

**УКРАЇНА**

(19) **UA** (11) **119440** (13) **C2**  
(51) МПК  
**B28B 11/24** (2006.01)  
**C04B 40/02** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

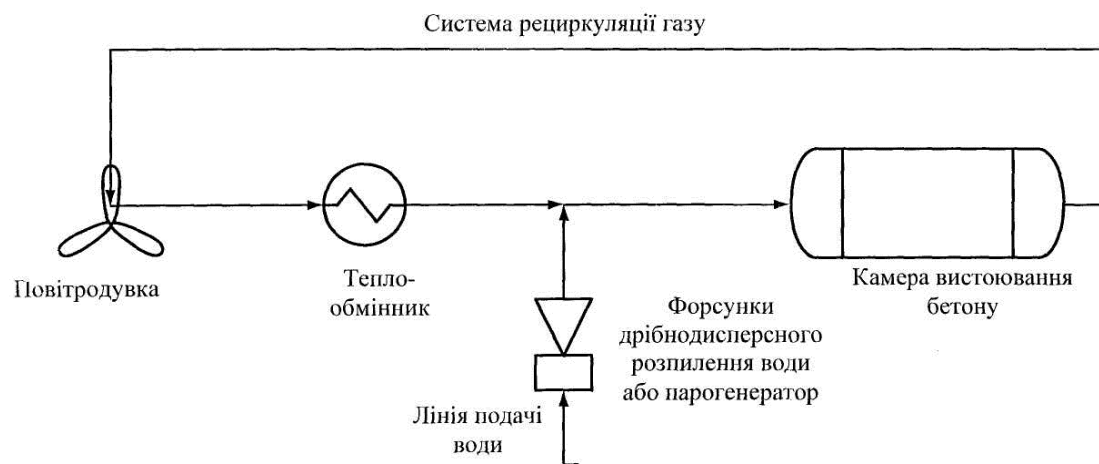
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

<b>(21)</b> Номер заявки:	<b>а 2015 09778</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и):	<b>Капплер Джон П. (US),</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки:	<b>13.03.2014</b>		<b>Атакан Вахіт (US),</b>
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>25.06.2019</b>		<b>Сміт Кеннет (US),</b>
<b>(31)</b> Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	<b>61/785,226</b>		<b>Ху Сюйдун (US)</b>
<b>(32)</b> Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	<b>14.03.2013</b>	<b>(73)</b> Власник(и):	<b>СОЛІДІА ТЕКНОЛОДЖИЗ, ІНК.,</b>
<b>(33)</b> Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	<b>US</b>		<b>11 Colonial Drive, Piscataway, NJ 08854,</b>
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку:	<b>25.01.2016, Бюл.№ 2</b>		<b>United States of America (US)</b>
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>25.06.2019, Бюл.№ 12</b>	<b>(74)</b> Представник:	<b>Мошинська Ніна Миколаївна, реєстр.</b>
<b>(86)</b> Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	<b>PCT/US2014/025958, 13.03.2014</b>		<b>№115</b>
		<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	<b>UA 73492 U, 25.09.2012</b>
			<b>SU 88345 A, 01.01.1951</b>
			<b>US 4436498 A, 13.03.1984</b>
			<b>SU 1717371 A1, 07.03.1992</b>
			<b>CN 101139182 A, 12.03.2008</b>
			<b>WO 2009078430 A1, 25.06.2009</b>
			<b>US 5257464 A, 02.11.1993</b>
			<b>US 4772439 A, 20.09.1988</b>
			<b>JP 2006143531 A, 08.06.2006</b>

**(54) СИСТЕМИ ВИСТОЮВАННЯ МАТЕРІАЛІВ, ЯКІ СПОЖИВАЮТЬ ДВООКИС ВУГЛЕЦЮ, І СПОСІБ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ****(57) Реферат:**

Винахід пропонує систему вистоювання, яка корисна для вистоювання матеріалів, що споживають двоокис вуглецю як реагент. Система має камеру вистоювання, яка містить матеріал, який потрібно вистоювати, і газ, який містить двоокис вуглецю. Система містить пристрій, який може постачати двоокис вуглецю для переміщення навколишнього повітря при завантаженні системи, яка може надавати двоокис вуглецю, коли він потрібен і коли він споживається, яка може керувати концентрацією двоокису вуглецю, температурою і вологістю у камері вистоювання під час циклу вистоювання, і яка може записувати і відображати користувачеві змінні величини, які виникають під час процесу вистоювання.

**UA 119440 C2**



Фіг. 1  
ПОПЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ ТЕХНІКИ

## ПЕРЕХРЕСНЕ ПОСИЛАННЯ НА СПОРІДНЕНІ ЗАЯВКИ

Ця заявка вимагає пріоритет за попередньою заявкою на патент США, що знаходиться на розгляді, за № 61/785,226, поданою 14 березня 2013 року, зміст якої повністю включений в цей документ за допомогою посилання.

## 5 ГАЛУЗЬ ВИНАХОДУ

Винахід зазвичай стосується систем і способів підготування нових композитних матеріалів. Зокрема, винахід стосується обладнання і способів, що використовуються для виготовлення синтетичних матеріалів з множини загально доступних сировинних (або початкових) матеріалів, включаючи воду і двоокис вуглецю. Ці композитні матеріали придатні для множини

10 використання у будівництві, інфраструктурі, мистецтві і декоруванні.

## ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ВИНАХОДУ

## БЕТОННІ ТА КАМ'ЯНІ МАТЕРІАЛИ

Люди знали і використовували бетон і камінь з давніх часів. Наприклад, матеріали, такі як бетон, сланець, граніт і мармур, використовуються у будівництві різних корисних конструкцій.

15 Бетон використовується для всіх типів конструкцій, включаючи шляхи, будинки і будівельні компоненти, такі як труба, блок, бруківка, і залізничні шпали. Бетон має багато корисних властивостей, таких як твердість (або стійкість до деформації з боку механічних сил), вогнестійкість, водостійкість і стійкість до речовин, включаючи стійкість до утворення плісняви і утворення грибка.

20 Сланець є дрібнозернистою метаморфічною породою, утвореною головним чином з кварцу і слюди (який іноді має формулу  $KAl_2(AlSi_3O_{10})$ ). Через те, що сланець плаский, твердий, вогнестійкий, водостійкий і стійкий до речовин, включаючи стійкість до утворення плісняви і утворення грибка, він знаходить використання у будівництві і конструкціях, таких як бруківка і матеріали для даху. Сланець буває в множині кольорів, наприклад, сірому (від блілого до темного), зеленому, зелено-блакитному або пурпурному. Сланець зазвичай "листовий", або шаруватий, так що він утворює виразні рисунки на пласкій поверхні. Його унікальні естетичні та фізичні якості роблять сланець бажаним матеріалом в будівництві, а також у декоративному мистецтві та скульптурі.

30 Штучні подібні до сланцю матеріали були вивчені у спробах замінити більш дорогий і рідкісний сланець низько витратними матеріалами-імітаторами, які легко виготовляти. Такі спроби, проте, ще повинні привести до виготовлення синтетичного матеріалу, який має бажаний вигляд, текстуру, щільність, твердість, пористість та інші естетичні характеристики сланцю, який в той же час можна виготовляти у великій кількості при низьких витратах з мінімальним впливом на довкілля.

35 "Композитний сланець" - це штучна заміна сланцю, виготовлена з переробленої гуми і пластику. Хоча ці продукти нагадують сланець зовнішнім виглядом і деякими властивостями (в основному, вони водостійкі та стійкі до хімічних елементів), їм бракує твердості сланцю, вони не вогнестійкі до рівня вогнестійкості сланцю, і у них зовсім різне "відчуття". Поблизу, вони виглядають по-різному. Нарешті, хоча вони можуть містити перероблені матеріали, вони базуються на матеріалах, які є похідними продуктів нафтохімії.

40 Ламінований асфальтовий толь має штучний вигляд, який робить його значно менш бажаним, ніж натуральний сланець. Інші штучні матеріали-імітатори сланцю підготовлюються з синтетичним гумовим зв'язувальним матеріалом. Ці способи страждають на низьку недоліків, включаючи недостатню відтворюваність, низьку продуктивність, погіршення стану, високі витрати на обробку, незадовільні механічні властивості, і тому подібне.

45 Граніт є магматичною породою, яка містить, в основному, кварц, слюду і шпат. Він зазвичай має велику зернистість всередині дрібнозернистої материнської породи. Відомо, що в природі він буває різного кольору.

50 Люди знали і використовували граніт з давніх часів. Його унікальні естетичні і фізичні якості зробили граніт бажаним матеріалом у будівництві, а також у декоративному мистецтві та скульптурі. Штучні матеріали, подібні до граніту, були вивчені у спробах замінити дорогий і рідкісний матеріал низько витратними матеріалами-імітаторами, які легко виготовляти. Такі спроби, проте, ще повинні привести до виготовлення синтетичного матеріалу, який має бажаний зовнішній вигляд, текстуру, щільність, твердість, пористість та інші естетичні характеристики граніту, які при цьому можна виробляти у великій кількості при низькій вартості з мінімальним впливом на довкілля.

55 Більшість штучних матеріалів-імітаторів граніту підготовлюються за допомогою змішування порошку з природного будівельного каменю і мінералів з синтетичною смолою (наприклад, акриловою, ненасиченою поліефірною, епоксидною). Ці способи страждають від низки недоліків, включаючи недостатню відтворюваність, низьку продуктивність, погіршення стану,

60

високі витрати на обробку, незадовільні механічні властивості, і тому подібне.

Люди знали і використовували мармур з давніх часів. Його унікальні естетичні і фізичні якості зробили мармур бажаним матеріалом у будівництві, а також у декоративному мистецтві та скульптурі. Штучні матеріали, подібні до мармуру, були вивчені у спробах замінити дорогий і рідкісний матеріал низько витратними матеріалами-імітаторами, які легко виготовляти. Такі спроби, проте, ще повинні привести до виготовлення синтетичного матеріалу, який має бажаний зовнішній вигляд, текстуру, щільність, твердість, пористість та інші естетичні характеристики мармуру, якій при цьому можна виробляти у великій кількості при низькій вартості з мінімальним впливом на довкілля.

Більшість штучних матеріалів-імітаторів мармуру підготовлюються за допомогою змішування порошку з природного будівельного каменю і мінералів з синтетичною смолою (наприклад, акриловою, ненасиченою поліефірною, епоксидною). Ці способи страждають від низьки недопільків, включаючи недостатню відтворюваність, низьку продуктивність, погіршення стану, високі витрати на оброблення, незадовільні механічні властивості, і тому подібне.

#### СТАНДАРТНІ КАМЕРИ ВИСТОЮВАННЯ БЕТОНУ

Стандартні камери вистоювання бетону використовуються у множині виробництв промислових збірних залізобетонних виробів. Камера вистоювання є повністю або частково замкненим об'ємом, всередині якого можуть створюватись регульовані умови середовища. Замкнений об'єм може визначатись твердими стінками жорсткої конструкції, такої як приміщення, або гнучким бар'єром, таким як брезентове укриття у формі тенту. Після утворення бетонного зразка він розміщується у регульованих умовах середовища з достатнім вмістом вологості і достатньо високою температурою, щоби забезпечити досягнення адекватної витримки у розумні терміни, як правило, вимірювані у днях. Вистоювання є життєво необхідним для якості продукції з бетону і має сильний вплив на властивості, такі як термін служби, міцність і зносостійкість. Належне вистоювання також допомагає зменшувати наслідки вторинних реакцій, що відбуваються протягом тривалого часу, які можуть спричиняти дефекти і небажані зміни кольору кінцевого продукту.

Вистоювання бетону допомагає хімічній реакції портланд-цементу, відомої як гідратація. Камера призначена для зберігання кондиціювання контрольованого середовища і для підтримування належної вологості всередині продукту впродовж процесу вистоювання. Будь-яка примітна втрата вологи значно відстрочить або попередить гідратацію і, таким чином, зменшить властивості продукту. Також температура відіграє критичну роль впродовж процесу вистоювання бетону, тому що температури нижче 10 °C або вище 70 °C дуже несприятливі для вистоювання, а температура 60 °C є оптимальною.

Деякі компанії, які виготовляють збірний бетон, пробують спрощені процеси вистоювання, використовуючи великі приміщення або ділянки, які покриті брезентом, в якому розміщується продукт, у спробі підтримувати температуру і вологість. Ці системи можуть діяти як засоби для утримування тепла, що виділяється від зразків у результаті екзотермічної реакції, що відбувається впродовж реакції гідратації або для утримування тепла або вологи, які можуть забезпечуватись зовнішніми нагрівачами або системами розпилення води. Найефективніший і продуктивний спосіб вистоювання зібраного бетону, проте, оснований на постійному, герметичному і контрольованому середовищі вистоювання.

Існують деякі компанії, які спеціалізуються в проектуванні, виготовленні та монтажі камер для вистоювання бетону на портланд-цемент для галузі збірних конструкцій для виробництва широкого діапазону продукції, що включає, але не обмежується ними, кам'яну бруківку, бетонні стінові блоки (CMU's), підпірні стіни, дахову черепицю. Ці системи вистоювання найчастіше конструюються із сталі, як правило із гальванізованої сталі, та ізолюються для попередження втрати тепла і підтримування енергоефективності. Деякі системи високоавтоматизовані і включають "вагонетки для цегли", які є автоматизованими системами транспортування, які переносять сформовані збірні вироби від пристрою для формування до стелажів камери вистоювання. Комерційні системи вистоювання можуть варіюватись від розміру стандартного контейнера для морських перевезень (приблизно 40 футів × 10 футів × 8 футів) до виробничих систем великого об'єму, які можуть бути такими великими, як 200 футів × 100 футів × 50 футів. Камери можуть бути сконфігурованими як одна система "Великого приміщення", якщо виріб є стабільним, але для виробників з багатьма лініями виробів, зазвичай, використовується система "Multi Lane", яка дозволяє окреме керування профілем температури і вологості кожної окремої ділянки, на якій може розміщуватись інша лінійка продукції.

На Фіг. 1 зображена принципова схема стандартної (попереднього рівня техніки) камери вистоювання бетону, включаючи основні компоненти, які є системою циркуляції, теплообмінником, і системою зволоження. Система може містити одну або багато

повітродувок для циркуляції газу, яка забезпечує достатньо високу швидкість газу вздовж виробів для уможливлення розподілу температури і вологості, як потрібно. Теплообмінник може використовувати прямий газовий пальник, непрямий газовий пальник, або електричний нагрівач. Система зволоження зазвичай включає форсунки дрібнодисперсного розпилення або парогенератор, що нагрівається, для забезпечення системи водяною парою. Температура і вологість контролюються за допомогою датчиків, які відправляють сигнали назад до комп'ютера або програмованого логічного контролера, який використовується для керування параметрами вистоювання. Багато систем передбачають повну послідовну автоматизацію з етапами поступового підвищення температури і вологості, затримки у спрацьовуванні, і охолодження, так як показано на ФІГ. 2 На ФІГ. 2 зображена крива, яка ілюструє стандартний (попереднього рівня техніки) профіль вистоювання бетону, що показує температуру як функцію часу.

#### СИСТЕМИ ОБРОБЛЕННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДВООКИС ВУГЛЕЦЮ

Серед описів систем, які використовують двоокис вуглецю як реагент:

Kraft Energy, яка описує своє використання у низці документів, таких як Системи вистоювання бетону Kraft Energy. Kraft Energy на сторінці 195 стверджує, що карбонізація (бетону) є "[a] процесом, за яким двоокис вуглецю з повітря проникає у бетон і реагує з гідроксидами, такими як гідроксид кальцію, для утворення карбонатів. В реакції з гідроксидом кальцію, утворюється карбонат кальцію". На сторінці 37, Kraft Energy показує ілюстрацію кам'яної бруківки, яка була карбонізована. Підпис під зображенням повідомляє "Стандартна карбонізація, знайдена після вистоювання парою 7 N/мм<sup>2</sup> твердого блока впродовж 24 годин. (Показник фенолфталеїну)". На зображенні показується блок, який має сіру ділянку на його поверхнях, і центральну пурпурну ділянку. Відомо, що фенолфталеїн є центральною сполукою з формулою C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>O<sub>4</sub>. Вона не має кольору в кислотних розчинах і є рожевою в базових розчинах. Якщо концентрація індикатора особливо сильна, він може здобувати пурпурний колір. Як очевидно із зображення, карбонізація тільки продовжується до малої глибини і не відбувається в центральній частині блока.

Також відомий у попередньому рівні техніки Murray, патент США за № 4,117,060, виданий 26 вересня 1978 року, який, як повідомляють, розкриває спосіб і пристрій, які надаються для виготовлення продукції з бетону або подібних конструкцій, в яких суміш вапняної цементної в'язучої речовини, такої як цемент, щебінь, вініл ацетатедибутил малеат співполімер, і кількість води, достатньої для утворення відносно сухої суміші, ущільнюється до бажаної конфігурації у формі, і з сумішшю, яка піддається впливу газу двоокису вуглецю у формі, до відбування ущільнення, так щоб газ двоокису вуглецю зреагував з інгредієнтами для забезпечення затверділого виробу в прискореному стані вистоювання, який має відмінні фізичні властивості.

Також відомий у попередньому рівні техніки Malinowski, патент США за № 4,362,679, виданий 7 грудня 1982 року, який, як повідомляють, розкриває спосіб заливання різних типів виробів з бетону без необхідності використання камери вистоювання або автоклава бетон після змішування, заливається і зовнішньо та/або внутрішньо підлягає вакуумному обробленню для його зневоднювання і ущільнення. Потім вуглекислий газ подається до маси, при цьому підтримується підвищений або знижений тиск у спосіб, щоб газ, як результат зниженого тиску розсіюється в капіляри, сформовані у бетонній масі, для швидкого затвердіння маси. В одній формі виконання (див. ФІГ. 2), в якій маса (1) зневоднюється і ущільнюється за допомогою мати або пластини (2), які розмішуються на ній і піддаються зниженому тиску, через трубу або лінію (5) вуглекислий газ подається (через лінію 6) через вказану мату або пластину (2), при цьому використовуючи знижений тиск, що переважає у масі. В іншій формі виконання (див. ФІГ. 3) знижений тиск застосовується (через лінію 5) з одної або більше сторін (2b) форми до зовнішньої частини елемента, що заливається, або за допомогою спеціальних вкладишів, за допомогою отворів або порожнин форми до внутрішньої частини елемента, що заливається, або за допомогою спеціальних вкладишів, за допомогою отворів або порожнин всередині елемента або через шар пористого матеріалу (1 b) у його внутрішній частині. Потім відповідно подається вуглекислий газ (через лінію 6). Ці дві основні форми виконання можуть у певних випадках комбінуватись у різний спосіб. Також бетон може в той самий час або потім підлягати іншому типу оброблення, такому як просочування за допомогою належного розчину.

Також відомий у попередньому рівні техніки Getson, патент США за № 4,862,827, виданий 5 вересня, 1989, який, як повідомляють, розкриває в колонці 3, терміни 26-32, що "Посилаючись на ФІГ. 1, показується повітрязабірник 33 і випускання 37, з камерою 35 нижче потоку повітря від повітрязабірника 33. Ця камера може використовуватись для введення двоокису вуглецю для прискорення і вистоювання певних сумішей і/або це може використовуватись для введення 30 додаткової вологості для подальшого прискорення вистоювання систем, що можуть втримуватись за допомогою вологості".

Також відомий у попередньому рівні техніки Charlebois, патент США № 5,800,752, виданий 1 вересня, 1998, який, як повідомляється, розкриває полімерні композитні вироби, включаючи вироби з полімерного бетону, армованого полімерного бетону і армованого пластику, такого як маса: формувальний компаунд, листовий формувальний компаунд, мінеральний формувальний компаунд і вдосконалені формувальні системи, виготовляються за допомогою додаткового застосування вібрації, тепла і тиску до суміші наповнювача і полімерного в'язучого матеріалу. Одночасне застосування вібрації, тепла і тиску забезпечує захисний шар полімеризованого в'язучого матеріалу, який захищає поверхні форми і забезпечує вироби, які головним чином вільні від зморщування, розламування і порожнин. Процес цього винаходу головним чином зменшує час, який потрібен для вистоювання полімерних композитних виробів.

Також відомий із попереднього рівня техніки Soroushian et al., патент США за № 5,935,317, виданий 10 серпня, 1999, який, як заявляється, розкриває період попереднього твердіння з  $\text{CO}_2$  до прискореного (парового або парового під високим тиском) вистоювання цементу і цементних виробів для: (1) підготовки виробів витримувати високу температуру і паровий тиск у прискореному середовищі вистоювання без утворення мікротріщин і пошкодження; і (2) включає переваги реакцій карбонізації за показниками стабільності розмірів, хімічної стабільності, підвищеної міцності і твердості, і покращеної абразивної стійкості у цементних і бетонних виробках без значного змінення стандартних процедур прискореного вистоювання. Залежно від вмісту вологості виробу, за винаходом може виконуватись попереднє вистоювання з  $\text{CO}_2$  за допомогою першого сушіння виробу (наприклад, трохи підвищена температура) і потім піддавати його середовищу, багатому на вуглекислий газ. Активні реакції цементної пасти у присутності вуглекислого газу забезпечують вироби з підвищеною міцністю, цілісністю і хімічною стабільністю, стабільністю зберігати розміри у відносно короткий період часу. Подальше вистоювання, навіть у скорочені періоди часу (з меншими витратами енергії і фінансів) дасть більш високі робочі характеристики, ніж можуть досягатись із стандартним періодом попереднього вистоювання, після якого відбувається прискорене вистоювання виробів з цементу і бетону.

Також відомий із попереднього рівня техніки Ramme et al., патент США за № 7,390,444, виданий 24 червня, 2008, який, як повідомляється, розкриває процес ізолювання вуглекислого газу від димового газу, що виходить з камери згорання. У процесі формується піна, що містить піноотвірний агент і димовий газ, і піна додається до суміші, яка містить цементувальний матеріал (наприклад, летку золу) і воду, для утворення спіненої суміші. В подальшому спінена суміш залишається на усадку, переважно до матеріалу з контрольованою низькою міцністю, який має міцність на стиснення 1200 фунтів/кв. дюйм або менше. Двоокис вуглецю у димовому газі і відпрацьована теплота реагують з продуктами гідратації у матеріалі з контрольованою низькою міцністю для збільшення міцності (МКНМ). У цьому процесі двоокис вуглецю ізолюється. МКНМ може подрібнюватись або гранулюватись для утворення легкого заповнювача із властивостями, подібними до природного мінералу, пемзи.

Також відомий із попереднього рівня техніки CARBONCURE TECHNOLOGIES INC., публікація по міжнародній заявці на патент за № WO 2012/079173 A1, опублікованої 21 червня 2012, який, як повідомляється, розкриває вироби з бетону, включаючи блоки, значно планарні вироби (такі як бруківка) і порожнисті вироби (такі як порожнисті труби), утворюються у формі, при цьому двоокис вуглецю вводиться у бетон у формі через перфоровані отвори.

