) |
|-----------|---------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Бетон № 1 | 29                                          | 36,5                                         |
| Бетон № 2 | 29,1                                        | 36,4                                         |
| Бетон № 3 | 28,8                                        | 37,3                                         |

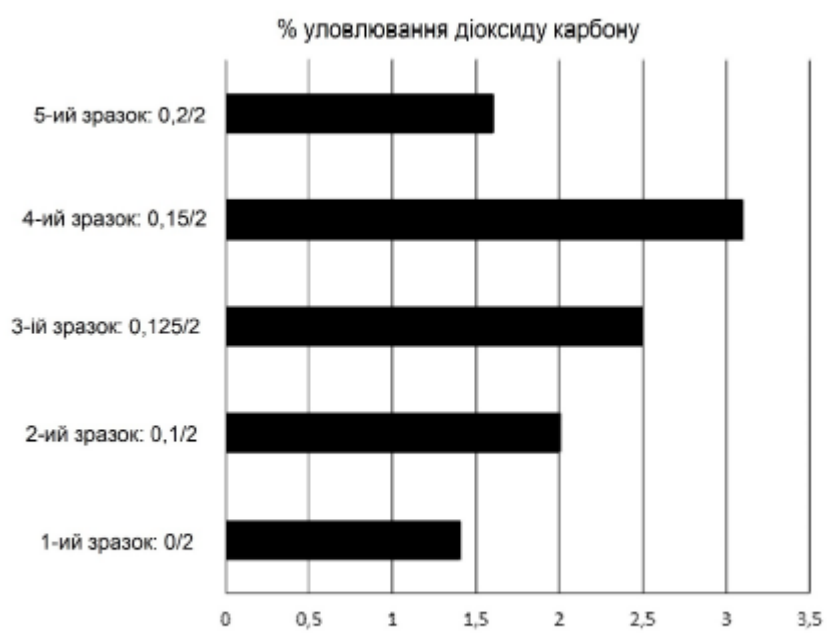
З огляду на Таблицю 2, можна стверджувати, що міцність на стиснення бетонів № 2 і № 3 еквівалентна міцності бетону № 1. Через 7 днів міцність на стиснення бетонів № 2 і № 3 дуже близька до міцності бетону № 1, а через 28 днів міцність на стиснення бетону № 3 дещо краща, ніж у бетону № 1.

Таким чином, ці лабораторні експерименти показують, що бетони, отримані з піщаних фракцій, у яких певна частина природного піску була замінена карбонатованими піщаними фракціями, отриманими після завершення прискореної карбонатизації, проведеної на піщаних фракціях з розміром зерен 0,1/2 (тобто піщаних фракціях, з яких були видалені дрібні матеріали з розміром зерен менше 0,1), мають механічні властивості, еквівалентні властивостям бетонів, отриманих з природного піску.

Ці експерименти демонструють, що спосіб прискореної карбонатизації перероблених бетонних гранулятів є ефективним рішенням для отримання перероблених бетонних гранулятів, які є ідеальними замінниками природних гранулятів для використання в бетонних сумішах.



Фіг. 1



Фіг. 2