Всі вищезазвані документи, які описують реакції двоокису вуглецю з бетоном, стосуються бетону, який має портланд-цемент як в'язуючий агент. Портланд-цемент вистоюється за відсутності  $\text{CO}_2$  через реакцію гідратації.

Також, існуючі методи зазвичай спричиняють велике споживання енергії і викиди двоокису вуглецю з несприятливим вуглецевим відбитком.

Існує поточна потреба у пристрої і способах виготовлення нових композитних матеріалах, які показують корисні естетичні і фізичні характеристики і можуть бути випускатись масово при низькій вартості з покращеним споживанням енергії і бажаним вуглецевим відбитком.

#### СУТЬ ВИНАХОДУ

Винахід базується на несподіваному відкритті нових композитних матеріалів, таких як матеріали подібні бетону і каменю, які можна легко виробляти з широко наявних, низько затратних вихідних матеріалів у твердій формі за допомогою процесу, придатного для великомасштабного виробництва. Вихідні матеріали включають в'язучі елементи, які містять силікат кальцію (наприклад, частковий подрібнений воластоніт), і часткові заповнювачі, які включають матеріали (наприклад, кварц та інші матеріали, що містять  $\text{SiO}_2$ , граніт, слюду і шпат). Рідинний компонент також надається як середовище реакції, який містить рідку воду і/або водяну пару у реагент, двоокис вуглецю ( $\text{CO}_2$ ). Додаткові матеріали можуть включати

природні та вторинні матеріали, і матеріали багаті на карбонат кальцію і карбонат магнію, а також домішки до рідинного компонента, такі як диспергатор, розчинений у воді.

Різні домішки можуть використовуватись для точного підбору фізичного вигляду і механічних властивостей композитного матеріалу, що отримується в результаті, таких як частинки кольорових матеріалів, таких як кольорове скло, кольоровий пісок, і частинки кольорового кварцу, і пігментів (наприклад, чорний залізоокисний пігмент, оксид кобальту і оксид хрому). Деякі можуть використовувати термін "барвники" для посилання на забарвлені матеріали, або на пігменти, або на ті та інші. Для відтворення вигляду подібно сланцю, часткові заповнювачі можуть містити великі частинки і дрібні частинки. Великі частинки головним чином є матеріалами на основі силікату для забезпечення твердості, і дрібні частинки можуть бути широким різноманіттям матеріалів, включаючи пісок, розмелені, подрібнені або іншим чином перетворені в порошок матеріали, вибрані з мінералів і домішок.

Ці композитні матеріали можуть мати естетичні візуальні рисунки, а також демонструвати міцність на стискання, міцність на вигин і водопоглинання подібно відповідним природним матеріалам. Композитні матеріали винаходу можуть виготовлятися, використовуючи ефективний процес гідротермального рідкофазового спікання (HLPS) за допомогою газу при низькій вартості із значно покращеним споживанням енергії і вуглецевим відбитком. Дійсно, у переважній формі виконання винаходу,  $\text{CO}_2$  споживається як реакційно здатна частинка, що в результаті приводить до чистого ізолювання  $\text{CO}_2$ .

Згідно з одним аспектом, винахід показує систему вистоювання для вистоювання матеріалу, який потребує  $\text{CO}_2$  як агент вистоювання. Матеріал не вистоює за відсутності  $\text{CO}_2$ . Матеріал не споживає воду як реагент. Система вистоювання містить камеру вистоювання, сконфігуровану для вміщення матеріалу, що споживає  $\text{CO}_2$  як реагент (або реагент), і який не вистоює за відсутності  $\text{CO}_2$ . Камера вистоювання має щонайменше один порт, сконфігурований так, щоби уможливити введення матеріалу у камеру вистоювання, і який потрібно видаляти з камери утримання, і має щонайменше одне закриття для порту, закриття сконфігуроване для забезпечення атмосферного затвору, коли закритий, щоби попередити забруднення газу, що присутній у камері вистоювання, газом, що знаходиться поза межами камери вистоювання; джерело двоокису вуглецю, сконфігурованого для надання газоподібного двоокису вуглецю в камеру вистоювання через отвір входу газу в камеру вистоювання, джерело двоокису вуглецю, що має щонайменше один пристрій регулювання потоку, сконфігурований для керування витратою потоку газоподібного двоокису вуглецю в камеру вистоювання; підсистему газового потоку, сконфігурованої для циркулювання газу через камеру вистоювання впродовж періоду, коли матеріал, що споживає  $\text{CO}_2$  як реагент, витримується; підсистема керування температури, сконфігурована для керування температурою газу всередині камери; підсистему керування вологістю в газі всередині камери для підвищення або зменшення вологості; і щонайменше один контролер у зв'язку з щонайменше одним джерелом двоокису вуглецю, підсистему газового потоку, підсистему керування температурою, і підсистему керування вологістю; і щонайменше один контролер, сконфігурований для керування незалежно впродовж періоду часу, коли матеріал, що споживає  $\text{CO}_2$  як хімічний реагент, витримується щонайменше при відповідній швидкості потоку газоподібного двоокису вуглецю, циркулювання газу через камеру вистоювання, температура газу і вологість у газі.

В одній формі виконання, камера вистоювання сконфігурована для вміщення тиску газу в ній, який вище атмосферного тиску.

В іншій формі виконання щонайменше один пристрій регулювання потоку містить щонайменше один регулятор тиску і контролер потоку, сконфігурований для постачання газу двоокису вуглецю при швидкості, значною мірою рівною швидкості споживання двоокису вуглецю матеріалом, що споживає  $\text{CO}_2$  як хімічний реагент впродовж вистоювання.

Ще в іншій формі виконання щонайменше один пристрій регулювання потоку містить щонайменше один регулятор тиску і контролер потоку, сконфігурований для постачання газу двоокису вуглецю при швидкості, достатній для продування навколишньої атмосфери з камери вистоювання у період часу між 2-120 хвилин для досягнення наміченої концентрації  $\text{CO}_2$  у діапазоні 50-90 % за об'ємом.

Ще в іншій формі виконання щонайменше один пристрій регулювання потоку містить щонайменше один регулятор тиску і контролер потоку, сконфігурований для постачання газу двоокису вуглецю при швидкості, значною мірою рівній швидкості випуску газу з камери вистоювання.

В іншій формі виконання, підсистема потоку газу включає вимірювальний пристрій, сконфігурований для вимірювання кількості двоокису вуглецю у газі, що присутній в камері вистоювання.

В одній формі виконання, підсистема потоку газу включає вимірювальний пристрій, сконфігурований для вимірювання швидкості газу, присутнього в камері вистоювання.

В одній формі виконання, вимірювальний пристрій, сконфігурований для вимірювання швидкості газу, вибирається з трубки Піто, вимірювальної діафрагми, анемометра і лазерної  
5 Допплерівської системи виявлення.

В одній формі виконання, підсистема потоку газу включає повітродувку із змінюваною швидкістю, сконфігурованою для циркулювання газу при бажаній швидкості в камері вистоювання.

10 Ще в іншій формі виконання, підсистема керування температурою включає датчик, який сконфігурований для вимірювання температури газу в камері вистоювання.

У додатковій формі виконання, підсистема керування температурою включає теплообмінник для регулювання температури газу в камері вистоювання.

15 Ще в одній формі виконання, підсистема керування температурою включає теплообмінник для керування температурою газоподібного двоокису вуглецю, який подається в камеру вистоювання через отвір входу газу в камері вистоювання.

Ще в іншій формі виконання, підсистема керування температурою включає нагрівач, розташований на зовнішній поверхні камери вистоювання або вбудований в стінах камери.

В одній формі виконання, підсистема керування вологістю включає вимірювальний пристрій, сконфігурований для визначення відносної вологості газу всередині камери.

20 В іншій формі виконання, підсистема керування вологістю включає конденсатор і одностороннє водовідведення конденсату, сконфігуроване для зменшення вологості в газі всередині камери.

Ще в іншій формі виконання, підсистема керування вологістю включає випускний клапан, сконфігурований для зменшення вологості в газі всередині камери.

25 Ще в іншій формі виконання, підсистема керування вологістю включає водопостачання, сконфігуроване для підвищення вологості у газі всередині камери.

В іншій формі виконання щонайменше один контролер є програмованим логічним контролером.

30 Ще в іншій формі виконання щонайменше один контролер є програмованим комп'ютером загального призначення, який працює під керуванням набору інструкцій, записаних на машинному носії інформації.

У додатковій формі виконання щонайменше один контролер включає дисплей, сконфігурований для показування користувачу будь-якого з: тривалість циклу вистоювання, витрата потоку газоподібного двоокису вуглецю, концентрація двоокису вуглецю в камері  
35 вистоювання, тиск газу в камері вистоювання, швидкість циркулювання газу через камеру вистоювання, температура газу, і вологість в газі.

40 Ще в одній формі виконання, щонайменше один контролер сконфігурований для записування будь-чого з: тривалість циклу вистоювання, витрати потоку газоподібного двоокису вуглецю, концентрація двоокису вуглецю у камері вистоювання, тиск в газі у камері вистоювання, швидкість циркуляції газу через камеру вистоювання, температура газу, і волога в газі.

Ще в іншій формі виконання щонайменше один контролер включає дисплей з сенсорним екраном.

#### СТИСЛИЙ ОПИС КРЕСЛЕНЬ

45 На ФІГ. 1 зображена блок-схема стандартної (попередній рівень техніки) камери вистоювання бетону.

На ФІГ. 2 зображений графік, який ілюструє стандартний (попередній рівень техніки) профіль вистоювання бетону, який показує температуру як функцію часу.

50 На ФІГ. 3(a)-3(c) зображені схематичні ілюстрації поперечних розрізів в'язучих елементів згідно з прикладом форми виконання цього винаходу, включаючи три приклади головної структури: (a) волокниста, (b) еліптична, і (c) рівновісна.

На ФІГ. 4(a)-4(f) зображені схематичні ілюстрації вигляду збоку і вигляди у розрізі композитних матеріалів згідно з прикладами форм виконання цього винаходу, що ілюструють (a) 1D орієнтовані в'язучі елементи у формі волокна у розчиненій в'язучій матриці (в'язучі  
55 елементи не торкаються), (b) 2D орієнтовані в'язучі елементи у пластинчатій формі у розчиненій в'язучій матриці (в'язучі елементи не торкаються), (c) 3D орієнтовані в'язучі елементи у пластинчатій формі у розчиненій в'язучій матриці (в'язучі елементи не торкаються), і (d) орієнтовані в довільному порядку в'язучі елементи у пластинчатій формі у розчиненій в'язучій матриці (в'язучі елементи не торкаються), де композитні матеріали містять в'язучу  
60 матрицю і компоненти заповнювача, такі як полімери, метали, неорганічні частинки, щабільні і



таке інше, (е) концентрована в'яжуча матриця (з об'ємним вмістом, достатнім для встановлення перколяційної мережі) в'яжучих елементів, де матриця є 3D орієнтованою, і (f) концентрована в'яжуча матриця (з об'ємним вмістом, достатнім для встановлення перколяційної мережі) орієнтовані в довільному порядку в'яжучі елементи, де компоненти заповнювача, такі як

полімери, метали, неорганічні частинки, щебінь і таке інше можуть включатись.

На ФІГ. 5 зображена блок-схема камери вистоювання бетону з  $\text{CO}_2$ , яка побудована і працює згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 6 зображена блок-схема камери вистоювання бетону з  $\text{CO}_2$ , яка забезпечує зволоження згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 7 зображена блок-схема вистоювання бетону з  $\text{CO}_2$ , яка забезпечує видалення вологи за допомогою продування волого газу згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 8 зображена блок-схема камери вистоювання з  $\text{CO}_2$ , яка забезпечує видалення вологи за допомогою використання охолодженого теплообмінника згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 9 зображена блок-схема камери вистоювання, яка має лінію продування  $\text{CO}_2$  і лінію поповнення  $\text{CO}_2$  постійного потоку згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 10 зображена блок-схема камери вистоювання, яка має лінію продування  $\text{CO}_2$ , і яка може забезпечити поновлення  $\text{CO}_2$  регульованого тиску згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 11 зображена блок-схема камери вистоювання середнього розміру з множиною способів керування вологістю, а також здатність для керування і поновлення  $\text{CO}_2$ , за допомогою використання постійного потоку або регулювання тиску, і яка може керувати вологістю згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 12 зображені декілька барабанних реакторів, побудованих з барабанів 55 галонів нержавіючої сталі.

На ФІГ. 13 зображена внутрішня частина реактора барабанного типу, включаючи підставки для підтримки піддонів матеріалів, які потрібно в ній переробити.

На ФІГ. 14 зображена зовнішня частина барабанного реактора, яку оточує нагрівальна оболонка, і яка показує декілька з'єднувачів термопари і отвір входу газу.

На ФІГ. 15 зображена панель керування барабанного реактора, яка показує чотири контролери, які керують (зліва направо) нагрівачем занурюваного типу, нагрівальну оболонку, вбудований газовий нагрівач і вентилятор, з виведенням інформації для температур з трьох нагрівачів.

На ФІГ. 16 зображена доступна на ринку камера вистоювання бетону, збудована CDS Inc., яка була модернізована на вистоювання з  $\text{CO}_2$  під низьким тиском згідно з винаходом.

На ФІГ. 17 зображена ділянка внутрішньої частини камери з ФІГ. 16, яка демонструє подальші модифікації, зроблені в системі вистоювання портланд-цементу за попереднім рівнем техніки.

На ФІГ. 18 зображений інший вигляд недисперсійного інфрачервоного газового аналізатора  $\text{CO}_2$  1740.

На ФІГ. 19 зображений вигляд всередині камери вистоювання, який ілюструє додаткові компоненти, що були додані.

На ФІГ. 20 зображений екран, знятий з дисплея, з'єданого з програмованим логічним контролером, який керує камерою вистоювання згідно з принципами винаходу.

На ФІГ. 21 зображений відповідний профіль температури і вологості для прикладу 5.

На ФІГ. 22 зображений відповідний профіль температури і вологості для прикладу 6.

#### ДЕТАЛЬНИЙ ОПИС ВІНАХОДУ

Суть цього винаходу - система вистоювання, яка утворює контрольовану атмосферу, в якій температура, тиск, концентрація  $\text{CO}_2$ , відносна вологість і швидкість газу контролюються і керуються для утворення остаточних виробів на основі бетону, які переважно витримуються у присутності  $\text{CO}_2$  і не повністю витримуються при відсутності  $\text{CO}_2$ .

Композитні матеріали, виготовлені за допомогою гідротермального рідкофазового спікання.

В цьому винаході пропонується пристрій і способи, які використовуються для виготовлення нових композитних матеріалів, які витримуються переважно за допомогою реакції споживання  $\text{CO}_2$ , які демонструють корисні властивості і можуть легко виготовлятися з широко наявних, низькозатратних попередніх матеріалів за допомогою процесу, придатного для великомасштабного виробництва з мінімальним впливом на довкілля. Попередні матеріали включають недорогі матеріали, що є в достатку, які багаті на силікат кальцію і карбонат кальцію, наприклад, розмелений воластоніт, розмелений вапняк, великозернисті частинки і дрібнозернисті частинки. Великі частинки і дрібні частинки зазвичай матеріали на основі  $\text{SiO}_2$  для забезпечення твердості. Великі і дрібні частинки можуть включати мінерали (наприклад,

кварц та інші матеріали, що містять  $\text{SiO}_2$ , граніт, слюду і польовий шпат. Інші ключові компоненти процесу включають воду і  $\text{CO}_2$ . Різні домішки можуть використовуватись для змінення і точного підбирання фізичного вигляду і/або механічних властивостей отриманого в результаті композитного матеріалу, такі як використання пігментів (наприклад, чорний залізоокисний пігмент, оксид кобальту і оксид хрому) і кольорове скло і кольоровий кварц.

Ці композитні матеріали відбивають різні рисунки, текстури та інші характеристики, такі як візуальні рисунки різних кольорів. Додатково, композитні матеріали винаходу демонструють міцність на стиснення, міцність на вигинання і властивості водопоглинання, подібно до стандартного бетону або відповідних природних матеріалів. Також композитні матеріали можуть виготовлятися, як розкривається в цьому документі, за допомогою використання енергоефективного процесу гідротермального рідкофазного спікання (HLPS) і можуть виготовлятися при низькій вартості і сприятливому впливі на довкілля. Наприклад, у переважних формах виконання винаходу,  $\text{CO}_2$  використовується як реактивноздатні частинки, що приводить в результаті до ізолювання  $\text{CO}_2$  у виготовлених композитних матеріалах з вуглецевим відбитком, що не має аналогів у одній існуючій технології виробництва. Процес гідротермального рідкофазного спікання (HLPS) приводиться в дію термодинамічно за допомогою вільної енергії хімічної(их) реакції(ій) зменшення поверхневої енергії (ділянки), яке спричиняється ростом кристалів. Кінетика процесу гідротермального рідкофазного спікання (HLPS) при розумній швидкості, при низькій температурі, тому що використовується розчин (водний або неводний) для перенесення реактивноздатних часток замість використання рідини з високою температурою плавлення або середовища в твердому стані з високою температурою.

Обговорення по різних аспектах HLPS можна знайти в патенті США за № 8,114,367, публікація в США за № US 2009/0143211 (заявка за серійним № 12/271,566), публікація в США за US 2011/0104469 (Appl. Serial No. 12/984,299), публікація в США за 20090142578 (заявка за серійним № 12/271,513), WO 2009/102360 (PCT/US2008/083606), WO 2011/053598 (PCT/US2010/054146), WO 2011/090967 (PCT/US2011/021623), заявка США за серійним № 13/411,218, подана 2 березня, 2012 (Riman et al.), заявка США за серійним № 13/491,098, подана 7 червня, 2012 (Riman et al.), попередня заявка на патент США за № 61/708,423, подана 1 жовтня, 2012, і попередня заявка на патент США за №№. 61/709,435, 61/709,453, 61/709,461, і 61/709,476, всі подані 4 жовтня, 2012, кожна з яких точно включена в цей документ через посилання у повному об'ємі у всіх відношеннях.

У певних формах виконання, композит також містить пігмент. Пігмент може рівномірно розподілятися або достатньо нерівномірно розподілятися у зв'язувальних матрицях, залежно від бажаного композитного матеріалу. Пігмент може бути будь-яким придатним пігментом, включаючи, наприклад, оксиди різних металів (наприклад, оксид заліза, оксид кобальту, оксид хрому). Пігмент може мати будь-який колір або кольори, наприклад, вибраний з чорного, білого, синього, сірого, рожевого, зеленого, червоного, жовтого і коричневого. Пігмент може бути присутнім у будь-якій придатній кількості, залежно від бажаного композитного матеріалу, наприклад, у кількості у діапазоні від приблизно 0,0 % до приблизно 10 % за вагою (наприклад, від приблизно 0,0 % до приблизно 8 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 6 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 5 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 4 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 3 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 2 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 1 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 0,5 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 0,3 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 2 %, від приблизно 0,0 % до приблизно 0,1 %,).

Множина зв'язувальних елементів може мати будь-який придатний середній розмір частинки і розподіл частинки за розміром, залежно від бажаного композитного матеріалу. У певних формах виконання, множина зв'язувальних елементів має середній розмір часток у діапазоні від приблизно 5 мкм до приблизно 100 мкм (наприклад, від приблизно 5 мкм до приблизно 80 мкм, від приблизно 5 мкм до приблизно 60 мкм, від приблизно 5 мкм до приблизно 50 мкм, від приблизно 5 мкм до приблизно 40 мкм, від приблизно 5 мкм до приблизно 30 мкм, від приблизно 5 мкм до приблизно 20 мкм, від приблизно 5 мкм до приблизно 10 мкм, від приблизно 10 мкм до приблизно 80 мкм, від приблизно 10 мкм до приблизно 70 мкм, від приблизно 10 мкм до приблизно 60 мкм, від приблизно 10 мкм до приблизно 50 мкм, від приблизно 10 мкм до приблизно 40 мкм, від приблизно 10 мкм до приблизно 30 мкм, від приблизно 10 мкм до приблизно 20 мкм).

Множина часток заповнювача може мати будь-який придатний середній розмір часток і розподіл часток за розміром. У певних формах виконання, множина часток заповнювача має середній розмір часток у діапазоні від приблизно 5 мкм до приблизно 7 мм (наприклад, від приблизно 5 мкм до приблизно 5 мм, від приблизно 5 мкм до приблизно 4 мм, від приблизно 5 мкм до приблизно 3 мм, від приблизно 5 мкм до приблизно 2 мм, від приблизно 5 мкм до

приблизно 1 мм, від приблизно 5 мкм до приблизно 500 мкм, від приблизно 5 мкм до приблизно 300 мкм, від приблизно 20 мкм до приблизно 5 мм, від приблизно 20 мкм до приблизно 4 мм, від приблизно 20 мкм до приблизно 3 мм, від приблизно 20 мкм до приблизно 2 мм, від приблизно 20 мкм до приблизно 1 мм, від приблизно 20 мкм до приблизно 500 мкм, від приблизно 20 мкм до приблизно 300 мкм, від приблизно 100 мкм до приблизно 5 мм, від приблизно 100 мкм до приблизно 4 мм, від приблизно 100 мкм до приблизно 3 мм, від приблизно 100 мкм до приблизно 2 мм, від приблизно 100 мкм до приблизно 1 мм).

У певних переважних формах виконання, частинки заповнювача виготовляються з матеріалу, багатого на карбонат кальцію, такого як вапняк (наприклад, перемелений вапняк). У певних матеріалах, частинки заповнювача виготовляються з одного або більше матеріалів на основі  $\text{SiO}_2$  або силікату, таких як кварц, слюда, граніт, і польовий шпат (наприклад, розмелений кварц, розмелена слюда, розмелений граніт, розмелений польовий шпат).

У певних формах виконання, частинки заповнювача можуть містити природні, синтетичні і вторинні матеріали, такі як скло, вторинне скло, вугільний шлак, матеріал, багатий карбонатом кальцію, і матеріал, багатий на карбонат магнію.

Множина зв'язувальних елементів може хімічним чином перетворюватись з будь-яких придатних попередніх матеріалів, наприклад, з попереднього силікату кальцію, який відрізняється від воластоніту. Попередній силікат кальцію може містити один, або більше хімічних елементів алюмінію, магнію та заліза.

Як вживається в цьому документі, термін "силікат кальцію" стосується природних мінералів, або синтетичних матеріалів, які містять одну, або більше груп сполук, що містять силікокальцій, включаючи  $\text{CaSiO}_3$  (також відомий як "воластоніт", або "псевдо воластоніт", та який іноді має формулу  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ),  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$  (також відомий як "ранкініт", та який іноді має формулу  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ),  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  (також відомий як "беліт", та який іноді має формулу  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ),  $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$  (також відомий як "аліт", та який іноді має формулу  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), чий матеріал може містити один, або більше іонів і оксидів іншого металу (наприклад, алюміній, магній, залізо або оксиди магнію), або їхні суміші, або можуть містити кількість силікату магнію у природній або синтетичній формі(ах), у діапазоні від нікчемно малої кількості (1 %) до приблизно 50 % або більше за вагою.

Слід розуміти, що композиції і способи, які розкриваються в цьому документі, можуть адаптовуватись для використання силікату магнію замість, або додатково до силікату кальцію. Як вживається в цьому документі, термін "силікат магнію" стосується природних мінералів або синтетичних матеріалів, які складаються з однієї або більше груп сполук, що містять магній-силікон, включаючи, наприклад,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  (також відомий як "фостеріт") і  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  (також відомий як "тальк"), чий матеріал може містити один або більше іонів і оксидів іншого металу (наприклад, кальцій, алюміній, залізо або оксиди магнію), або їхні суміші, або можуть містити кількість силікату кальцію у природній або синтетичній формі(ах) у діапазоні від нікчемно малої кількості (1 %) до приблизно 50 % або більше за вагою.

Термін "кварц", як вживається в цьому документі, стосується будь-якого матеріалу на основі  $\text{SiO}_2$ , включаючи звичайні піски (для будівництва і кам'яних робіт), а також скло і вторинне скло. Термін також включає будь-які інші природні або синтетичні матеріали, які містять значну кількість  $\text{SiO}_2$  (наприклад, слюда, яка іноді має формулу  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$ ).

Масове відношення (зв'язувальних елементів): (часток заповнювача) може бути будь-яким придатним відношенням, залежно від бажаного композитного матеріалу, наприклад, у діапазоні приблизно (від 15 до 50): приблизно (від 50 до 85).

У певних переважних формах виконання, множина зв'язувальних елементів готується за допомогою хімічного перетворення з розмеленого воластоніту (або не воластонітного попереднього силікату кальцію або силікату магнію) за допомогою вступання його в реакцію з  $\text{CO}_2$  через процес HLPS за допомогою газу.

У певних формах виконання, композитний матеріал характеризується міцністю на стискання, від приблизно 90 МПа до приблизно 175 МПа (наприклад, від приблизно 90 МПа до приблизно 150 МПа, від приблизно 90 МПа до приблизно 140 МПа, від приблизно 90 МПа до приблизно 130 МПа, від приблизно 90 МПа до приблизно 120 МПа, від приблизно 90 МПа до приблизно 110 МПа, від приблизно 100 МПа до приблизно 175 МПа, від приблизно 120 МПа до приблизно 175 МПа, від приблизно 130 МПа до приблизно 175 МПа, від приблизно 140 МПа до приблизно 175 МПа, від приблизно 150 МПа до приблизно 175 МПа, від приблизно 160 МПа до приблизно 175 МПа).

У певних формах виконання, композитний матеріал характеризується міцністю на вигін від приблизно 5 МПа до приблизно 30 МПа (наприклад, від приблизно 5 МПа до приблизно 25 МПа, від приблизно 5 МПа до приблизно 20 МПа, від приблизно 5 МПа до приблизно 15 МПа, від

приблизно 5 МПа до приблизно 10 МПа, від приблизно 10 МПа до приблизно 30 МПа, від приблизно 20 МПа до приблизно 30 МПа, від приблизно 25 МПа до приблизно 30 МПа).

У певних формах виконання, композитний матеріал характеризується водопоглинанням менше, ніж приблизно 10 % (наприклад, менше, ніж 8 %, 5 %, 4 %, 3 %, 2 %, 1 %).

5 У певних формах виконання, композитний матеріал має менше, ніж приблизно 10 % за масою одного або більше мінералів, вибраних з кварцу, слюди, польового шпату, карбонату кальцію і карбонату магнію.

Композитний матеріал може відбивати будь-які бажані текстури, рисунки і фізичні властивості, зокрема ті, що характеризують природний камінь. У певних переважних формах виконання, композитний матеріал демонструє візуальний рисунок, подібний до природного каменю. Інші характеристики включають кольори (наприклад, чорний, білий, синій, рожевий, сірий (від блілого до темного), зелений, червоний, жовтий, коричневий, синьо-зелений або пурпурний) і текстури.

15 В іншому аспекті, винахід зазвичай стосується процесу підготовки композитного матеріалу. Процес включає: змішування твердого складу і рідинного складу для утворення суспензійної суміші; формування суспензійної суміші у бажану форму, або виливанням суспензії у форму, пресування суспензії у форму, пресування у вібраційну форму, видавлюванням суспензії, шлікерним виливанням суспензії, або використанням будь-яким іншим способом формування форми, широко вживані у виробництві бетону; і вистоювання сформованої суспензійної суміші при температурі у діапазоні від приблизно 20 °C до приблизно 150 °C впродовж від приблизно 1 години до приблизно 80 годин під парю, що містить воду і CO<sub>2</sub>, має тиск у діапазоні від приблизно атмосферного тиску навколишнього середовища до приблизно 50 фунтів/кв. дюйм вище атмосферного тиску навколишнього середовища, і має концентрацію CO<sub>2</sub> у діапазоні від приблизно 10 % до приблизно 90 % для виробництва композитного матеріалу, що демонструє текстуру і/або рисунок.

Твердий склад включає розмелений силікат кальцію, що має середній розмір часток у діапазоні від приблизно 1 мкм до приблизно 100 мкм, і розмелений карбонат кальцію або SiO<sub>2</sub>, що містить матеріал, що має середній розмір часток у діапазоні від приблизно 3 мкм до приблизно 7 мм. Рідкий склад включає воду і розчинний у воді диспергатор.

30 У певних формах виконання, твердий склад також містить карбонат кальцію, що має значно менший або більший середній розмір часток, ніж перший розмелений вапняк. Процес може також включати, до вистоювання сформованої суміші, етап сушіння сформованої суміші. Твердий склад також містить пігмент або барвник, як обговорюється в цьому документі.

35 У певних формах виконання, вистоювання сформованої суспензійної суміші здійснюється при температурі у діапазоні від приблизно 30 °C до приблизно 120 °C впродовж приблизно від 1 години до приблизно 70 годин під парю, що містить воду і CO<sub>2</sub>, і має тиск у діапазоні від приблизно атмосферного тиску навколишнього середовища до приблизно 30 фунтів/кв. дюйм вище атмосферного тиску навколишнього середовища.

40 У певних формах виконання, вистоювання сформованої суспензійної суміші здійснюється при температурі у діапазоні від приблизно 60 °C до приблизно 110 °C впродовж від приблизно 1 години до приблизно 70 годин під парю, що містить воду і CO<sub>2</sub>, і має тиск у діапазоні від приблизно атмосферного тиску навколишнього середовища до 30 фунтів/кв. дюйм вище атмосферного тиску навколишнього середовища.

45 У певних формах виконання, вистоювання сформованої суспензійної суміші здійснюється при температурі у діапазоні від приблизно 80 °C до приблизно 100 °C впродовж від приблизно 1 години до приблизно 70 годин під парю, що містить воду і CO<sub>2</sub>, і має тиск у діапазоні від приблизно атмосферного тиску навколишнього середовища до 30 фунтів/кв. дюйм вище атмосферного тиску навколишнього середовища.

50 У певних формах виконання, вистоювання сформованої суспензійної суміші здійснюється при температурі рівній або нижче, ніж приблизно 60 °C впродовж від приблизно 1 години до приблизно 50 годин під парю, що містить воду і CO<sub>2</sub>, і має атмосферний тиск навколишнього середовища.

55 У певних формах виконання, розмелений силікат кальцію містить головним чином розмелений воластоніт, перший розмелений карбонат кальцію містить головним чином перший розмелений вапняк, і другий розмелений карбонат кальцію містить головним чином другий розмелений вапняк.

60 Наприклад, у деяких формах виконання, розмелений воластоніт має середній розмір часток від приблизно 5 мкм до приблизно 50 мкм (наприклад, приблизно 5 мкм, 10 мкм, 15 мкм, 20 мкм, 25 мкм, 30 мкм, 40 мкм, 90 мкм), об'ємна вага від приблизно 0,6 гр/мл до приблизно 0,8 гр/мл (наспина) і від приблизно 1,0 гр/мл до приблизно 1,2 гр/мл (набивна), площа поверхні від

приблизно  $1,5 \text{ м}^2/\text{г}$  до приблизно  $2,0 \text{ м}^2/\text{г}$ . Перший розмелений матеріал, що містить  $\text{SiO}_2$ , має середній розмір часток від приблизно 40 мкм до приблизно 90 мкм (наприклад, приблизно 40 мкм, 50 мкм, 60 мкм, 70 мкм, 80 мкм, 30 мкм, 90 мкм), об'ємна вага від приблизно 0,7 гр/мл до приблизно 0,9 гр/мл (насіпна) і від приблизно 1,3 гр/мл до приблизно 1,6 гр/мл (набивна).

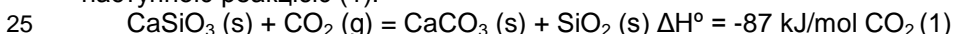
5 У певних переважних формах виконання, рідкий склад містить воду і розчинений у воді диспергатор, що містить полімерну сіль (наприклад, сіль акрилового гомополімеру), яка має концентрацію від приблизно 0,1 % до приблизно 2 % ваг./ваг. рідкого складу.

Ще в іншому аспекті, винахід зазвичай стосується композитного матеріалу, приготовленого згідно з процесом, що розкривається в цьому документі, наприклад, композитний матеріал, що 10 має міцність на стиснення від приблизно 90 МПа до приблизно 175 МПа і міцність на вигин від приблизно 5,4 МПа до приблизно 20,6 МПа.

Ще в одному аспекті, винахід зазвичай стосується виробу, виготовленого з композитного матеріалу, що розкривається в цьому документі.

Можуть використовуватись будь-які вихідні матеріали. Наприклад, частинки силікату 15 кальцію, сформовані головним чином з воластоніту,  $\text{CaSiO}_3$ , можуть вступати в реакцію з двоокисом вуглецю, розчиненим у воді. Вважається, що катіони кальцію вилуговуються з воластоніту і перетворюють крайову ділянку серцевини воластоніту у воластоніт, в якому не вистачає кальцію. Через те, що катіони кальцію продовжують вилуговуватися в крайовій ділянці серцевини, структура крайової ділянки наприкінці стане нестабільним і розламається, таким 20 чином, перетворюючи крайову ділянку воластоніту серцевини, в якій не вистачає кальцію, у перший шар, переважно багатий на кремнезем. У той же час, переважно другий шар карбонату кальцію випадає в осад з води.

Зокрема, перший шар і другий шар можуть формуватись з вихідної частинки згідно з наступною реакцією (1):



Наприклад, у карбонізації силікатного мінералу, такого як воластоніт,  $\text{CO}_2$  вводиться як газова фаза, який розчиняється у рідині просочування, такій як вода. Розчинення  $\text{CO}_2$  формує 30 кислу вуглецеву речовину, яка приводить до зменшення рН у розчині. Слабо кислий розчин інконгруентно розчинює кальцієву речовину з  $\text{CaSiO}_3$ . Вивільнені катіони кальцію і розчинена карбонатна речовина приводять до випадання в осад нерозчинених карбонатів. Вважається, що шари, багаті на кремнезем, залишаються на мінеральних частинках як виснажені шари.

Таким чином, згідно з переважною формою виконання винаходу,  $\text{CO}_2$  переважно вступає в реакцію з катіонами кальцію вихідної серцевини воластоніту, таким чином перетворюючи 35 крайову ділянку вихідної серцевини в перший шар, багатий на кремнезем і другий шар, багатий на карбонат кальцію. Також, наявність першого і другого шарів на серцевині діє як бар'єр для подальшої реакції між воластонітом і двоокисом вуглецю, що дає в результаті зв'язувальний елемент, що має серцевину, перший шар і другий шар.

У певних формах виконання, силікатні матеріали, що містять метали, інші ніж Ca або 40 додатково до Ca, наприклад, фостеріт ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ), діопсид ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ ), і тальк ( $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ ) можуть реагувати з двоокисом вуглецю, розчиненим у воді у спосіб, подібний до реакції воластоніту, як описано вище. Вважається, що такі силікатні матеріали можуть використовуватись, одні, у комбінації, і/або у комбінації з воластонітом, як вихідні матеріали для зв'язування елементів згідно з принципами винаходу.

Переважно, процеси HLPS за допомогою газу використовують частково просочений 45 пористий простір, щоби уможливити газову дифузію для швидкого просочування пористої заготовки і насичення тонких рідких межових плівок розчинника у пори з розчинним  $\text{CO}_2$ . Речовини на основі  $\text{CO}_2$  мають низьку розчинність у чистій воді ( $1,5 \text{ г/л}$  при  $25^\circ\text{C}$ , 1 атм.). Таким чином, достатня кількість  $\text{CO}_2$  повинна безперервно постачатися до пористої заготовки і розподілятися по всій її площині для уможливлення значного перетворення карбонату. 50 Використання дифузії з газової фази забезпечує велике (приблизно у 100 разів) зростання довжини дифузії у порівнянні з розсіюванням розчинного  $\text{CO}_2$  за еквівалент часу у рідкій фазі. ("Довідник з хімії і фізики", Під редакцією: Д. Р. Лайд, Глави 6 і 8, 87-е Видання 2006-2007, CRC.) Цей частково просочений стан уможливорює реакцію для переходу до високого ступеню карбонізації у фіксований період часу.

55 Рідка вода у порах прискорює швидкість реакції, тому що це суттєво для іонізування вугільної кислоти і кальцієвої речовини. Проте, потрібно, щоби рівні води були достатньо низькими, щоби газ  $\text{CO}_2$  міг розпилятися у пористу матрицю до розчинення у водний етап з'єднання з порами. Також, активне розчинення пористої заготовки служить як матриця для поширеного реактивного зросту кристалів. Таким чином, з'єднувальний елемент і матриці 60 можуть формуватись з мінімальним скривленням і остаточними напруженнями. Це дозволяє

отримувати великі і складні форми, такі як ті, що необхідні для інфраструктури і будівельних матеріалів, додатково до багатьох інших застосувань.

Таким чином, можуть розроблюватись різні комбінації умов вистоювання для досягнення бажаного процесу виробництва, включаючи змінювані температури реакції, тиск і тривалість реакції. У першому прикладі форми виконання, вода постачається до вихідних матеріалів у рідкій формі з CO<sub>2</sub>, розчиненим в них, і процес вистоювання здійснюється при приблизно 90 °C і приблизно 20 фунтів/кв. дюйм надл. (наприклад, 20 фунтів/кв. дюйм вище навколишнього тиску) впродовж приблизно 48 годин. У другому прикладі форми виконання, вода присутня у вихідному матеріалі (наприклад, остаточна вода з попереднього етапу змішування) і водяна пара подається у вихідні матеріали (наприклад, для підтримування рівня води і/або попередження втрати води від випарювання) разом з CO<sub>2</sub> і процес вистоювання здійснюється при приблизно 60 °C і 0 фунтів/кв. дюйм надл. (при навколишньому атмосферному тиску) впродовж приблизно 19 годин. У третьому прикладі форми виконання, вода постачається до вихідних матеріалів у формі пари разом з CO<sub>2</sub> і процес вистоювання здійснюється при приблизно 90 °C і 20 фунтів/кв. дюйм вище навколишнього атмосферного тиску впродовж приблизно 19 годин.

Ще в іншому аспекті, винахід зазвичай стосується композитного матеріалу, який містить: множину з'єднувальних елементів і множину часток заповнювача. Кожний з'єднувальний елемент містить: серцевину, що містить силікат магнію, перший або внутрішній шар, багатий на кремнезем, і другий або зовнішній шар, багатий на карбонат. Множина з'єднувальних елементів і множина часток заповнювача разом формують одну або більше матриць і з'єднувальні елементи і частинки заповнювача достатньо рівномірно розпилюються на них і разом з'єднуються, таким чином композитний матеріал демонструє одну або більше текстур, рисунків і фізичних властивостей.

Композиції і способи, які розкриваються в цьому документі у зв'язку з силікатом кальцію, можуть адаптовуватись для використання силікату магнію замість або додатково до силікату кальцію.

#### В. З'ЄДНУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ, З'ЄДНУВАЛЬНІ МАТРИЦІ І КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ

##### В1. З'ЄДНУВАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ

Як схематично проілюстровано на ФІГ. 3(а)-3(с), з'єднувальний елемент містить серцевину (представлену чорною внутрішньою частиною), перший шар (представлений білою середньою частиною) і другий, або герметизувальний, шар (представлений зовнішньою частиною). Перший шар може включати тільки один шар або чисельні підшари і може повністю або частково покривати серцевину. Перший шар може існувати у кристалічній фазі, аморфній фазі або їхній суміші, і може бути у безперервній фазі або як дискретні частинки. Другий шар може містити тільки один шар або чисельні підшари і може повністю або частково покривати перший шар. Другий шар може містити множину частинок або може бути безперервною фазою з мінімальними дискретними частинками.

З'єднувальний елемент може демонструвати будь-який розмір і будь-яку правильну або неправильну, тверду або порожнисту морфологію, залежно від передбачуваного застосування. Приклади морфології включають: куби, прямокутні паралелепіпеди, призми, диски, піраміди, багатогранники або багатогранні частинки, циліндри, сфери, конуси, кільця, трубки, хрести, стрілки, волокна, філаменти, сніжинки, сфери, підсфери, намистинки, виноградинки, гранули, довгасті фігури, стрижні, гребені і таке інше.

В цілому, як більш детально обговорюється в цьому документі, зв'язувальний елемент виготовляється з реактивних вихідних матеріалів (наприклад, вихідні частинки) через процес перетворення. Вихідні частинки можуть мати будь-який розмір і форму, за умови, що вони задовольняють потреби призначеного застосування. Процес перетворення зазвичай приводить до відповідних з'єднувальних елементів, що мають подібні розміри і форми вихідних часток.

Вихідні частинки можуть вибиратись з будь-якого придатного матеріалу, який може піддатись придатному перетворенню для формування бажаних з'єднувальних елементів. Наприклад, вихідні частинки можуть включати окиси і не окиси кремнію, титану, алюмінію, фосфору, ванадію, вольфраму, молібдену, галію, магнію, цирконію, германію, міді, ніобію, кобальту, свинцю, заліза, індію, арсену, танталу, і/або лужноземельні елементи (берилій, магній, кальцій, стронцій, барій і радій).

Приклади вихідних матеріалів включають окиси, такі як силікати, титанати, алюмінати, фосфати, ванадати, вольфрамати, молібдати, галати, манганати, цирконати, *germinates*, купрати, станати, гафнати, хромати, ніобати, кобальтати, плумбати, ферити, арсенати, танталати та їхні комбінації. У деяких формах виконання, вихідні частинки включають силікати, такі як ортосилікати, соросилікати, циклосилікати, іносилікати, філосилікати, тектосилікати,

і/або гідрат силікату кальцію.

Певні відходи можуть використовуватись як вихідні частинки для деяких застосувань. Відходи можуть включати, наприклад, мінерали, промислові відходи, або промисловий хімічний матеріал. Деякі приклади відходів включають мінеральний силікат, залізну руду, периклаз, гіпс, гідроксид заліза (II), летку золу, зольний залишок, шлак, скло, горючий сланець, червоний мул, відходи акумуляторів, вторинний бетон, шахтні відходи, паперову золу, або солі від концентрованого розсолу зворотного осмосу.

Додаткові вихідні частинки можуть включати різні типи породи, що містить мінерали, такі як кальцій-силікатна порода, порода Fitch, гнейс Hebron, шаруватий гнейс, середній компонент, аргіліт, кварцит, проміжні докембрійські відклади, темного кольору, польовошпатний кварцит з незначними пластами вапняку, висококласний метаосадовий біотитовий сланець, біотитовий гнейс, слюдяний сланець, кварцит, порода Hoosac, порода Partridge, гнейс Washington gneiss, девонська, силурійська грінвальська карстова порода, супергрупа Осоее, метапіщаник, мета сіра вака, порода Rangeley, амфіболіти, кальцитовий доломітовий мрамур, порода манхетен, кольору іржі і сірий біотит-кварц-польовошпатний гнейс, і уотерфордська група.

Вихідні частинки можуть також включати магматичні породи, такі як андезит, проміжні докембрійські відклади анартозит, базініт, бонініт, карбонатит і гіперстеновий граніт, осадові матеріали, такі як, але ними не обмежуються, аргіліт, аркоз, брекчія, ктаклазит, крейда, глинистий вапняк, кремнистий сланець, кремін, гітсон, лігін, вапняк, затверділа глиниста порода, піщаник, глинистий сланець, і алевроліт, метаморфічні матеріали, такі як, але ними не обмежуються, амфіболіти, епідіорит, гнейс, грануліт, зелений камінь, роговик, мрамур, пеліт, філіт, кварцит, аспідний сланець, скарн, сланець, карбонат тальку, і тальковий камінь, та інші різновиди порід, такі як, але ними не обмежуються, адамліт, апініт, афаніти, бороланіт, синій граніт, епідозит, фельзити, кремін, ганістер, іоліт, яделіт, яспроїд, кеніт, вогезіт, ларвікіт літчфілдит, луксуліаніт, мангерит, мінета, новакуліт, піроліт, граніт рапаківі, ромбен-порфір, шонкініт, таконіт, тешеніт, тераліт, і варіоліт.

В Таблиці 1 надаються приклади форм виконання різних типів хімічних складів для першого і другого шарів, які можуть бути досягненні при використанні різних вихідних матеріалів. Що стосується першого шару, за допомогою використання різних вихідних матеріалів можна отримати кремнезем, окис алюмінію або окис титану. Другий шар може також змінюватись з вибором вихідного матеріалу. Наприклад, другий шар може містити, такі як чисті карбонати, чисельні катіонні карбонати, карбонати з водою або групою ОН, шаруваті карбонати або з водою, або групою ОН, аніони, що містять карбонати, силікат, що містить карбонати, і мінерали, що містять карбонати.

Таблиця 1

## Приклади вихідних матеріалів і герметизувальних шарів

Сировина (Вихідний)	Перший шар	Герметизувальний шар
Воластоніт ( $\text{CaSiO}_3$ )	Багатий на кремнезем	$\text{CaCO}_3$
Фостеріт ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ )		$\text{MgCO}_3$
Діопсид ( $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ )		$(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$
Тальк ( $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ )		$\text{MgCO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ( $x=1-5$ )
Глаукофан ( $\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ )	Окис алюмінію і/ багатий на кремнезем	$\text{MgCO}_3$ і/або $\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$
Палігорскіт ( $(\text{Mg}, \text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$ )		$\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16}4\text{H}_2\text{O}$
Мейоніт ( $\text{Ca}_4(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)_3(\text{Cl}_2\text{CO}_3, \text{SO}_4)$ )		$\text{Ca}_2\text{SO}_4\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Танзаніт ( $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$ )		$\text{Ca}_5\text{Si}_2\text{O}_8\text{CO}_3$ і/або $\text{Ca}_5\text{Si}_2\text{O}_8\text{CO}_3$ і/або $\text{Ca}_7\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
$(\text{Ba}_{0,6}\text{Sr}_{0,3}\text{Ca}_{0,1})\text{TiO}_3$	Багатий на окис титану	$\text{Sr}(\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba})(\text{CO}_3)_2$

- 5 Другий шар може змінюватись за допомогою введення додаткових аніонів і/або катіонів. Такі додаткові аніони і катіони можуть використовуватись для змінення другого шару для збільшення його фізичних і хімічних властивостей, таких як вогнестійкість або стійкість до кислот. Наприклад, як показано в Таблиці 2, доки перший шар утримується як шар, багатий на кремнезем, другий шар може змінюватись за допомогою додавання аніонів або катіонів до реакції, таких як  $\text{PO}_4^{2-}$  і  $\text{SO}_4^{2-}$ . Як результат, другий шар може містити, наприклад, інший фосфат, сульфат, фторид або їхню комбінацію.
- 10



Таблиця 2

Приклади джерел катіонів/аніонів(додатково до  $\text{CO}_3^{2-}$ )

Частинка серцевини	Перший шар	Джерело додаткових аніонів/катіонів	Герметизувальний шар	Тип карбонату
$\text{CaSiO}_3$	Шар, багатий на кремнезем	Фосфати	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{OH}$	Карбонати, що містять фосфати
		Сульфати	$\text{Ca}_2\text{SO}_4\text{CO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Карбонати, що містять сульфати
		Фториди	$\text{Ca}_2\text{CO}_3\text{F}_2$	Карбонати, що містять фториди
		Фосфати і фториди	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3\text{F}$	Карбонати, що містять фториди і фосфати
		Джерело $\text{Mg}^{+2}$ як хлориди, нітрати, гідроксиди і т. п.	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Чисельні катіонні карбонати
		Комбінація джерел аніонів і катіонів	$\text{Ca}_6\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_2(\text{CO}_3)_2\text{Cl}_4(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Мінерали, що містять карбонати Post-1992

## B2. З'єднувальна матриця і композитний матеріал

- 5 З'єднувальна матриця складається з множини з'єднувальних елементів, що формують тривимірну сітку. З'єднувальна матриця може бути пористою або непористою. Ступінь пористості залежить від низки змінювальних величин, які можуть використовуватись для керування пористістю, таких як температура, конструкція реактора, вихідний матеріал і кількість рідини, яка вводиться під час процесу перетворення. Залежно від призначеного застосування
- 10 пористість можна встановити майже на будь-яку ступінь пористості від приблизно 1 об. % до приблизно 99 об. %.

- З'єднувальна матриця може містити один або більше матеріалів заповнювача, які змішуються з вихідними матеріалами до або під час процесу перетворення для утворення композитного матеріалу. Концентрація з'єднувальних елементів у з'єднувальній матриці може змінюватись. Наприклад, концентрація з'єднувальних елементів на об'ємній основі може бути відносно високою, де щонайменше деякі із з'єднувальних елементів знаходяться в контакті один з іншим. Ця ситуація може виникати, якщо матеріал заповнювача включається в з'єднувальну матрицю, але тип матеріалу заповнювача і/або кількість матеріалу заповнювача така, що рівень об'ємного розчинення з'єднувального елемента відносно низький. В іншому прикладі
- 15 концентрація з'єднувальних елементів на об'ємній основі може бути відносно низькою, де з'єднувальні елементи ширше розпилені всередині з'єднувальній матриці, так що мала кількість, якщо взагалі всі з'єднувальні елементи знаходяться в контакті один з одним. Ця ситуація може виникати, якщо матеріал заповнювача включається у з'єднувальну матрицю, і тип матеріалу заповнювача і /або кількість матеріалу заповнювача є такою, що рівень розчинення відносно
- 20 високий.
- 25

В цілому, матеріал заповнювача може включати будь-який один тип матеріалів, що, що можуть включатись у з'єднувальну матрицю. Матеріал заповнювача може бути інертним або активним. Інертний матеріал не проходить через жодну хімічну реакцію під час перетворення і

не діє як центр нуклеації, хоча він може фізично або механічно взаємодіяти із з'єднувальною матрицею. Інертний матеріал може містити полімери, метали, неорганічні частинки, агрегати і тому подібне. Конкретні приклади можуть включати, але ними не обмежуються, базальт, граніт, вторинний ПВХ, гуму, металічні частинки, частинки окису алюмінію, частинки двоокису цирконію, частинки карбону, частинки захисного шару, частинки Kevlar™ та їхні комбінації. Активний матеріал хімічно реагує із з'єднувальною матрицею під час перетворення проходить через будь-яку хімічну реакцію під час перетворення і/або діє як центр нуклеації. Наприклад, гідроксид магнію може використовуватись як матеріал заповнювача і може хімічно реагувати із фазою кальцієвого компонента, що розчинює, із з'єднувальної матриці для формування карбонату кальцію і магнію.

З'єднувальна матриця може займати майже будь-яке процентне відношення композитного матеріалу. Таким чином, наприклад, з'єднувальна матриця може займати від приблизно 1 об. % до приблизно 99 об. % композитного матеріалу (наприклад, об'ємна фракція з'єднувальної матриці може бути менше, або дорівнювати приблизно 90 об. %, 70 об. %, 50 об. %, 40 об. %, 30 об. %, 20 об. %, 10 об. %). Переважний діапазон об'ємної фракції з'єднувальної матриці складає від приблизно 8 об. % до приблизно 90 об. % (наприклад, від приблизно 8 об. % до приблизно 80 об. %, від приблизно 8 об. % до приблизно 70 об. %, від приблизно 8 об. % до приблизно 50 об. %, від приблизно 8 об. % до приблизно 40 об. %), і більш переважний діапазон від приблизно 8 об. % до 30 об. %.

Композитний матеріал може також бути пористим або не пористим. Ступінь пористості залежить від низки змінюваних величин, які можуть використовуватись для керування пористістю, таких як температура, конструкція реактора, вихідний матеріал, кількість рідини, яка вводиться під час процесу перетворення і чи будь-який заповнювач застосовується. Залежно від призначеного застосування, пористість може встановлюватись на будь-який ступінь пористості з приблизно з 1 об. % до приблизно 99 об. % (наприклад, менше, ніж або дорівнює приблизно 90 об. %, 70 об. %, 50 об. %, 40 об. %, 30 об. %, 20 об. %, 10 об. %). Переважний діапазон пористості композитного матеріалу становить від приблизно 1 об. % до приблизно 70 об. %, більш переважно між приблизно 1 об. % і приблизно 10 об. % для високої щільності і міцності і між приблизно 50 об. % і приблизно 70 об. % для легкої ваги і низької теплової провідності.

Всередині з'єднувальної матриці з'єднувальні елементи можуть встановлюватись, один відносно іншого, у будь-якій з низки орієнтацій. На ФІГ. 4(a)-4(f) схематично ілюструється приклад з'єднувальної матриці, яка містить з'єднувальні елементи у формі волокон або пластинок у різних орієнтаціях, можливо розчинених за допомогою включення матеріалу заповнювача, як представлено інтервалом між з'єднувальними елементами. На ФІГ. 4(a), наприклад, ілюструється з'єднувальна матриця, яка містить з'єднувальні елементи у формі волокон, розташовані в ряд з орієнтацією в одному напрямку ("1-D") (наприклад, розташовані в ряд відносно напрямку x). На ФІГ. 4(b) ілюструється з'єднувальна матриця, яка містить з'єднувальні елементи у формі пластинок, розташовані з орієнтацією у двох напрямках ("2-D") (наприклад, розташовані відносно напрямків x і y). На ФІГ. 4(c) ілюструється з'єднувальна матриця, яка містить з'єднувальні елементи у формі пластинок, розташовані в ряд, з орієнтацією у трьох напрямках ("3-D") (наприклад, розташовані відносно напрямків x, y і z). На ФІГ. 4(d) ілюструється з'єднувальна матриця, яка містить з'єднувальні елементи у формі пластинок у довільній орієнтації, де з'єднувальні елементи не розташовані в ряд відносно будь-якого конкретного напрямку. На ФІГ. 4(e) ілюструється з'єднувальна матриця, яка містить відносно високу концентрацію з'єднувальних елементів у формі пластинок, які розташовані в ряд з 3-D орієнтацією. На ФІГ. 4(f) ілюструється з'єднувальна матриця, яка містить відносно низьку концентрацію з'єднувальних елементів у формі пластинок, які розташовуються у довільній орієнтації (мережа просочування). Композитний матеріал з ФІГ. 4(f) досягає порога перколяції, тому що велика пропорція з'єднувальних елементів торкаються один іншого так, що формується безперервна мережа контактів з одного кінця матеріалу до іншого кінця. Поріг просочування є критичним, вище якого з'єднувальні елементи показують можливість з'єднання великого діапазону із замовленою, наприклад, ФІГ. 4(e), або довільною орієнтацією, наприклад, ФІГ. 4(f), з'єднувальних елементів. Приклади рисунків можливості з'єднування можна знайти, наприклад, (Ньюнхем і співавтори, "Можливість з'єднування і п'єзоелектричні-піроелектричні композиційні матеріали" (Newnham, et al., "Connectivity and piezoelectric composites"), Mat. Res. Bull. том. 13, стор. 525-536, 1978).

Також одно- або багаторівневу повторювальну ієрархічну структуру можна отримати у спосіб, який може сприяти щільному пакуванню, яке забезпечує виготовлення міцного матеріалу, серед інших потенціальних корисних, функціональних призначень. Ієрархія описує,

як структура формує рисунки на деяких шкалах довжини. Різні типи з'єднувальних матриць можуть утворюватись з допомогою змінювання пористості матриці і за допомогою включення волокон серцевини різних типів. Різні види порошкових і волоконних компонентів можна використовувати з ієрархічними структурами для виготовлення різних видів структур з різною

5 можливістю з'єднання.

#### С. ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ З'ЄДНУВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, З'ЄДНУВАЛЬНИХ МАТРИЦЬ І КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Процес перетворення (вистоювання) продовжується піддаванням вихідного матеріалу реактивній рідині. Реагент, зв'язаний з рідиною, реагує з хімічними інгредієнтами, що складають

10 вихідні частинки, і точніше, хімічні реагенти на крайовій ділянці вихідних часток. Ця реакція в результаті приводить до формування першого і другого шарів.

У деяких формах виконання, вихідні частинки включають два або більше хімічних елементів. Під час процесу перетворення, реагент у рідині переважно реагує з щонайменше першим з хімічних елементів, де реакція між реагентом у рідині (наприклад,  $\text{CO}_2$  і відповідними речовинами у розчині) і щонайменше з першим хімічним елементом (наприклад, кальцій<sup>2+</sup>) в

15 результаті приводить до формування першого і другого шарів, перший шар, що містить похідне від вихідної частинки, зазвичай виключаючи щонайменше один перший хімічний елемент, де другий шар містить комбінацію (наприклад,  $\text{CaCO}_3$ ) реагенту і щонайменше один перший елемент. У порівнянні, серцевина містить таку саму або приблизно таку саму хімічну композицію, як і вихідна частинка (наприклад,  $\text{CaSiO}_3$ ). Наприклад, крайова ділянка серцевини може змінюватись з хімічної композиції вихідної частинки завдяки вибіркової вилуговування окремих хімічних елементів із серцевини.

Таким чином, серцевина і другий шар ділять щонайменше один перший хімічний елемент (наприклад, кальцій<sup>2+</sup>) вихідної частинки, і серцевина і перший шар ділять щонайменше один

25 інший з хімічних елементів вихідної частинки (наприклад,  $\text{Si}^{4+}$ ). Щонайменше один перший хімічний елемент, розділений серцевиною і другим шаром, може бути, наприклад, щонайменше один лужноземельний елемент (берилій, магній, кальцій, стронцій, барій і радій). Щонайменше, ще один з хімічних елементів, розділених серцевиною і першим шаром, може бути, наприклад, силіконом, титаном, алюмінієм, фосфором, ванадієм, вольфрамом, молібденом, галієм, марганцем, цирконієм, германієм, міддю, ніобієм, кобальтом, свинцем, залізом, індієм, арсеном і/або танталом.

У деяких формах виконання, реакція між реагентом у рідкій фазі і щонайменше одним першим хімічним елементом вихідних часток може відбуватись до завершення, що, таким чином, дає в результаті перший шар, який стає серцевиною з'єднувального елемента, і має хімічну композицію, що відрізняється від хімічної композиції вихідних часток, і щонайменше один

35 додатковий або другий оболонковий шар, що містить композицію, яка може або може не включати щонайменше один перший хімічний елемент двох або більше хімічних елементів вихідних часток.

#### С1. ГІДРОТЕРМАЛЬНЕ РІДКОФАЗНЕ СПІКАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАЗУ

З'єднувальні елементи можуть формуватись, наприклад, за допомогою способу на основі HIPS за допомогою газу. У такому способі пористе тверде тіло, що містить множину вихідних часток, піддається впливу рідини (розчинника), який частково насичує пори пористого твердого тіла, що означає, що об'єм пор частково заповнений водою.

У певних системах, таких, як ці, формування карбонату, повністю заповнюючи пори водою, вважається небажаним, тому що реактивний газ не може розсіюватись із зовнішньої поверхні пористого твердого тіла у всі внутрішні пори за допомогою газової дифузії. Замість цього, реагент реактивного газу розчиниться у рідині і розсіється у рідкій фазі із зовнішньої поверхні у внутрішні пори, який значно повільніший. Ця дифузія рідкої фази може бути придатною для перетворення тонких пористих твердих тіл, але будуть непридатними для товстіших пористих

50 твердих тіл.

У деяких формах виконання, газ, що містить реагент, вводиться у частково насичені пори пористого твердого тіла і реагент розчинюється розчинником. Розчинений реагент потім реагує з щонайменше першим хімічним елементом у вихідній частці для перетворення крайової ділянки у перший шар і другий шар. Як результат реакції, розчинений реагент дістається з розчинника.

55 Тим часом, газ, що містить реагент, продовжує вводиться у частково насичені пори для постачання додаткового реагенту до розчинника.

В міру розвитку реакції між реагентом і щонайменше одним хімічним елементом вихідних часток, крайова ділянка вихідної частинки перетворюється у перший шар і другий шар. Наявність першого шару на периферійному краю серцевини в результаті перешкоджає подальшій реакції, відокремлюючи реагент і щонайменше перший хімічний елемент вихідної

60

частинки, таким чином, спричиняючи реакцію для ефективного зупинення, залишення з'єднувального елемента, що має серцевину, як центр вихідної частинки, що не прореагувала, перший шар, на краю серцевини, і другий шар на першому шарі.

Отриманий в результаті з'єднувальний елемент містить серцевину, перший шар і другий шар, і зазвичай більше за розміром, ніж вихідна частинка, заповнюючи оточуючі пористі ділянки пористого твердого тіла і можливо з'єднуючись з прилеглими матеріалами у пористому твердому тілі. Як результат, вироби можуть бути сформовані у формі сітки так, що матимуть достатньо такий самий розмір і форму, як і пористе тверде тіло, але більшу щільність. Це перевага над традиційними процесами спікання, які спричиняють усадку від перенесення маси для виготовлення матеріалу більшої густини, ніж у первісному порошковому брикеті.

## C2. HLPS В АВТОКЛАВІ

У прикладі форми виконання способу HLPS, пористе тверде тіло, що містить множини вихідних часток, розміщується у камері автоклава і нагрівається. Вода як розчинник вводиться у пори пористого твердого тіла за допомогою випарювання води у камері. Охолоджувальна пластина вище пористого твердого тіла конденсує випаровану воду, яка потім стікає у пористе тіло і в пори пористого твердого тіла, таким чином часткового насичуючи пори пористого твердого тіла. Проте, спосіб введення води у цьому прикладі один з декількох шляхів, якими вода може постачатись. Наприклад, вода може також нагріватись і розпилюватись.

У той же час, двоокис вуглецю, як реагент нагнітається помпою у камеру, і двоокис вуглецю розпилюється у частково насичені пори пористого тіла. Після попадання у пори, двоокис вуглецю розчинюється у воді, таким чином, забезпечуючи реакцію між вихідними частинками і двоокисом вуглецю для перетворення крайових ділянок вихідних часток і двоокису вуглецю у перший і другий шари.

В міру проходження реакції між другим реагентом і першим шаром, другий реагент продовжує реагувати з першим шаром, перетворюючи крайову ділянку першого шару у другий шар. Формування другого шару може відбуватись за допомогою ехо-розчину компонента у першому шарі, і такий другий шар може бути градієнтним шаром, де концентрація одного з хімічних елементів (катионів), складення другого шару змінюється з високого до низького при русі з поверхні часток серцевини до кінця першого шару. Також можливо, що другий шар також може бути градієнтною композицією, так, що, коли шари аморфні або складені з твердого розчину, який має або постійну, або змінювану композицію.

Наявність другого шару на краю вихідної серцевини в результаті заважатиме подальшій реакції, розділяючи другий реагент і перший шар, спричиняючи реакцію для ефективного зупинення, залишення з'єднувального елемента, який має серцевину, перший шар на краю серцевини і другий шар, на першому шарі. Отриманий в результаті з'єднувальний елемент зазвичай більше за розміром, ніж первісна вихідна частинка, таким чином заповнюючи оточуючу пористу ділянку пористого твердого тіла і з'єднуючись з прилеглими матеріалами пористого твердого тіла. Як результат, спосіб забезпечує формування виробів у формі сітки, що мають практично таку саму форму, як у первісного пористого твердого тіла, але більш високу щільність, ніж у нього. Це є перевагою над традиційними процесами спікання, які спричиняють усадку від перенесення маси для виробництва матеріалу з більш високою густиною, ніж у первісного порошкового брикету.

## C3. СЕРЕДОВИЩЕ ПРОСОЧУВАННЯ

Середовище просочування, що використовується для перенесення у щонайменше частину пористої матриці, містить розчинник (наприклад, воду) і реактивні речовини (наприклад,  $\text{CO}_2$ ). Розчинник може бути водним або не водним. Розчинник може містити один або більше компонентів. Наприклад, у деяких формах виконання, розчинник може бути водою і етанолом, етанолом і толуолом, або сумішшю різних іонних рідин, таких як іонні рідини на основі алкілзаміщених катионів імідазоліну і піридину, з аніонами галіду або тригалогеноалюмінату. Зволожувальні системи мають перевагу над незволожувальними для спрощення переробного обладнання.

Розчинник не повинен бути хімічно реактивним з пористою матрицею, хоча розчинник може хімічно реагувати з реактивними речовинами. Розчинник може видалятися різними способами відокремлення, такими як масова витрата, випарювання, сублімація або розчинення з миючим засобом, або іншим придатним способом відокремлення, відомим середньому спеціалісту.

Точніше, розчинник є рідиною при температурі, коли розчинені реактивні речовини реагують з пористою матрицею. Ця температура буде змінюватись, залежно від конкретно вибраного розчинника і реактивних речовин. Низьким температурам віддається перевага на високими температурами для збереження енергії і спрощення технологічного обладнання, таким чином зменшуючи виробничі витрати.

Роль розчинника контрастує з попереднім рівнем техніки, який включає реактивні системи, такі як, наприклад, портланд-цемент, де розчинник, такий як вода, реагує з пористою матрицею для формування виробів, що містять молекули розчинника, такі як гідрати металу, серед інших продуктів осаду.

Незважаючи на фазу чистих реактивних речовин, реактивні речовини розчиняються у розчиннику, як нейтральні, аніонні або катіонні речовини. Наприклад щонайменше одна реактивна речовина може бути  $\text{CO}_2$ , яка є газом при кімнатній температурі, який може розчинятись у воді як нейтральний  $\text{CO}_2$ , але може утворювати реактивні речовини, такі як  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  і  $\text{CO}_3^{2-}$ . Незважаючи на початкову фазу реактивних речовин і розчинника у природному стані, середовище просочування знаходиться у рідких фазах у порах (наприклад, порожнинах між частинками) пористої матриці.

Наприклад, капілярні сили можуть використовуватись для спонтанного переміщення середовища просочування у пористу матрицю. Цей тип зволоження трапляється, коли середовище просочування має дуже низький кут контакту (наприклад,  $< 90^\circ\text{C}$ ). У цьому випадку середовище може частково заповнювати (частково насичувати) пори. Просочування може також відбуватись у такий спосіб, що деякі пори заповнюються, в той час, коли інші порожні і/або частково заповнені. Також можливо, що просочена пориста матриця з градієнтами у заповненні або насиченні пор може пізніше перетворюватись на матрицю, яка є рівномірною, через капілярний потік. Додатково, зволоження спонтанно не відбувається, коли кут контакту середовища просочування високий (наприклад,  $> 90^\circ\text{C}$ ). У таких випадках, рідини не будуть просочувати пористу матрицю, якщо тільки не застосовується зовнішній тиск. Цей підхід доречний, коли бажано видалити середовище просочування за допомогою скидання тиску (наприклад, реакція може ініціюватись або зупинятись за допомогою тиску).

Коли просочування виконується через використання спонтанного капілярного потоку у порах, витрата маси зупиняється, коли пори заповнюються (насичуються). Під час HLPs реактивні речовини реагують з матрицею для формування одного або більше виробів за допомогою різних реакцій. Щонайменше одна речовина реакції вичерпується з середини простору пори, і тому необхідно її поновити під час реакції. Коли пори повністю насичуються середовищем просочування, реактивні речовини повинні переноситись із зовнішньої частини середовища просочування до пористої матриці через пори матриці. У незбуреній рідині дифузія є процесом, за яким відбувається перенесення. Таким чином, для деяких способів HLPs, чиї реакції всередині пор швидкі, відносно всіх інших процесів перенесення масу, реакція стає обмеженою за допомогою великого збільшення товщини пористої матриці. У такому випадку, тільки зовнішня частина матриці реагує інтенсивно з реактивними речовинами, у той час, коли внутрішні ділянки пористої матриці або менш повно вступає у реакцію або не вступає в реакцію. Цей тип реакцій придатний для підготовки мікроструктур градієнта, де концентрації продуктів процесу HLPs вище на зовнішній частині (поруч із ділянками зовнішньої поверхні) у порівнянні із внутрішньою частиною структури.

#### C4. ВИБІР І КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

Коли високо екзотермічні реакції продовжуються повільно, відносно перенесення середовища просочування і матриця термічно ізольована, захоплене тепло може збільшувати швидкість реакції у внутрішній частині матриці для уможливлення вміщувати її внутрішньою частиною більшу фазу продукту (наприклад, продукту реакції між щонайменше однієї реактивної речовини і частини пористої матриці), ні її внутрішня частина. Для процесів HLPs, де реакції ізотермічно продовжуються при проміжній швидкості, відносно перенесення маси середовища просочування, дифузія може продовжуватись для постачання пор з реактивними речовинами і не буде спостерігатися жодного градієнта у ступені реакції (або концентрації продукту). У такому випадку, існує невелика різниця у хімічній і/або фазовій композиції із внутрішньої частини до зовнішньої частини матеріалу монолітної структури або тіла.

У багатьох випадках, рівномірна мікроструктура відносно фази і композиції бажана у тілі з монолітною структурою. Також, також бажано проводити реакції HLPs у відносно стислі часові рамки, наприклад, де великі монолітні тіла потребуються для застосувань, таких як дороги або мости. Бажано збалансувати швидкість реакції і перенесення маси для процесів HLPs. Стратегія для вибору вихідного матеріалу і способу введення вихідних матеріалів для включення середовища просочування є важливою. Переважний вибір вихідного матеріалу і способу введення середовища просочування є щонайменше частково функцією товщини зразка у найтоншому напрямку, шкала часу вважається прийнятною для процесу і термодинамічних і кінетичних обмежень, необхідних для того, щоби процес був економічно вигідним, таких як температура, тиск і композиція.

У Таблиці 3 узагальнюється вибір вихідного матеріалу і спосіб стратегії по введенню.

- Пориста матриця може безпосередньо просочуватись або пориста матриця може видалятися до будь-яких послідовностей з просочування, описаних в Таблиці 3. Описуються способи, що використовують гази в якості вихідних матеріалів, рідини як вихідних матеріалів або твердих речовин як вихідних матеріалів. Додатково, суміші фази, такі як тверда речовина і рідини, гази і рідини, і газ і тверді речовини, всі можуть використовуватись. Наприклад, реагент, такий як  $\text{CO}_2$  є газом у своєму чистому стані, але перетворений у речовину розчину, розчинену у воді. Така подія може статись за допомогою газової дифузії у пористу матрицю і наступної конденсації, коли зустрічається пора. Цей тип системи вихідного матеріалу придатний, коли бажаються мікроструктури, що мають карбонатні фази. Порядок додавання вихідних матеріалів (розчинник і реактивні речовини) може впливати на вихід реакції і на мікроструктуру матеріалу.

Таблиця 3

## Вихідні матеріали і способи введення

Система	Реактивні речовини	Розчинник	Гігроскопічний матеріал	Спосіб введення (Зворотній/інший порядок може застосовуватись, де належно)
	Газ	Газ		Попереднє змішування (паралельне введення) двох газів і введення їх до низької температури для конденсації однієї або більше газових речовин у матриці для включення розчину просочування, що містить реактивні речовини і розчинник, або конденсування суміші газу у матриці за допомогою охолодження матриці; або Гази можуть також вводитись серіями, де один газ конденсується до просочування або після просочування, а інші вводяться після цього для розчинення у рідкій фазі.
	Газ	Газ	Тверда речовина	Попереднє змішування гігроскопічної твердої речовини з матрицею, попереднє змішування газів (паралельне введення), потім потік і/або розсіювання суміші газу через матрицю для формування розчину просочування; або Гази можуть вводитись серіями у попередньо зроблену суміш гігроскопічна речовина-матриця. Переважний порядок - отримати газ, який розріджує гігроскопічну тверду речовину і потім газ, який розчинюється для формування реактивної речовини.
	Газ	Рідина	Тверда речовина	Попереднє змішування гігроскопічної твердої речовини з матрицею, потім просочування рідким розчинником, після якого додається газ (або навпаки) для формування розчину просочування у пори матриці; або Газ і рідина можуть попередньо змішуватись як розчин для введення у попередньо зроблену суміш гігроскопічна тверда речовина-матриця, але вихід реакції може бути зменшеним.

Проведення таблиці 3

	Рідина	Рідина		Попереднє змішування (паралельне введення) рідин, потім просочування матриці; або просочування рідин через матрицю послідовно з переважним порядком - рідкий розчинник до рідини, що дає реактивні речовини.
	Рідина	Рідина	Тверда речовина	Попереднє змішування гігроскопічної твердої речовини з матрицею, потім додавання рідкого розчинника для розчинення гігроскопічної твердої речовини, після якого додавання рідкої реактивної речовини (або навпаки) для формування розчину просочування; або попереднє змішування розчинника і реактивної речовини у рідкій фазі, як розчин просочування для введення у попередньо зроблену суміш гігроскопічної твердої речовини-матриці.
	Рідина	Газ		Просочування матриці з газом і конденсування у матриці як рідини, потім просочування другої рідини у матрицю для змішування з першою рідиною у матриці; або Переважним шляхом є попереднє змішування газу і рідини за допомогою конденсування газу і змішування у другу рідину, потім введення розчину у пористу матрицю
	Газ	Рідина	-	Просочування рідини, після якого введення газу; або Попереднє розчинення газу у рідині, після якого просочування
	Тверда речовина	Тверда речовина		Змішування твердих речовин з пористою матрицею, потім утворення тиску або нагрівання для формування рідини просочування. Одна тверда речовина може розрідити іншу для формування рідкої фази, яка може бути видалена пізніше за допомогою промивання. Інші тверді речовини можуть додаватись для зменшення температури плавлення для формування рідкої фази, тому що вони можуть видалятися пізніше.
	Рідина	Тверда речовина		Підготовлення розчину просочування за допомогою розчинення твердої речовини у рідині, після якого йде просочування; або Попереднє змішування твердої частини з пористою матрицею, потім просочування рідиною
	Тверда речовина	Рідина		Підготовлення розчину просочування за допомогою розчинення твердої речовини у рідині, потім просочування; або Попереднє змішування твердої речовини з пористою матрицею, потім просочування рідиною

У деяких формах виконання, розчинник і реактивна речовина може попередньо змішуватись для формування середовища просочування і потім введення у матрицю в один етап. У інших формах виконання, може бути переважним використовувати чисельні послідовності просочування. Наприклад, вихідний матеріал розчинника може вводиться першим, після чого відбувається просочування реактивної речовини або навпаки.

Ані вихідний матеріал розчинника, ані вихідний матеріал реактивної речовини не повинні бути тією самою фазою спочатку, тому що середовище просочування буде рідиною, що знаходиться у порах матриці. Наприклад, вихідний матеріал розчинника може бути парою, такою як вода, яка стає газоподібною при температурах 100 °C або вище при атмосферному тиску і можуть конденсуватись до рідини за допомогою охолодження матриці до температури нижчої, ніж 100 °C, або використання поверхневої енергії за допомогою використання пористих матриць з розмірами пор у діапазоні розміру пор за Кельвіном (менше, ніж 100 нм). Коли пори великі, температура підвищується так, щоби газоподібна речовина не могла бути термічно конденсованою, потребуються невеликі кількості розчину просочування або інші причини, які не обговорюються в цьому документі, а може бути бажаним формувати рідину у порі, використовуючи гігроскопічну сполуку. Приклади таких сполук включають борну кислоту, нітрат заліза і гідроксид калію. У цьому випадку, пара, така як вода, може перетворювати гігроскопічну тверду фазу у порі у рідину і зростання кристала фази продукту може продовжуватись у порі. Це особливо корисно, коли просочування і дифузія рідини обмежують товщину продукту, зробленого за допомогою HLPs. В іншому варіанті газоподібну дифузію можна використовувати для перенесення речовини на значно більші відстані для формування середовища просочування, яке потребує HLPs всередині пор матриці.

Можна включати різні домішки для вдосконалення процесу HLPs і продуктів, що з'являються в результаті. Домішки можуть бути твердими речовинами, рідинами або газами у їхньому чистому стані, але або розчинні у розчинній фазі, або сумісно обробляються (наприклад, попередньо змішані) з пористою матрицею до включення середовища просочування. Приклади включають зародок кристалізації, інгібіторні засоби утворення зародку, кондиціонери розчинника (наприклад, засоби пом'якшення води), зволожувальні засоби, незволожувальні засоби, домішки цементу або бетону, домішки для будівельних матеріалів, домішки керування морфологією кристала, каталізатори зростання кристала, домішки, які уповільнюють зростання кристала, буфери pH, регулятори іонної сили, диспергатори, зв'язувальні елементи, засоби реологічного контролю, каталізатори швидкості реакції, електростатичні, стеричні, електростеричні, поліелектроліт і дисперсанти шару Vold, герметизувальні агенти, зв'язувальні агенти та інші поверхневі адсорбційні речовини, кислотні або базові pH модифікатори, газ, що генерує домішки, рідини або тверді речовини (наприклад, коли нагріті, під тиском, без тиску, вступили в реакцію з іншою речовиною або піддані будь-якій змінній величині оброблення, тут не перелічені)), і біологічні або синтетичні компоненти (наприклад, що служать будь-якою з вищевказаних функцій і/або як розчинник, реактивна речовина або пориста матриця).

У деяких формах виконання, може використовуватись гігроскопічна тверда речовина. Гігроскопічна тверда речовина може бути попередньо змішана з пористою матрицею. Потім попередньо зроблена суміш розчинника і щонайменше одна реактивна речовина можуть вводиться у гігроскопічну тверду-пористу матрицю. Розчинник і щонайменше одна реактивна речовина у попередньо зробленій суміші можуть бути у газоподібній фазі або у рідкій фазі. У деяких формах виконання, розчинник може бути рідиною і щонайменше одна реактивна речовина може бути у газоподібній фазі у попередньо зробленій суміші, або навпаки.

Газовий-водяний паровий потік може проходити через гігроскопічну сіль у пористій матриці для генерування середовища просочування у пустотах між частинками у пористій матриці. Наприклад, вологий газовий-водяний паровий потік можуть служити як розчинник для розчинення та іонізації CO<sub>2</sub>. Відомо, що велика кількість солей є гігроскопічними і можуть використовуватись придатними для формування рідких розчинів з потоку вологого повітря через сольові поверхні. Вибір належної солі обумовлюється рівнем вологості у повітрі. Деякі солі можуть працювати при дуже низькій відносній вологості. Приклади гігроскопічних солей включають Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub> і NaCl.

Відносно постачання середовища просочування, воно може постачатись як основна маса розчину, яка спонтанно зволожує пористу матрицю. Існує багато варіантів постачання цього розчину. По-перше, пориста матриця може занурюватись у рідину. По-друге, розчин просочування може розпилюватись по пористій матриці. У гігроскопічній системі, коли об'єм розчину просочування, який більше, ніж об'єм пор пористої матриці, дифузія розповсюджує реакцію за допомогою постачання реактивної речовини до порожнин пор.



В альтернативному варіанті, рідина може текти (механічно конвективно) через пористу матрицю за допомогою різноманіття способів. Способи, такі як потік під тиском, висушування, електроосмотичний потік, і потік, обумовлений температурним і хімічним градієнтом, може використовуватись для пропускання рідкого середовища просочування через пористе тіло. Цей динамічний потік дозволяє свіжому реагенту бути поруч з пористою матрицею, на протигагу залежності від дифузійних процесів. Цей підхід сприятливий за умови, коли розподіл розміру пор матриці дозволяє розумно високу витрату рідини, яка постачає реактивну речовину швидше, ніж дифузійний процес, і оптимальний, коли швидкість притоку дорівнює або перевищує швидкість реакції для формування продукту. Додатково, пропускання середовища просочування особливо корисно для високо екзотермічних реакцій. Це особливо сприятливо для товстих монолітних конструкцій, які можуть генерувати тепло всередині, здатне генерувати внутрішній тиск, здатний розірвати монолітну конструкцію.

Існує багато застосувань, де товщина матеріалів перевищує цю шкалу довжини. У цих випадках, механічна конвекція рідини за допомогою придатних засобів, відомих середньому спеціалісту, є переважною. За альтернативним варіантом розчинник або реактивна речовина вводиться як газова речовина. Також, надкритичні умови можуть використовуватись для досягнення швидкості перенесення, які лежать між рідинами і газами. Газова речовина може передаватись конвекцією за допомогою застосування градієнта тиску по всій пористій матриці. Якщо газ є реактивною речовиною, пори, заповнені розчинником, рідина може витікати з пор, залишаючи за собою плівку розчинника на порах, яка може поглинати газ реактивної речовини. В альтернативному варіанті, частково заповнені пори уможливають протікання газу через пори, тому що розчинник поглинає частину газу, що тече.

Система може використовувати низькі температури і низький тиск для уможливлення низько затратного процесу. Таким чином, процес, який утримує фракцію розчинника у порах для спрощення газоподібної дифузії реактивної речовини має перевагу над процесом, який використовує гігроскопічні рідини для реакцій, де бажається велика фракція продукту. Існує багато конструкцій пристроїв, які можуть ефективно переносити реагент і розчинювальну речовину у пори. Деякі з цих конструкцій включають стандартне обладнання реактора, такі як фільтр-преси, розпилювальні камери, автоклави і пристрої для оброблення парою.

#### D. КАМЕРИ ВИСТОЮВАННЯ З $\text{CO}_2$

Винахід пропонує пристрій і способи для низько затратного, енергоефективного, з низьким вуглецевим відбитком вистоювання бетонів, які використовують двоокис вуглецю як реагент. Зараз надається опис принципів і способів технічного проекту, які забезпечують захоплення і використання вуглецю з мінімальним підвищенням вартості, або без підвищення вартості, у порівнянні з традиційними камерами вистоювання бетону на портланд-цементі.

#### D1. ВИСТОЮВАННЯ БЕТОНУ З ВИКОРИСТАННЯМ $\text{CO}_2$

Системи і способи винаходу вживаються з використанням матеріалів і хімічного складу, які обумовлюються присутністю  $\text{CO}_2$  для вистоювання, таким як  $\text{CO}_2$ , у середовищі реакції, такому як вода, в яку надається двоокис вуглецю, карбонат-іони, і бікарбонат-іони. Приклади таких матеріалів і хімічного складу описуються вище.

Процес вистоювання бетону з використанням  $\text{CO}_2$ , що описується тут, зазвичай подібний до стандартного процесу вистоювання бетону, що описується вище, із значною різницею в тому, що п'ять параметрів незалежно керуються у контрольованому середовищі вистоювання проти первісних двох, що описується у традиційному витримуванні. Додатково до температури і вологості, також керується тиск системи, концентрація двоокису вуглецю, і швидкість газу всередині камери. Різниця стосовно керування вологості полягає в тому, що у стандартних системах попереднього рівня техніки вологість підвищується вище навколишньої, тому що вода є реагентом у витримуванні портланд-цементу, в той час коли у системах і способах, згідно з цим винаходом, вода не є реагентом, а скоріше є середовищем реакції. Навпаки, у цих системах і способах  $\text{CO}_2$  є реагентом. Відповідно, в цьому винаході водяна пара, температура і швидкість газу можуть керуватись, щоби спричинити або видалення води з вистоюваного виробу або додавання до вистоюваного виробу, як може вимагатись. Системи вистоювання типу "big room" і "multi-lane", як описується у стандартних системах вистоювання бетону, можуть також використовуватись у системах вистоювання з  $\text{CO}_2$ .

На ФІГ. 5 зображена блок-схема камери вистоювання з  $\text{CO}_2$ , яка збудована і працює згідно з принципами винаходу. На ФІГ. 5 камера вистоювання постачається з  $\text{CO}_2$  з джерела за допомогою дозувального клапана, який може керувати тиском, витратою і тривалістю  $\text{CO}_2$ . Атмосфера  $\text{CO}_2$  повторно циркулюється через повітродувку і теплообмінник або нагрівач так, щоби температуру атмосфери всередині камери вистоювання регулювати або змінювати. У деяких формах виконання, теплообмінник може використовуватись для охолодження

атмосфери всередині камери вистоювання, наприклад, якщо реакція вистоювання достатньо екзотермічна, що атмосфера надлишково нагрівається.

В описаних формах виконання, використовується технічний сорт  $\text{CO}_2$  при приблизно 99 % чистоти, який надається множиною різних промислових газових компаній, таких як Praxair, Inc., Linde AG, Air Liquide, та інших. Ця поставка може здійснюватись у великих баках-збірниках під тиском у формі рідкого двоокису вуглецю, регульованого при конкретній температурі такої, щоби вона підтримувала тиск пари приблизно 300 надл. тиску фунтів/кв. дюйм. Цей газ потім передається по трубах і тиск регулюється до камери вистоювання з  $\text{CO}_2$ . В альтернативному варіанті,  $\text{CO}_2$  захоплюється у промисловому обладнанні (включаючи, але не обмежуючись ними, заводи з виготовлення цементу, заводи з виготовлення скла,  $\text{CO}_2$  з полігону відходів та інші біогазів і біодизельних заводів) і можна використовувати обладнання джерела горіння (наприклад, виробництво електроенергії або пари). Додатково,  $\text{CO}_2$ , виготовлений із свердловин добування двоокису вуглецю, які просвердлюють в землі для екстрагування потоку двоокису вуглецю з геологічної формації або групи формацій, які містять поклади двоокису вуглецю, також можуть використовуватись.

#### D2. КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВИСТОЮВАННЯ БЕТОНУ З $\text{CO}_2$

У певних формах виконання, температура вимірюється з використанням датчика, такого як термопара або резисторний датчик температури RTD. Сигнал вимірювання спрямовується назад у контролер або комп'ютер, який може регулювати енергію у теплообмінник і, таким чином, з часом налаштовувати температуру всієї системи. Повітродувка є важливим компонентом нагрівальної системи, тому що вона може допомагати передавати теплову енергію до газу, який передає до виробів і саму камеру, яка є важливою частиною контрольованої вологості зразків. Спосіб нагрівання може бути електричним або за допомогою спалювання газу. Кожухові нагрівачі можуть використовуватись для керування температурою  $\text{CO}_2$ , який тече через камеру в контакт з нагрівальним кожухом, може використовуватись будь-яке стандартне зручне джерело тепла. Засоби зовнішнього нагрівання можуть включати, але ними не обмежуватись, електричне нагрівання, нагрівання гарячої води, або нагрівання гарячого масла. Для камер вистоювання з  $\text{CO}_2$  досі використовувались системи непрямого спалювання газу і уникали пальників прямого спалювання газу, тому що вони всмоктують повітря і продукти горіння у систему, таким чином, розчиняють  $\text{CO}_2$  і роблять керування концентрацією  $\text{CO}_2$  проблематичним. Деякі системи меншого розміру, такі як барабанні реактори використовують електричні кожухові нагрівачі для нагрівання всієї поверхні камери скоріше, ніж нагрівальний елемент всередині камери.

#### D3. ВАРІАНТИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГОСТІ ВИСТОЮВАННЯ БЕТОНУ З $\text{CO}_2$

На ФІГ. 6 зображена блок-схема камери вистоювання бетону з  $\text{CO}_2$ , яка забезпечує зволоження згідно з принципами винаходу. На ФІГ. 6 забезпечується постачання води і водяна пара додається до атмосфери, що циркулює всередині камери вистоювання. Вода може бути будь-яким зручним джерелом питної води. У деяких формах виконання, використовується звичайна вода з під крану. У деяких формах виконання, вода може перетворюватись у пару за допомогою перетікання через патрубок розпилення або патрубок дрібнокраплинного розпилення, електричний парогенератор, газовий парогенератор, або за допомогою нагрівання вище температури газу у камері, щоби спричинити випарювання з рідкого водопостачання прикладом є барабанний реактор із занурюваним нагрівачем. Ще в іншій формі виконання, постачання  $\text{CO}_2$  може перетікати у системи після барботування через систему подачі нагрітої води для збільшення відносної вологості вхідного газового потоку, прикладом є барабанний реактор, сконфігурований для оброблення "протікання через" або "відкрита петля".

Відносна вологість є важливим параметром у традиційному витримуванні бетону, а також у витримуванні бетону з  $\text{CO}_2$ . У традиційній камері вистоювання існує атмосфера вологого повітря, що складається з азоту, кисню і водяної пари. У цих системах відносна вологість найчастіше вимірюється за допомогою стандартної технології ємнісного датчика. Проте, камери вистоювання з  $\text{CO}_2$  мають газову атмосферу, що складається переважно з двоокису вуглецю, який несумісний з деякими типами цих датчиків. Сенсорна технологія, така як методи "кулька сухого термометра - кулька мокрого термометра", які використовують психометричні відношення для двоокису вуглецю і водяної пари або двополюсних поляризаційних інструментів вимірювання водяної пари або охолоджених дзеркальних гігрометрів або ємнісних датчиків вологості у системах вистоювання бетону з  $\text{CO}_2$ , описаних у цьому документі.

Залежно від типу і геометрії виробу, що витримується, конструкції камери, і ефективності ущільнення виробу у камері, вологість може вимагати або зменшення, або збільшення і регулювання до конкретного встановленого рівня. Встановлені рівні можуть змінюватись у діапазоні десь від 1 % до 99 % відносної вологості. Три різні способи керування вологістю

можуть існувати у процесах вистоювання бетону з  $\text{CO}_2$ , які можуть з'єднуватись у одну систему. Спосіб зволоження у одній формі виконання системи вистоювання  $\text{CO}_2$  представлена на ФІГ. 6.

На ФІГ. 7 зображена блок-схема камери вистоювання  $\text{CO}_2$ , яка забезпечує видалення вологи за допомогою продування вологого газу згідно з принципами винаходу. Як вказано, у деяких випадках необхідно видаляти вологість з системи для вистоювання виробів з бетону з використанням  $\text{CO}_2$ . Простий спосіб зменшення відносної вологості полягає у переміщенні вологого газу у системі сухим газом, у цьому випадку двоокису вуглецю. Волога газова суміш  $\text{CO}_2$  випускається через випускний клапан, який може бути дозувальним, регульовальним клапаном, або автоматичним стравлювальним клапаном, і складає сухий  $\text{CO}_2$ , що входить до системи повторної циркуляції для зменшення відносної вологості до бажаної встановленої величини, в той же час підтримуючи регульований тиск і витрату газу всередині системи вистоювання. У цьому типі продування для видалення вологи, недоліком є те, що більша кількість двоокису вуглецю буде випускатись з системи. Проте, перевагою є те, що кількість водяної пари може зменшуватись до концентрації водяної пари у вхідному продувному газі, який у деяких випадках може бути дуже низьким, якщо продувний газ  $\text{CO}_2$  генерується за допомогою випарювання рідкого  $\text{CO}_2$ .

На ФІГ. 8 зображена блок-схема камери вистоювання  $\text{CO}_2$ , яка забезпечує видалення вологи з використанням охолодженого теплообмінника згідно з принципами винаходу. В альтернативній формі виконання, пристрій і спосіб видалення вологи, показані на ФІГ. 8, представляє метод для зменшення відносної вологості і, таким чином, видалення водяної пари з газу за допомогою способу без продування. Цей особливий метод використовує пристрій і спосіб екстракції води для видалення води, який у одній переважній формі виконання є охолодженим теплообмінником. Блок охолоджувача повторної циркуляції циркулює воду і розчин етиленгліколю, охолодженого між  $-15^\circ\text{C}$  і  $15^\circ\text{C}$  через котушку теплообмінника із нержавіючої сталі високої площини поверхні, який встановлюється на прямій лінії потоку вологого газу. Деяка вода з газового потоку піддається переходу і конденсації фази для формування рідини на котушці, яка потім може збиратись і зливатись з системи через відстійник, стандартний клапан, або соленоїдний клапан на таймері для зливання рідини, не газу. Вигода використання цього типу системи полягає в тому, що під час процесу дуже мінімальна кількість газу двоокису вуглецю буде відкинута і втрачена, у порівнянні із способом продування для видалення вологи, показаного на ФІГ. 7. Одним недоліком цього методу є необхідність у деякому додатковому обладнанні, яке не є стандартним у традиційних камерах вистоювання бетону. Інший недолік полягає в тому, що енергетичні потреби системи будуть збільшуватись для роботи блока охолодження.

У деяких ситуаціях, наприклад, якщо існує потреба для видалення великої кількості води з системи, два способи видалення вологи, що указані вище, можуть працювати разом для утримування рівнів вологості як можна нижче.

#### D4. ЗАПОВНЕННЯ І ЗБІЛЬШЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДВООКИСУ ВУГЛЕЦЮ У СИСТЕМІ ВИСТОЮВАННЯ

На початку процесу вистоювання може спочатку існувати попередній період витримки часу двоокису вуглецю з керуванням параметрів, таких як температура, відносна вологість і швидкість газу, на який момент концентрації двоокису вуглецю можуть збільшуватись у камері вистоювання за допомогою перетікання потоку  $\text{CO}_2$  у систему з джерела газу і переміщення повітря з камери, який називається циклом продування. Впродовж циклу продування надлишок двоокису вуглецю буде використовуватись, що пояснює деяку невелику, все ще неминучу втрату у процесі. У деяких формах виконання, очікується, що газ, що існує, може збиратись і розділятись на фракції для відновлення  $\text{CO}_2$ , який іншим чином буде втрачений через вентилування або під час перенесення до вторинної камери вистоювання або додаткової секції у багатосмуговій системі вистоювання. Цикл продування закінчується, коли досягається бажана концентрація  $\text{CO}_2$  у камері вистоювання. Концентрація  $\text{CO}_2$  може вимірюватись з використанням множини різних методів вимірювання, таких як не диспергуюче інфрачервоне вимірювання або газова хроматографія. Швидкість реакції у карбонізуючих цементних композиціях, описаних вище, має сильний зв'язок з концентрацією двоокису вуглецю, і, таким чином, типові високі концентрації досягаються на початку циклу реакції, але це не повинно бути випадком у всіх ситуаціях. Після циклу продування, відносна вологість, температура і швидкість газу у камері може налаштовуватись для зменшення випарювання води із зразків у камері, якщо потрібно.

У формах виконання, описаних в цьому документі, двоокис вуглецю є реагентом і буде споживатись у процесі. Таким чином, важливо поповнювати подачу  $\text{CO}_2$  впродовж процесу для підтримування бажаної швидкості реакції. Після звершення високого потоку  $\text{CO}_2$  у камеру у циклі продування існує декілька варіантів для підтримування високого рівня  $\text{CO}_2$  впродовж

реакції.

#### D5. ПОНОВЛЕННЯ CO<sub>2</sub> ЗА ДОПОМОГОЮ ПОСТІЙНОГО ПОТОКУ І ЗЛИВУ (ВІДКРИТИЙ КОНТУР)

Один метод, який може застосовуватись, повинен використовувати стабільний, ще й низький потік CO<sub>2</sub> впродовж всієї тривалості процесу вистоювання, у той же час відведення низького потоку вихідного газу. Цей тип системи вистоювання може бути найпростішим і потребувати мінімальну кількість зворотного зв'язку і керування з системи і може використовуватись, коли профіль ще не відомий для виробу або коли точне керування не потрібне. Проте, вона також може бути сконфігурованою у складний спосіб, щоби міг мати витратоміри на вході і виході системи для здійснення балансу маси CO<sub>2</sub> і визначення швидкості та загальної кількості CO<sub>2</sub>, ізольованого за допомогою використання комп'ютеризованої системи керування, яка може остаточно вказувати швидкість реакції і визначати, коли завершений процес вистоювання. Це уможливить концентрації CO<sub>2</sub>, які потрібно поновлювати. Витрата складеного CO<sub>2</sub> потребує бути тільки такою високою, якою є витрата спожитого газу у процесі. Вторинний ефект цього способу є "продування для видалення волого", як описано раніше, за допомогою використання сухого газу для віднесення вологого газу. Цей процес може здійснюватись за допомогою надання клапана високого потоку CO<sub>2</sub> для циклу продування і клапана низького потоку CO<sub>2</sub> або контролера потоку для поповнення впродовж циклу вистоювання, як проілюстровано на ФІГ. 9. Як описано раніше, ця методологія для поповнення CO<sub>2</sub> і видалення волого потребує CO<sub>2</sub> у надлишку того, що потрібно у реакції.

Ця методологія постійного потоку називається потоком через реагування, і також корисна для процесів, що використовують постійні потоки відпрацьованого газу, багатого на CO<sub>2</sub>. Такі потоки відходів можуть бути димовими газами з множини галузей промисловості, включаючи, але ними не обмежуючись, цементні печі, печі плавлення скла, електростанції, біогази і тому подібне. Таким чином, такі камери постійного потоку можуть бути сконфігурованими і сумісними з промисловою подачею газу CO<sub>2</sub>, а також потоками відпрацьованого газу. Барабанні реактори Solidia, показані з ФІГ. 12 по - ФІГ. 15, є прикладом блоку невеликого розміру, який може використовуватись як система поновлення низького потоку CO<sub>2</sub>.

#### D6. РЕГУЛЬОВАНЕ ПОНОВЛЕННЯ ПІД НИЗЬКИМ ТИСКОМ

Після циклу продування CO<sub>2</sub> існує інший спосіб для підтримання концентрацій CO<sub>2</sub> впродовж тривалості циклу вистоювання. Цей альтернативний спосіб використовує регулювання низьким тиском. В механічно регульованій системі використовується регулятор діафрагми низького тиску. Цей регулятор може керувати тиск до такого низького значення, як 1 дюйм H<sub>2</sub>O (або приблизно 1/400 атмосфери). Ці регулятори високо чутливі і уможливають поновлення CO<sub>2</sub> тільки, коли тиск зменшується через споживання CO<sub>2</sub> у процесі реакції. Приклад цього типу системи є дрібномасштабний барабанний реактор Solidia, який може бути сконфігурованим для регульованого поновлення під низьким тиском, а також постійне поновлення потоку.

В іншій формі виконання, електронний підхід може використовуватись за допомогою вимірювання тиску у системі з високоточним перетворювачем низького тиску, з'єднаним з дозувальним контрольним клапаном замість механічного мембранного клапана. На ФІГ. 10 зображена блок-схема камери вистоювання, яка має лінію продування CO<sub>2</sub> і може забезпечувати поновлення CO<sub>2</sub> з регульованим тиском, використовуючи цей метод. Прикладом цього є система автоклава Solidia, що працює при низькому тиску.

#### D7. РЕГУЛЮВАННЯ ЗАКРИТОГО КОНТУРА КОНЦЕНТРАЦІЇ CO<sub>2</sub>

Інший спосіб підтримання концентрацій двоокису вуглецю під час реакції добре придатний для підтримування високо стійкої концентрації, хоча це найдорожчий метод. Цей спосіб використовує вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> у системі напряму, і використовує контролер, такий як PLC для керування концентрацією CO<sub>2</sub> при заданому значенні з електронним/автоматичним регульовальним клапаном. Вимірювальний метод для вимірювання CO<sub>2</sub> напряму, такий як недиспергуючий інфрачервоний (NDIR), повинен переважно використовуватись. У способі вимірювання NDIR, потік прикладу газу відбирається з системи через насос низького потоку. Охолоджувач використовується для скидання волого з газового потоку до відбирання його проби за допомогою обладнання для NDIR. Таким чином, вимірюванню, забезпеченому аналізатором, бракує компонента водяної пари газового потоку і потребує налаштування для урахування волого, яка була видалена з тестового зразка. Вимірювання вологості у газовому потоці системи може здійснюватись з використанням психрометричного методу кулька сухого термометра-кулька зволоженого термометра, як проілюстровано на ФІГ. 19 (див. пристрій 1930 вимірювання вологості кулька сухого термометра-кулька зволоженого термометра) або використанням іншого типу датчика вологості. Справжню концентрацію CO<sub>2</sub> можна розрахувати,

використовуючи комп'ютерну систему керування або PLC. Як тільки справжня концентрація CO<sub>2</sub> відома, активований дозувальний регульований клапан може додати сухий CO<sub>2</sub> до системи, коли він був спожитий і знизився нижче заданого значення, що бажано в той час. У різних формах виконання, задане значення може варіюватись з часом, якщо необхідно, на основі досвіду у витримуванні конкретних композицій, форми і розмірів зразків бетону.

На ФІГ. 11 зображена блок-схема камери вистоювання середнього розміру з чисельними способами керування вологістю, а також можливістю керування і поновлення CO<sub>2</sub>, використовуючи постійний потік або регулювання тиску, і який може керувати вологістю згідно з принципами винаходу.

#### D8. КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ГАЗУ

Іншим важливим параметром керування є швидкість газу по всьому матеріалу, який потрібно витримувати у системі, яка може дуже залежати від низки різних аспектів, включаючи, але ними не обмежуючись, конструкцію камери, конструкцію екрана, розмір вентилятора, швидкість/потужність вентилятора, кількість вентиляторів, градієнт температури всередині системи, конструкція стелажа всередині системи, і геометрія зразка всередині системи. Найпростішим способом керування швидкістю газу всередині камери є налаштування швидкості повітрорудки (RPM's), що зазвичай здійснюється з використанням приводу змінної частоти для уможливлення керування швидкістю мотору повітрорудки. Повітрорудка може використовуватись для циркулювання при бажаній швидкості у камері вистоювання. Швидкість газу у системі вимірюється у системі через множину різних методів, включаючи, але ними не обмежуючись, вимірювання трубками Піто, і лазерні системи доплерівського виявлення. Сигнал вимірювання швидкості газу може відправлятися назад у комп'ютерну систему або програмований логічний контролер і використовуватись як контрольний параметр у профілі вистоювання.

#### ПРИКЛАДИ ПРИСТРОЮ

ФІГ. 12 по ФІГ. 20 показують різні форми виконання пристроїв, які конструюються і працюють згідно з описом винахідницької системи, наведеним в цьому документі.

На ФІГ. 12 зображені декілька барабанних реакторів, сконструйованих з барабанів із нержавіючої сталі об'ємом 55 галонів.

На ФІГ. 13 зображена внутрішня частина барабанного реактора, включаючи стелажі для підтримання палет матеріалів, які потрібно тут обробити.

На ФІГ. 14 зображена зовнішня частина барабанного реактора, оточеного нагрівальним кожухом, і показується декілька з'єднувачів термопари і вхідний отвір для газу.

На ФІГ. 15 зображена панель керування барабанного реактора, що показує чотири контролери, що керують (зліва направо) заглибним нагрівачем, кожуховий нагрівач, лінійний газовий нагрівач, і вентилятор, з пристроями індикації для температур трьох нагрівачів.

На ФІГ. 16 зображена наявна на ринку камера вистоювання CDS (доступна від CDS Inc. Cinderhill Trading Estate, Weston Coyney Road, Longton, Stoke-on-Trent ST3 5JU, Великобританія), яка була модернізована для вистоювання з CO<sub>2</sub> під низьким тиском згідно з принципами винаходу. На ФІГ. 16 вхідний отвір 1610 CO<sub>2</sub> з джерела CO<sub>2</sub>, такого як бак, доданий у камеру і проілюстрований. Це приклад регульованої системи вистоювання концентрації CO<sub>2</sub>, названої переносним транспортним контейнерним реактором Solidia.

На ФІГ. 17 зображена ділянка внутрішньої частини камери з ФІГ. 16, що показує подальші модифікації, зроблені у системі вистоювання портланд-цементу попереднього рівня техніки. Був доданий дипольний поляризаційний зонд 1710 об'єму вологи Dipole. Був доданий наявний на ринку недиспергуючий інфрачервоний (NDIR) аналізатор 1740, який дозволяє визначення концентрації CO<sub>2</sub> (Siemens Ultramat 23, наявний у Siemens AG, One Internet Plaza, Johnson City, TN 37604). Охолоджувач зразка 1730 був доданий у лінію потоку, який входить в цей аналізатор. Охолоджувач зразка першим скидає вологу з газового потоку так, що датчик може зчитувати концентрацію CO<sub>2</sub> без втручання від водяної пари. Охолоджувач 1730 може використовуватись для конденсації води у системі і для висушування газового потоку, який надається в систему. Був доданий регульований клапан 1720 дозування CO<sub>2</sub>, які використовуються для збільшення концентрації CO<sub>2</sub> і потім підтримки рівнів CO<sub>2</sub> в ході реакції вистоювання.

На ФІГ. 18 дається інший вигляд NDIR аналізатора 1740.

На ФІГ. 19 дається вигляд всередині камери вистоювання, який ілюструє додаткові компоненти, що були додані. Був доданий дипольний поляризаційний газовий відбірник 1910, який використовується для вимірювання процента H<sub>2</sub>O за об'ємом з надзвичайно високою точністю. Охолоджувальний змійовик 1920 додається на стороні низького тиску зворотного каналу CO<sub>2</sub>, до того, як газ, що циркулює, досягне повітрорудку і електричний нагрівач 50 kW.

Водяна пара, відновлена як рідина з охолоджувача всередині зворотного каналу, видобувається за допомогою зливання конденсату для осушування текучого газу CO<sub>2</sub> і може вимірюватись через витратомір для уможливлення вимірювання швидкості сушіння зразків у камері. Був доданий пристрій 1930 вимірювання вологості кульки сухого термометра - кульки змоченого термометра, який подібний пращовому психрометру у дії. Температурний диференціал між кулькою змоченого термометра і кулькою сухого термометра забезпечує вимірювання відносної вологості. В іншій формі виконання програмований логічний контролер (PLC) запрограмований з інструкціями, що забезпечують обчислення відносної вологості на основі вимірювань тепла, психрометричне відношення газів, рівняння, яке презентує пару у діапазоні температури, яка використовується. Камера вистоювання модифікована за допомогою надання діафрагми 1940, через яку газ відбирається при швидкості 1 л/хв. для аналізу в аналізаторі 1740 CO<sub>2</sub> NDIR (розташованим із зовнішньої сторони активної ділянки камери вистоювання). На прикладі, показаному на ФІГ. 19, вхідний отвір 1950 для газу CO<sub>2</sub>, що приходить із дозувального клапана, надається у нижній частині камери вистоювання. В інших формах виконання, вхідний отвір може розташовуватись на іншій стороні камери, або можуть використовуватись чисельні вхідні отвори.

На ФІГ. 20 зображений знімок екрана дисплея, з'єданого з програмованим логічним контролером або іншим пристроєм керування, таким як програмований комп'ютер загального призначення, що працює під керуванням набору інструкцій, записаних у середовищі, яке може прочитати машина. У показаній формі виконання, камера вистоювання є корпусом під високим тиском, який експлуатується як реактор під атмосферним тиском, використовуючи приблизно 0,25 надп. тиску фунтів/кв. дюйм надлишковий тиск 50-99 % чистого CO<sub>2</sub>, який береться як випарювання з корпусу, що містить рідкий при високому тиску залишок - більшою частиною водяна пара. Екран автоматичної системи керування, який може бути сенсорним екраном, показує множину органів керування і пристроїв індикації змінних значень з процесу, таких як час, температура, відносна вологість, тиск, витрати газу і таке інше. Автоматична система керування забезпечує керування профілем температури і вологості у присутності високої концентрації газу CO<sub>2</sub>. Коли камера вистоювання в перший раз завантажується і запускається, система продування CO<sub>2</sub> використовується для внесення CO<sub>2</sub> в ході 15 хвилин, впродовж якого часу навколишнє повітря у камері вистоювання переміщується за допомогою CO<sub>2</sub>. Системи винаходу забезпечують динамічне керування, в якому температура, вологість, концентрація CO<sub>2</sub>, витрата CO<sub>2</sub>, і тиск системи незалежно керуються впродовж циклу вистоювання, і кожний може змінюватись для підвищення або зменшення незалежно або залежно від змін у інших змінних значеннях. Контролер може записувати будь-які данні, які він показує.

#### ПРИКЛАДИ СПОСОБУ ВИСТОЮВАННЯ

Приклад 1: 6-дюймів на 9-дюймів бруківка, витримана у барабанному реакторі в атмосфері CO<sub>2</sub> з самогенерувальною вологістю

Сировина

Синтетичний воластоніт (SC-C2), Donghai Golden Resources Industries, Donghai, China; ¼" щебінь з трапу із Stavola (NJ), будівельний пісок із Bound Brook (NJ) і гленіум 7500 (BASF). У Таблиці 4 дається пропорція суміші сировини, яка використовується для підготування бруківки.

Таблиця 4

Пропорції змішування (100 кг розмір партії)

Тверді компоненти:	94,3 %	
Синтетичний воластоніт (SC-C2)	18 %	17,1 кг
Будівельний пісок	55,2 %	52,2 кг
¼" щебінь	26,8 %	25 кг
Рідкі компоненти:	5,7 %	
Водопровідна вода	98,81 %	5,632 кг
Гленіум 7500	1,19 %	0,068 kg

#### Процедура змішування

Виміряти і завантажити 25 кг ¼" заповнювача у планетарну мішалку Sicoma<sup>TM</sup> MP375/250).

Виміряти і завантажити 55,2 кг будівельного піску у мішалку.

Виміряти і завантажити 17,1 кг синтетичного воластоніту (SC-C2) у мішалку.

Змішати тверді компоненти, завантажені у мішалку впродовж приблизно 3 хвилин. Це утворює суху суміш.

Виміряти і завантажити рідкий компонент (5,632 кг води і 0,068 кг гленіуму 7500, як у цьому прикладі) у мішалку, що містить суху суміш, і продовжити змішування приблизно впродовж 2 хвилин, доки не сформується рівномірна суспензія. Це утворює мокру суміш.

#### Процедура ущільнення

Мокра суміш скидається у завантажувальний бункер і передається до машини, що формує бруківку (Columbia Model 1600).

Мокра суміш потім скидається у живильну лійку машини, що формує бруківку.

Мокра суміш потім скидається з живильної лійки у порожнину прес-форми бруківки. При скиданні суміші у порожнину прес форми бруківки, прес-форма вібує так, щоби ефективно заповнити порожнину.

Головка стискання преса машини для утворення однорідного покриття стискає мокру суміш впродовж приблизно 1,5 секунд, або доки мокра суміш досягне висоту 2 5/8" дюймів. Це утворює сирий керамічний матеріал.

Сирий керамічний матеріал у формі бруківки потім відокремлюється від прес-форми порожнини.

#### Процедура вистоювання

Сирий керамічний матеріал у формі бруківки вистоюється у барабанному реакторі наступним чином. Наявний на ринку 1,6 кВ нагрівальний кожух у контакті із зовнішньою частиною барабана із нержавіючої сталі об'ємом 55 галонів нагрівається до 110 градусів Цельсія для підігріву корпусу впродовж приблизно двадцяти хвилин. Сирий керамічний матеріал завантажується на алюмінієві листи і розміщується на стелажі системи, яка містить вентилятор 373 CFM і відбійну систему для спрямовування потоку по всім зразкам. Кришка, що містить отвір з діаметром 1/2", запечатується навколо барабана через компресійне кільце прокладки. Вентилятор запускається і починається потік CO<sub>2</sub> у діапазоні від 200-500 л/хв., що тече через систему і виходить через отвір 1/2" на кришці. Після п'ятнадцяти хвилин потік CO<sub>2</sub> зупиняється і отвір 1/2" закривається зливною пробкою низького тиску, випускаючи будь-який тиск, що перевищує 1/2 надл. тиску фунтів/кв. дюйм. Нагрівальний кожух керується для регулювання внутрішньої температури газу системи 60 °C. При підвищенні тиску від розширення газів під час нагрівання і підвищенні тиску водяної пари випаровування води у зразках, зливна пробка низького тиску періодично розвантажує тиск і випускає деяку кількість вологого CO<sub>2</sub>. Відкривається альтернативна лінія CO<sub>2</sub>, яка містить регулятор низького тиску, який регулює газ у барабанному реакторі до 0,33 надл. тиску фунтів/кв. дюйм. Цей регулятор додає газ до системи, якщо тиск впаде нижче 0,33 надл. тиску фунтів/кв. дюйм, що трапляється, коли досягається термічна рівновага і споживається CO<sub>2</sub> у камері реакції. Відносна вологість у системі підтримується на відносно високому рівні, в кількості в межах 60-96 %. Після 20 годин, потік газу у систему зупиняється і кришка відкривається. Сирий керамічний матеріал, зараз перетворений у вистояну бруківку, видаляється з системи і містить десь від 3-5 % CO<sub>2</sub> за масою, і має міцність на стискання у діапазоні 2,000-13,000 фунтів/кв. дюйм, як перевірено на ASTM C 936.

Приклад 2: Бруківка розміром 6-дюймів на 9-дюймів, вистояна у барабанному реакторі у атмосфері CO<sub>2</sub> із дренажем конденсату для висушування.

Сирий керамічний матеріал у формі бруківки підготовлюється у той самий спосіб, як у Прикладі 1.

Процедура вистоювання

Процес вистоювання, описаний у Прикладі 1, здійснюється при використанні електромагнітного клапана на таймері (відкривається на 5 секунд кожні 10 хвилин) на дні барабанного реактора для видалення конденсату на дні реактора і, таким чином, зменшення вологості у системі впродовж циклу вистоювання. Час використовується так, щоби система залишалась герметично закритою і тільки періодично випускає конденсат без випускання дуже великої кількості газу із системи. Можуть використовуватись відстійні бачки для рідини, але використання може бути складним через пов'язаний з цим низький тиск газу. Під час цього відносна вологість підтримується у межах 37-67 %. Після 20 годин потік газу в систему зупиняється і відкривається кришка. Вистояна бруківка видаляється із системи і містить десь від 3-5 % CO<sub>2</sub> за масою, і має міцність на стискання у діапазоні 2,000-13,000 фунтів/кв. дюйм, як протестовано на ASTM C 936.

Приклад 3: Бруківка розміром 6-дюймів на 9-дюймів, вистояна в барабанному реакторі у атмосфері CO<sub>2</sub> з доданою вологістю за допомогою нагрівання води на дні камери.

Сирий керамічний матеріал у формі бруківки підготовлюється у той самий спосіб, що і в Прикладі 1.

Виконується процес вистоювання, описаний у Прикладі 1, де у нижній частині барабанного реактора встановлений 1 кВт занурюваний нагрівач. Барабан заповнений приблизно 3-5 галонами води, достатніми для покриття 1 кВт занурюваного нагрівача. Кришка, що містить отвір діаметром 1/2", герметично закривається навколо барабана за допомогою притискного ущільнювального кільця. Включається вентилятор і починається потік у діапазоні від 200-500 л/хв., який тече через систему і виходить через отвір 1/2" на кришці. Після десяти хвилин потік CO<sub>2</sub> зупиняється і отвір 1/2" закривається зливною пробкою низького тиску, випускаючи будь-який тиск, що перевищує 1/2 надл. тиску фунтів/кв. дюйм. Нагрівальний кожух керується для регулювання внутрішньої температурою газу системи при 60 °C. Для підвищення відносної вологості у системі вихідна потужність до занурюваного нагрівача керується для нагрівання води до 64 °C, що вимірюється окремою термopарою, зануреною у воду. При зростанні тиску від розширення газів під час нагрівання і зростання тиску водяної пари від випарювання води у зразках, зливна пробка низького тиску з періодичним зниженням тиску і випуском деякої кількості вологого CO<sub>2</sub>. Відкривається альтернативна лінія CO<sub>2</sub>, що містить регулятор низького тиску, який регулює газ у барабанному реакторі до 0,33 надл. тиску фунтів/кв. дюйм. Цей регулятор додає газ до системи, якщо тиск падає нижче 0,33 надл. тиску фунтів/кв. дюйм, що трапляється, коли досягається термічна рівновага і CO<sub>2</sub> споживається у камері реактора. Відносна вологість у системі підтримується на дуже високому рівні в межах 83-99 %. Після 20 годин потік газу у систему зупиняється і кришка відкривається. Бруківка видаляється із системи і містить всюди від 3-5 % CO<sub>2</sub> за масою, і має міцність на стискання у діапазоні 5,000-13,000 фунтів/кв. дюйм, як протестовано на ASTM C 936.

Приклад 4: Вистояна бруківка розміром 6-дюймів на 9-дюймів у барабанному реакторі у атмосфері CO<sub>2</sub> з висушеним вхідним потоком CO<sub>2</sub> за допомогою барботування газового потоку через систему гарячої води.

Сирий керамічний матеріал у формі бруківки підготовлюється у той самий спосіб, що і в Прикладі 1.

#### Процедура вистоювання

Зразки вистояються у потоці барабанного реактора наступним чином: наявний на ринку 1,6 kw нагрівальний кожух в контакт з зовнішньою частиною барабана із нержавіючої сталі об'ємом 55 галонів нагрівається до 110 Цельсія для підігрівання корпусу впродовж приблизно двадцяти хвилин. Зразки завантажуються на алюмінієві листи і розміщуються на стелажній системі, що містить вентилятор 373 CFM і відбивальну систему для спрямовування потоку по всіх зразках. Кришка, що містить отвір діаметром 1/2", герметично закривається навколо барабана за допомогою притискної ущільнювальної прокладки. Для цього експерименту утворюється розчинений потік CO<sub>2</sub>. 99,9 % потоку промислового харчового газу CO<sub>2</sub> і стислого повітря регулюється за допомогою використання витратоміру змішування газу, який дозволяє керувати потоком кожного газу розчинювати концентрацію CO<sub>2</sub> до діапазону 25-40 % із загальною витратою у діапазоні 20-50 л/хв. Наявний на ринку бак високого тиску парового котла з підігрівом 1,1 кВт заповнюється водою і з'єднується з вхідним отвором для CO<sub>2</sub>. Газовий потік барботується через регульовану гарячу воду 75 °C і в барабанний реактор, що забезпечує високо висушений газовий потік. Температура води може керуватись для налаштування вологості. Лінії, що ідуть від гарячого парового котла до барабанного реактора, ізолюються для попередження конденсації і також можуть бути з супроводжувані підігрівом для навіть більшої вологості. Запускається вентилятор і потік починає рухатись через систему, виходячи через отвір 1/2" на кришці. Постійний випуск цієї вологої газової суміші виходить з систем через отвір на передній кришці в ході циклу вистоювання. Нагрівальний кожух контролюється для регулювання внутрішньої температури газу системи при 60 °C і підтримування стін системи теплими для попередження конденсації вхідного висушеного газового потоку. Відносна вологість системи підтримується на відносно високому рівні, в межах 92-98 %. Після 20 годин потік газу у систему зупиняється і відкривається кришка.

Приклад 5: Блок легкої ваги з 18 % розмеленого силікату кальцію, вистояного в автоклаві при атмосферному тиску у атмосфері CO<sub>2</sub>, використовуючи охолоджувач для зменшення вологості.

#### Сировина

Синтетичний воластоніт (SC-C2), Donghai Golden Resources Industries, Донхай, Китай; заповнювач із трапа 1/4" із Stavola (NJ), будівельний пісок з Bound Brook (NJ), зольний залишок з Austral Masonry (Австралія), кам'яний пил з Austral Masonry (Австралія), сіка віскокріт (Sika) і гленіум 7500 (BASF). У Таблиці 5 показується пропорція суміші сировини, що використовується для підготування бруківки.



Таблиця 5

Пропорції змішування (розмір партії 100 кг)

Тверді компоненти	92,61 %	
Синтетичний воластоніт (SC-C2)	18 %	16,67 кг
Будівельний пісок	25,20 %	23,33 кг
¼" заповнювач	16,10 %	14,91 кг
Зольний залишок	19,50 %	18,06 кг
Кам'яний пил	21,20 %	19,63 кг
Рідкі компоненти	7,31 %	
Водопровідна вода	99,30 %	7,26 кг
Гленіум 7500	0,30 %	0,02 кг
Сіка віскокріт	0,40 %	0,03 кг

Процедура змішування

5 Відміряти і завантажити 23,33 кг будівельного піску у планетарну мішалку (Sicoma™ MP375/250).

Відміряти і завантажити 14,91 кг ¼" заповнювача у мішалку.

Відміряти і завантажити 18,06 кг зольного залишку у мішалку Відміряти і завантажити 19,63 кг кам'яного пилу у мішалку

Відміряти і завантажити 16,67 кг синтетичного воластоніту у (SC-C2) у мішалку.

10 Змішати тверді компоненти, завантажені у мішалку, впродовж 3 хвилин. Це утворює суху суміш.

Відміряти і завантажити рідкий компонент (7,26 кг води, 0,02 кг гленіуму 7500 і 0,068 кг гленіуму 7500, як у цьому прикладі) у мішалку, що містить суху суміш, і продовжити змішування впродовж приблизно 2 хвилин, поки не буде сформована однорідна рідка маса. Це утворює вологу суміш.

15 Процедура ущільнення

Волога суміш скидається у бункері і передається до машини формування бруківки (Columbia Model 1600)

20 Мокра суміш потім скидається у живильну лійку машини формування бруківки. Волога суміш потім скидається з живильної лійки у порожнину прес-форми бруківки. При скиданні мокрої суміші у порожнину прес-форми бруківки, прес-форма піддається вібрації для ефективного заповнення порожнини.

25 Верхня частина стискання преса бетонуальної машини стискає мокру суміш впродовж приблизно 1,5 секунд або поки мокра суміш не досягне висоти 2 5/8" дюйма. Це утворює сирий керамічний матеріал.

Сирий керамічний матеріал у формі блока потім видобувається з порожнини прес-форми.

Процедура вистоювання

30 Сирий керамічний матеріал у формі блоків формується за один раз на плиту. Кожна плита розміщується на алюмінієвому візку і переміщується всередину горизонтального автоклава діаметром 7 футів, довжиною 12 футів, який був підігрітий до 60 °C через непрямий змійовик парового теплообмінника з тиском пари 140 фунтів/кв. дюйм. Автоклав потім продувається газом CO<sub>2</sub>, нагрітим до 75 °C за допомогою утримання верхнього газового клапана відкритим, в той же час працюючи з повітродувкою потужністю 7,5 кінських сил при 3600 об./хв., в той же час пропускаючи 60 фунтів/кв. дюйм тиску газу CO<sub>2</sub> від бака, що вміщує рідкий CO<sub>2</sub> до камери.

35 Продувка здійснюється впродовж 12 хвилин для досягнення концентрації CO<sub>2</sub> 97 % за об'ємом.

Клапан стравлювання зверху автоклава потім закрили, тиск CO<sub>2</sub> всередині автоклава регулювали до 0 надл. тиску фунтів/кв. дюйм, а температуру газу підтримували на 60 °C. У цій формі виконання відносно вологістю керували не точно, а налаштовували вручну. Впродовж перших 5 годин профілю, теплообмінник з високою питомою поверхнею, охолоджений до 4 °C сумішшю етиленгліколю/води за допомогою охолоджувача 10 кВт, піддається впливу газового потоку, що дозволяє атмосфері камери бути осушеною впродовж цього часу. Воду конденсату, сформованого на охолоджувачі, спускають і скидають з реактора через наявний на ринку відстійник рідких речовин Armstrong. Після 5 годин охолоджувач вимикається і вологість в системі починає зростати і підтримується в межах діапазону 60 і 55 %. Наприкінці 20 годинного циклу вистоювання свіже навколишнє повітря вноситься у систему вистоювання через насос і переміщує CO<sub>2</sub> з камери вистоювання для безпечного відкривання дверці камери. Після завершення циклу вистоювання деякий об'єм конденсованої води акумулюється на дні системи, або більшість води, втраченої від блоків.

На ФІГ. 21 зображений відповідний профіль температури і вологості для прикладу 5.

Приклад 6: Блок нормальної ваги, вистояний в автоклаві при атмосферному тиску у атмосфері CO<sub>2</sub>, що використовує самогенеруючу вологість

Сировина:

Синтетичний воластоніт (SC-C2), Donghai Golden Resources Industries, Донгай, Китай; заповнювач з трапу ¼" із Stavola (NJ), будівельний пісок з Bound Brook (NJ) і гленіум 7500 (BASF). В Таблиці 6 показується пропорція змішування сировини, яка використовується для цього прикладу.

Таблиця 6

Пропорції змішування (розмір партії 100 кг)

Тверді компоненти:	93,9 %	
Синтетичний воластоніт (SC-C2)	18 %	16,902 кг
Будівельний пісок	55,2 %	51,832 кг
¼" заповнювач	26,8 %	25,165 кг
Рідкі компоненти:	6,1 %	
Водопровідна вода	98,81 %	6,02 кг
Гленіум 7500	1,19 %	0,08 кг

Процедура змішування

Процедура змішування подібна процедурі, прийнятій для ущільненої бруківки, як описано у Прикладі 1.

Процедура ущільнення. Подібна процедура була використана для ущільнювання блоків, як вказано у Прикладі 1 для ущільненої бруківки з винятком у геометрії прес-форми для формування сирого керамічного матеріалу. Розмір ущільнених блоків був 7 5/8" x 7 5/8" x 15 5/8" (49 % об'єму складали тверді речовини).

Процедура вистоювання

Сирий керамічний матеріал у формі блоків формується 3 за один раз на плиту. Кожна плита розміщується на алюмінієвому візку і переміщується всередину горизонтального автоклава діаметром 7 футів, довжиною 12 футів, який був підігрітий до 60 °C через непрямий змійовик парового теплообмінника з тиском пари 140 фунтів/кв. дюйм. Автоклав потім продувається газом CO<sub>2</sub>, нагрітим до 75 °C за допомогою утримання верхнього газового клапана відкритим, в той же час працюючи з повітрорудкою потужністю 7,5 кінських сил при 3600 об./хв. в той же час пропускаючи 60 фунтів/кв. дюйм тиску газу CO<sub>2</sub> від бака, що вміщує рідкий CO<sub>2</sub> до камери. Продувка здійснюється впродовж 12 хвилин для досягнення концентрації CO<sub>2</sub> 97 % за об'ємом. Клапан стравлювання зверху автоклава потім закрили, тиск CO<sub>2</sub> всередині автоклава регулювали до 0 надл. тиску фунтів/кв. дюйм, а температуру газу підтримували на 60 °C. Наприкінці 8 годинного циклу вистоювання свіже навколишнє повітря вноситься у систему вистоювання через насос і переміщує CO<sub>2</sub> з камери вистоювання для безпечного відкривання дверці камери. Після завершення циклу вистоювання деякий об'єм конденсованої води акумулюється на дні системи, або більшість води, втраченої від блоків. За 8 годин циклу вистоювання, відносна вологість природно збільшується до приблизно 70 % завдяки випарюванню води із зразків і має тенденцію повільно зменшуватись до приблизно 65 % через конденсацію в системі.

На Фігурі 22 зображений відповідний профіль температури і вологості для прикладу 6.

#### Тестування

Вистояний керамічний матеріал у формі ущільненого блока був протестований на необмежену міцність на стискання згідно з ASTM C90. Міцність на стискання підготовлених блоків була 17,2 МПа (2500 фунтів/кв. дюйм).

#### ВИЗНАЧЕННЯ

Як використовується в цьому документі, терміни "хімічний реагент", "реагент", "реагент" і "хімічний реагент" мається на увазі, що всі вони синоніми, і використовуються для посилання на хімічні речовини, які реагують з іншими хімічними речовинами.

Вважається, що записування результатів з експлуатації або отриманих даних, таких як, наприклад, результати запису у конкретний час або згідно з конкретними умовами експлуатації означають і визначаються в цьому документі як письмові вихідні дані у незмінний спосіб для елемента зберігання, для носія даних, придатного для машинного зчитування, або для пристрою зберігання. Незмінні носії даних, що придатні для машинного зчитування, які можуть використовуватись у винаході, включають електронні, магнітні і/або оптичні носії даних, такі як магнітні гнучкі диски і жорсткі диски; а DVD-дисковод, а CD-дисковод, який у деяких формах виконання може використовувати DVD-диски, будь-які CD-ROM-диски (тобто, запам'ятовуючі пристрої на оптичних компакт-дисках, доступних тільки для читання), CD-R-диски (тобто, запам'ятовуючі пристрої на оптичних компакт-дисках тільки для однократного запису), і CD-RW-диски (тобто, запам'ятовуючі пристрої на оптичних компакт-дисках, придатних для перезапису); електронні носії даних, такі як RAM, ROM, EPROM, картки Compact Flash, картки PCMCIA, або альтернативні SD або SDIO-картки; і електронні компоненти (наприклад, дисководи для гнучких дисків, DVD-дисководи, CD/CD-R/CD-RW-дисководи, або Compact Flash/PCMCIA/SD-адаптери), які містять і читають і/або записують на носії даних. Якщо інше чітко не зазначено, будь-яке посилання в цьому документі до "запис" або "записування" розуміється як посилання на незмінні записи або незмінні записування.

Як відомо спеціалістам з носіїв даних, придатних для машинного зчитування, нові інфокомунікаційні технології і формати для зберігання даних постійно розробляються, і будь-який зручний, наявний на ринку носій інформації і відповідний пристрій запису/читання, який може стати доступним у майбутньому, скоріш за все буде належним для використання, особливо якщо від забезпечує будь-що з більшої місткості зберігання, більшої швидкості доступу, меншого розміру, і меншої вартості на біт інформації, що зберігається. Добре відомі старіші носії, що зчитуються машинами, також наявні для використання у певних умовах, такі як перфоровані стрічки і карти, магнітне записування на плівку або дріт, оптичне або магнітне записування друкованих символів (наприклад, OCR і магнітно закодованих символів) і символи, придатні для машинного зчитування, такі як одновимірні і двовимірні штрих-коди. Записування даних у вигляді зображень для пізнішого використання (наприклад, записування зображення на ЗП або на цифровий ЗП) можна виконувати для уможливлення використання записаної інформації як вихідних даних, як дані для відбиття для користувача, або як дані, яку потрібно зробити доступними для пізнішого використання. Такі елементи цифрових запам'ятовуючих пристроїв або чипів можуть бути окремими запам'ятовуючими пристроями, або які можуть включатись всередину належного пристрою. "Записування вихідних даних" або "записування зображення на запам'ятовуючий пристрій" визначаються в цьому документі як включаючи записування перетворених даних до журналів всередині мікрокомп'ютера.

"Мікрокомп'ютер" визначається в цьому документі як синонім мікропроцесора, мікроконтролера, і цифрового сигнального процесора ("DSP"). Розуміється, що запам'ятовуючий пристрій, який використовується мікрокомп'ютером, включаючи, наприклад, інструкції для оброблення даних, закодовані як "програмні засоби" можуть знаходитись у запам'ятовуючому пристрої фізично всередині чипа мікрокомп'ютера або у запам'ятовуючому пристрої, зовнішньому до мікрокомп'ютера або у комбінації внутрішнього і зовнішнього запам'ятовуючих пристроїв. Подібним чином, аналогові сигнали можуть бути цифровані окремим конвертером аналогового сигналу в цифровий ("ADC"), або один або більше ADCs або мультиплексних ADC каналів можуть знаходитись всередині пакету мікрокомп'ютера. Також розуміється, що чипи набору, що програмується користувачем ("FPGA") або чіпи спеціалізованих інтегральних мікросхем ("ASIC") можуть виконувати функції мікрокомп'ютера, або у апаратній логіці, емуляції програмного засобу мікрокомп'ютера, або комбінації двох. Пристрої, що мають будь-які ознаки винаходу, описані в цьому документі, можуть працювати повністю на одному мікрокомп'ютері або можуть включати більше, ніж один мікрокомп'ютер.

Програмовані комп'ютери загального призначення, корисні для управління контрольно-вимірювальною апаратурою, записування сигналів і аналізування сигналів або даних згідно з

цим описом, може бути будь-який персональний комп'ютер (PC), комп'ютер на основі мікропроцесора, переносний комп'ютер, або інший тип пристрою оброблення. Програмований комп'ютер загального призначення зазвичай містить центральний процесор, блок пам'яті, який може записувати і зчитувати інформацію і програми, що використовують носії інформації, придатні для машинного зчитування, кінцевий пристрій зв'язку, такий як пристрій дротового зв'язку або пристрій бездротового зв'язку, вихідний пристрій, такий як термінал з дисплеєм, і пристрій вводу, такий як клавіатура. Термінал з дисплеєм може бути дисплеєм з сенсорним екраном, в якому випадку він може працювати як дисплейний пристрій і пристроєм вводу. Можуть бути різні і/або додаткові пристрої вводу, такі як вказівний пристрій, такі як мишка або джойстик, можуть бути присутніми і різні або додаткові вихідні пристрої, такі як пристрій тривожної сигналізації, наприклад, акустична колонка, другий дисплей, або принтер. Комп'ютер може працювати на будь-якій з множини операційних систем, таких як, наприклад, декілька версій Windows, або MacOS, або UNIX, або Linux. Результати обчислення, отримані в експлуатації комп'ютера загального призначення можуть зберігатись для пізнішого використання, і/або можуть відображатися для користувача. Щонайменше кожний комп'ютер загального призначення на основі мікропроцесора має журнали, які зберігають результати кожного етапу обчислення всередині мікропроцесора, результати яких потім зазвичай зберігаються в кеш-пам'яті для пізнішого використання, щоби результат можна було відбити, записати до незмінного запам'ятовуючого пристрою, або використовувався в подальшому обробленні або аналізі даних.

У цій специфікації і формулі, що додається, форми однини включають посилання на множину, якщо тільки контекст чітко не говорить інше.

Якщо інше не визначене, всі технічні і наукові терміни, які використовуються в цьому документі, мають те саме значення, що зазвичай розуміється середнім спеціалістом в цій галузі. Хоча будь-які способи і матеріали, подібні або еквівалентні тим, що описуються в цьому документі, можуть також використовуватись на практиці або при тестуванні цієї відкритої інформації, переважні способи і матеріали зараз описуються. Способи, вказані в цьому документі, можуть виконуватись в будь-якому порядку, який логічно можливий, додатково до окремого розкритого порядку.

#### ВКЛЮЧЕННЯ ОЗНАК ШЛЯХОМ ПОСИЛАННЯ

Посилання і цитування інших документів, таких як патенти, заявки на патенти, публікації патентів, журнали, книги, доклади, матеріали з інтернету здійснюються в розкритті цього винаходу. Всі такі документи, таким чином, включаються в цей документ шляхом посилання у всій повноті для всіх цілей. Будь-які матеріали, або їхні частини, які вважаються включеними в цей документ посиланням, але які конфліктують з існуючими визначеннями, заявами або іншими матеріалами розкриття, чітко визначеними в цьому документі, тільки включаються до тієї міри, що ніякого конфлікту не виникає між таким включеним матеріалом і цим розкриттям винаходу, як переважне розкриття.

#### ЕКВІВАЛЕНТИ

Репрезентативні приклади, розкриті в цьому документі, призначені, щоби допомогти проілюструвати винахід, і не призначені для, ні повинні трактуватись, обмежувати об'єм винаходу. Дійсно, різні модифікації винаходу і також чисельні подальші форми виконання цього винаходу і різні подальші форми виконання винаходу, додатково до описаних і описаних в цьому документі, стає очевидним спеціалісту в цій галузі з повного змісту цього документу, включаючи приклади і посилання на наукову і патентну літературу, процитовану в цьому документі. Приклади містять важливу додаткову інформацію, завірені копії і інструкцію, яка може адаптуватись до практики цього винаходу у різних формах виконання винаходу та їхніх еквівалентів.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Система вистоювання для вистоювання матеріалу, що потребує CO<sub>2</sub> як реагент вистоювання, яка містить:

камеру вистоювання, що містить щонайменше один порт, виконаний з можливістю уможливлення введення вказаного матеріалу в указану камеру вистоювання і видалення з камери вистоювання, і має щонайменше один корпус для вказаного порту, вказаний корпус виконаний з можливістю забезпечення атмосферного затвора, коли закритий, щоби попередити забруднення газу, присутнього у вказаній камері вистоювання за допомогою газу за межами вказаної камери вистоювання;

джерело двоокису вуглецю, виконане з можливістю надання газоподібного двоокису вуглецю у вказану камеру вистоювання, вказане джерело двоокису вуглецю, що має щонайменше один пристрій регулювання потоку для керування витратою вказаного газоподібного двоокису вуглецю у вказану камеру вистоювання;

5 підсистему газового потоку, виконану з можливістю циркулювання вказаного газу через вказану камеру вистоювання впродовж періоду, коли матеріал, що споживає  $\text{CO}_2$  як реагент, вистоюється;

підсистему керування температурою, виконану з можливістю керування температурою вказаного газу всередині вказаної камери, де вказана підсистема керування температурою включає в себе теплообмінник, виконаний з можливістю керування температури вказаного газоподібного двоокису вуглецю, який подається у вказану камеру вистоювання через вказаний отвір входу газу у вказаній камері вистоювання;

підсистему керування вологістю, виконану з можливістю керування вологістю у вказаному газу всередині вказаної камери; і

15 щонайменше один контролер у зв'язку зі щонайменше одним вказаним джерелом двоокису вуглецю, вказаною підсистемою газового потоку, вказаною підсистемою керування температурою і вказаною підсистемою керування вологістю, вказаним щонайменше одним контролером, виконаним з можливістю керування незалежно впродовж періоду часу, коли вказаний матеріал, який споживає  $\text{CO}_2$  як реагент, вистоюється щонайменше при одній відповідній витраті вказаного газоподібного двоокису вуглецю, вказаній циркуляції вказаного газу через вказану камеру вистоювання, вказаній температурі вказаного газу через вказану камеру вистоювання, і вказаній вологості у вказаному газі.

2. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана камера вистоювання виконана з можливістю вміщування тиску газу, де він вищий, ніж атмосферний тиск.

25 3. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що щонайменше один пристрій регулювання потоку містить щонайменше один регулятор тиску і контролер потоку.

4. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказаний щонайменше один пристрій регулювання потоку містить щонайменше один регулятор тиску і контролер потоку, виконані з можливістю постачання газу двоокису вуглецю на швидкості, що по суті дорівнює швидкості видалення вказаного газу з вказаної камери вистоювання.

5. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що підсистема вказаного газового потоку включає вимірювальний пристрій, виконаний з можливістю вимірювання кількості двоокису вуглецю у вказаному газу, присутньому у вказаній камері вистоювання.

35 6. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказаний вимірювальний пристрій, виконаний з можливістю вимірювання швидкості газу, вибирають з трубки Піто, вимірювальної діафрагми, анемометра і лазерної доплерівської системи виявлення.

7. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема газового потоку містить повітродувку змінної швидкості, виконану з можливістю циркулювання газу при бажаній швидкості у вказаній камері вистоювання.

40 8. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема керування температурою містить датчик температури, виконаний з можливістю вимірювання вказаної температури вказаного газу у вказаній камері вистоювання.

9. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема керування температурою містить теплообмінник, виконаний з можливістю регулювання вказаної температури вказаного газу у вказаній камері вистоювання.

45 10. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема керування температурою містить нагрівник, розташований на зовнішній поверхні або вбудований в стінки вказаної камери вистоювання.

11. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема керування вологістю містить вимірювальний пристрій, виконаний з можливістю визначення відносної вологості вказаного газу всередині вказаної камери.

12. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема керування вологістю містить конденсатор, виконаний з можливістю зменшення вказаної вологості у вказаному газу всередині вказаної камери.

55 13. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема керування вологістю містить випускний клапан, виконаний з можливістю зменшення вказаної вологості всередині вказаної камери.

14. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказана підсистема керування вологістю містить водопостачання, виконане з можливістю збільшення вказаної вологості всередині вказаної камери.

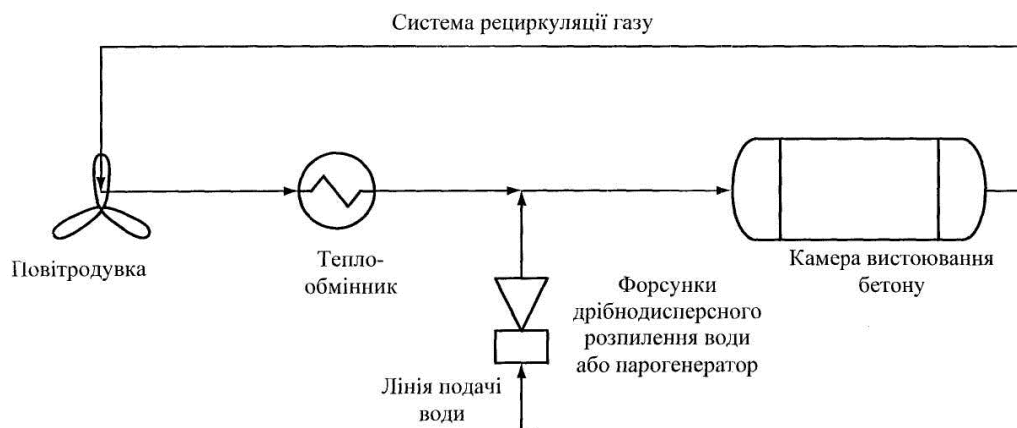
15. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що щонайменше один контролер є програмованим логічним контролером.

16. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що щонайменше один контролер є програмованим комп'ютером загального призначення, який працює під керуванням встановлених інструкцій, записаних на носії, придатному для машинного зчитування.

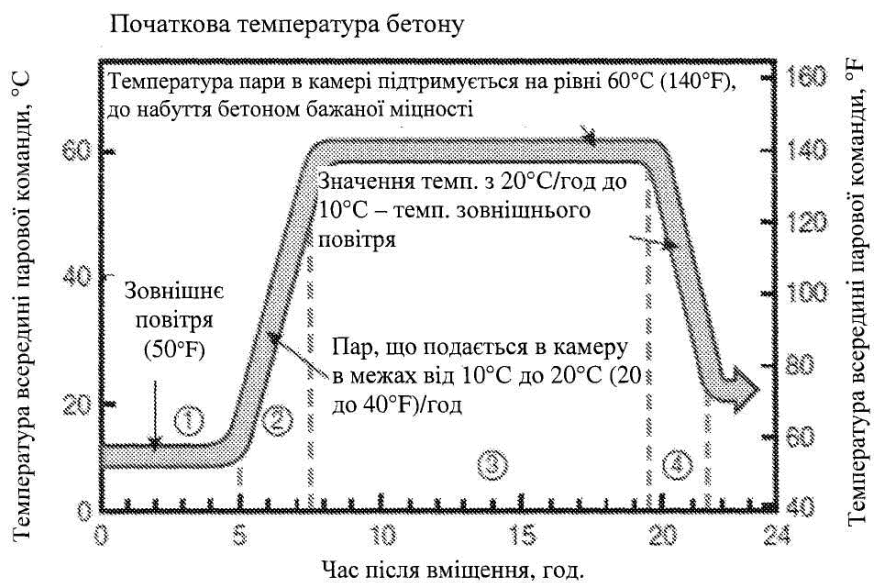
17. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що щонайменше один контролер містить дисплей, виконаний з можливістю відображення користувачеві будь-чого із тривалості циклу вистоювання, вказаної витрати газоподібного двоокису вуглецю, концентрації двоокису вуглецю у вказаній камері вистоювання, швидкості циркуляції вказаного газу через вказану камеру вистоювання, вказаної температури вказаного газу, і вказаної вологості у вказаному газу.

18. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що щонайменше один контролер виконаний з можливістю записування будь-чого з тривалості циклу вистоювання, вказаної витрати вказаного газоподібного двоокису вуглецю, концентрації двоокису вуглецю у вказаній камері вистоювання, швидкості циркуляції вказаного газу через вказану камеру вистоювання, вказаної температури вказаного газу, і вказаної вологості у вказаному газу.

19. Система вистоювання за п. 1, яка **відрізняється** тим, що вказаний щонайменше один контролер містить дисплей з сенсорним екраном.



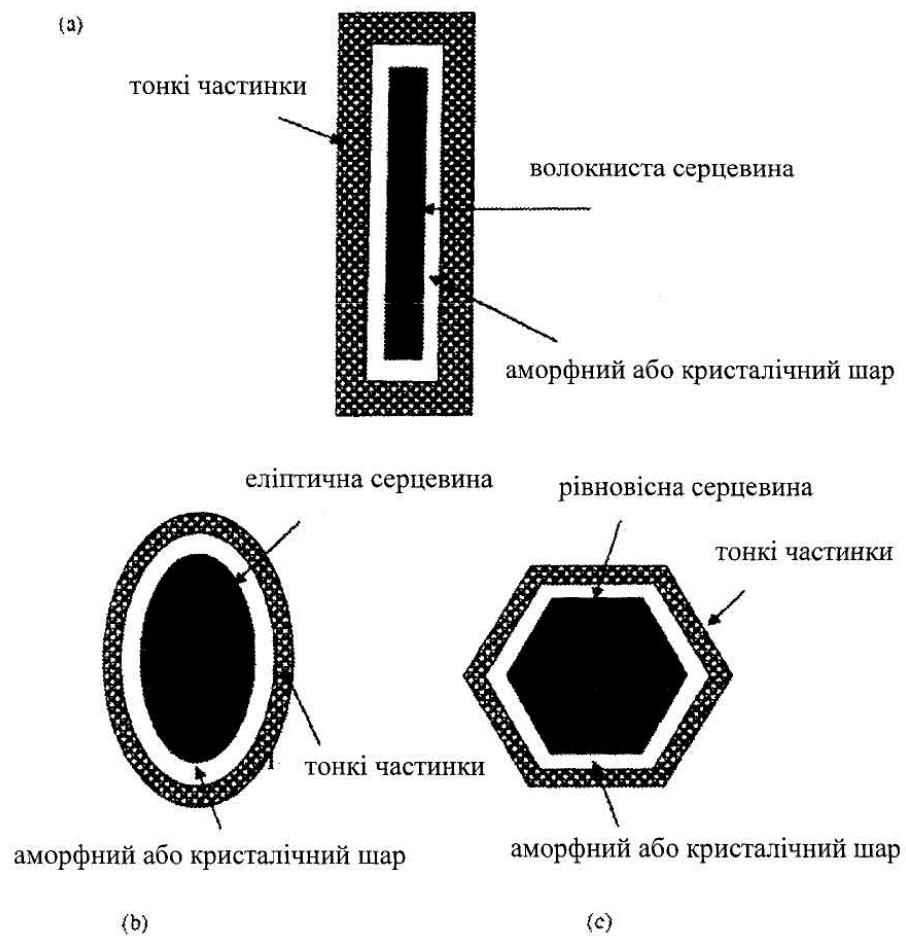
Фіг. 1  
ПОПЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ ТЕХНІКИ



- ① Початкова затримка перед обробкою паром 3 до 5 год
- ② Період збільшення темп. 2<sup>1/2</sup> год.
- ③ Період постійної темп. 6 до 12 год
- ④ Період зниження темп. 2 год

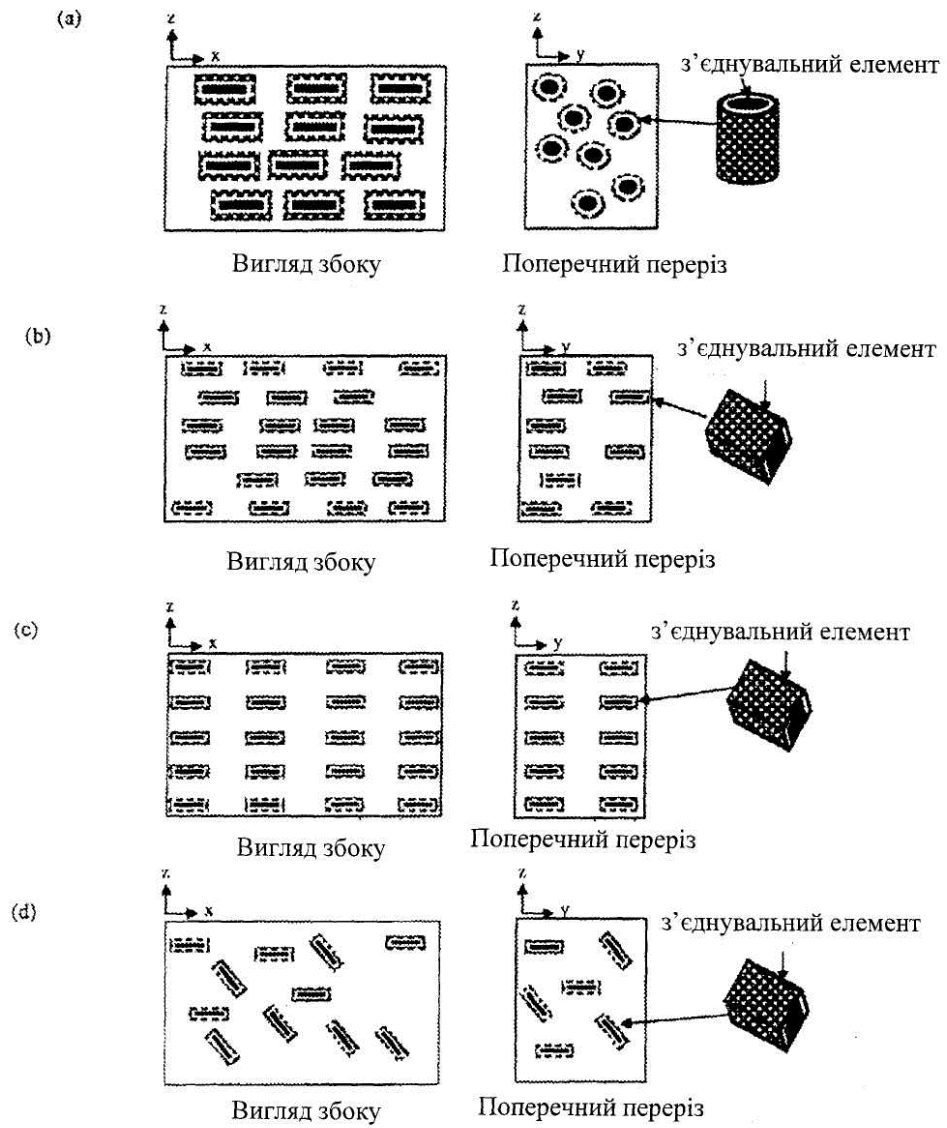
\*Тип III або бетон з високою ранньою міцністю, довше дня інших типів

Фіг. 2  
ПОПЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ ТЕХНІКИ

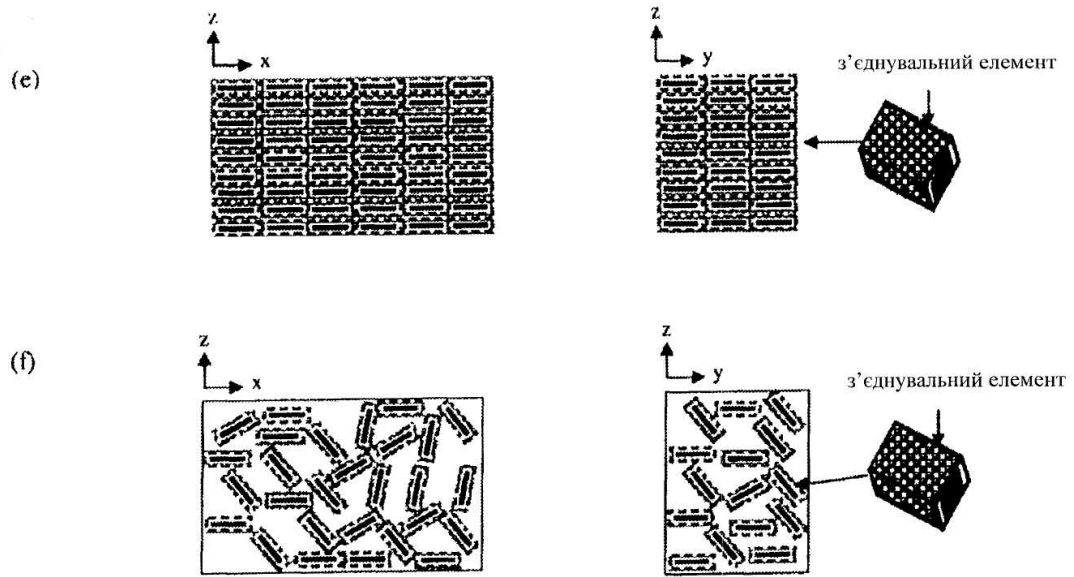


Фіг. 3

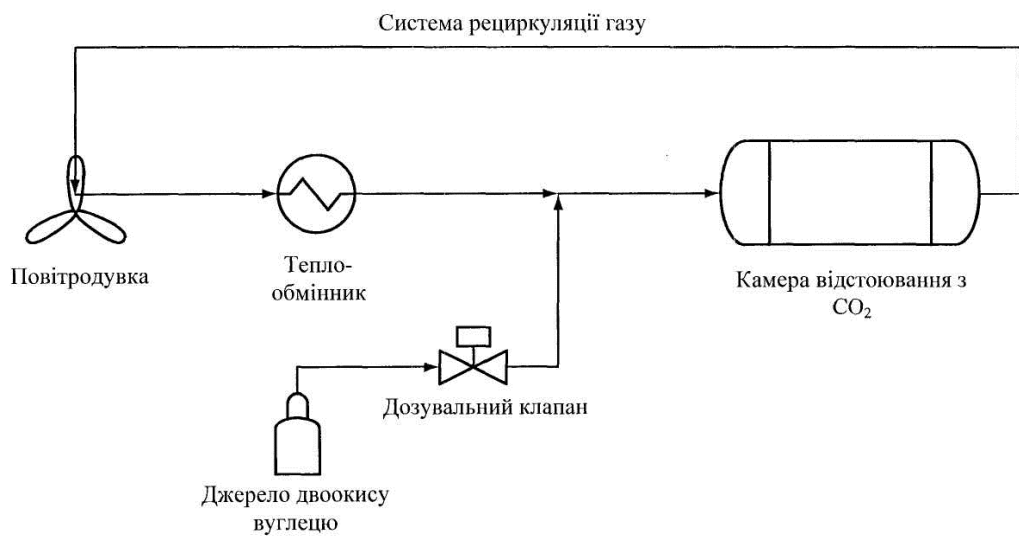




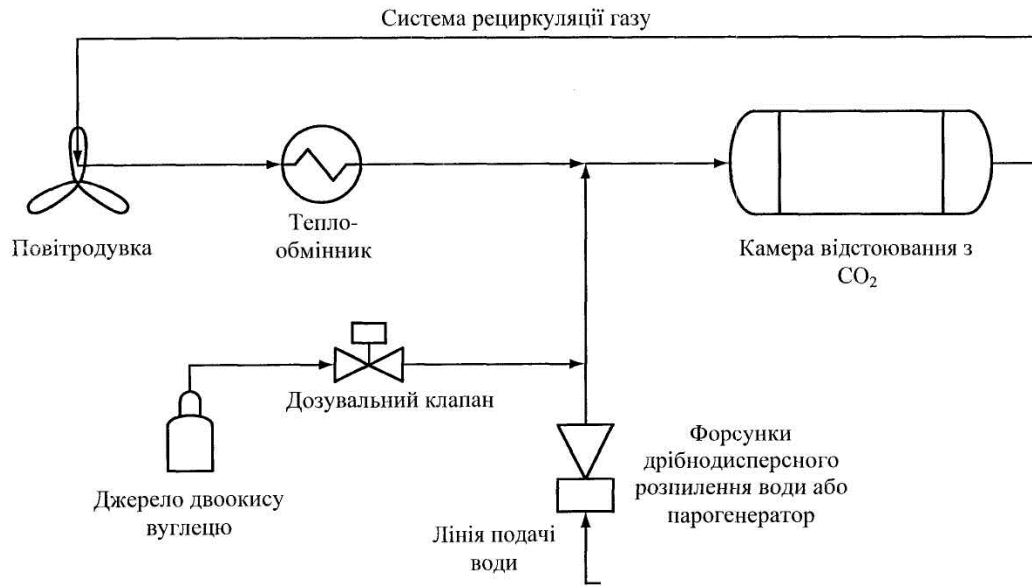
Фіг. 4



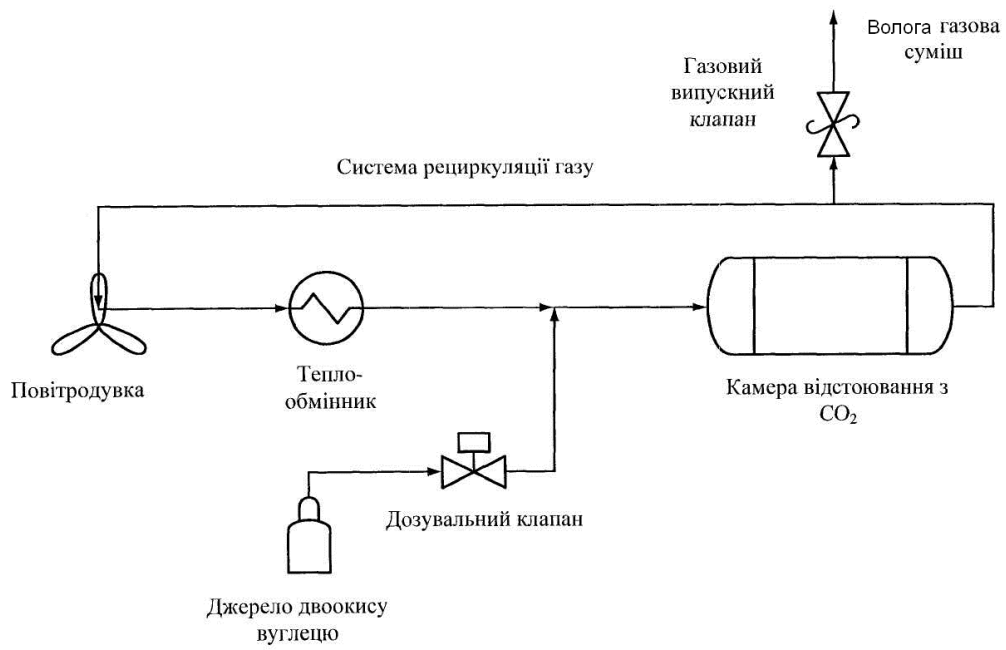
Фіг. 4 (Продовження)



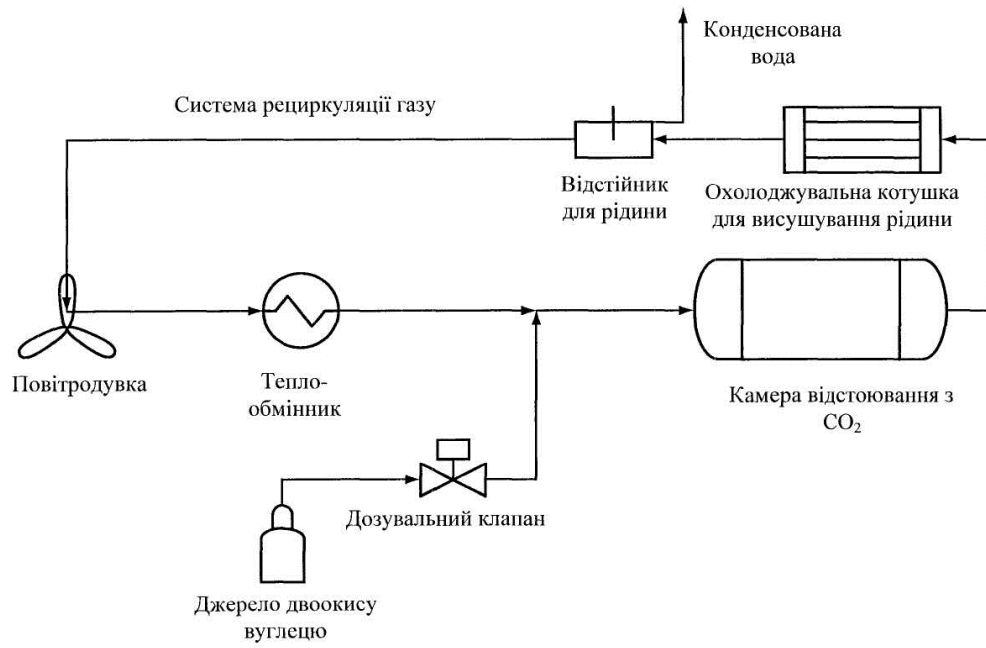
Фіг. 5



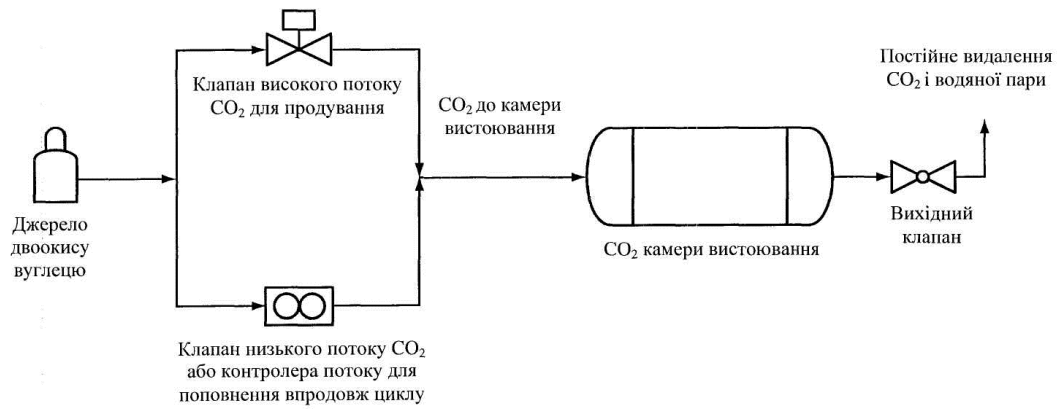
Фіг. 6



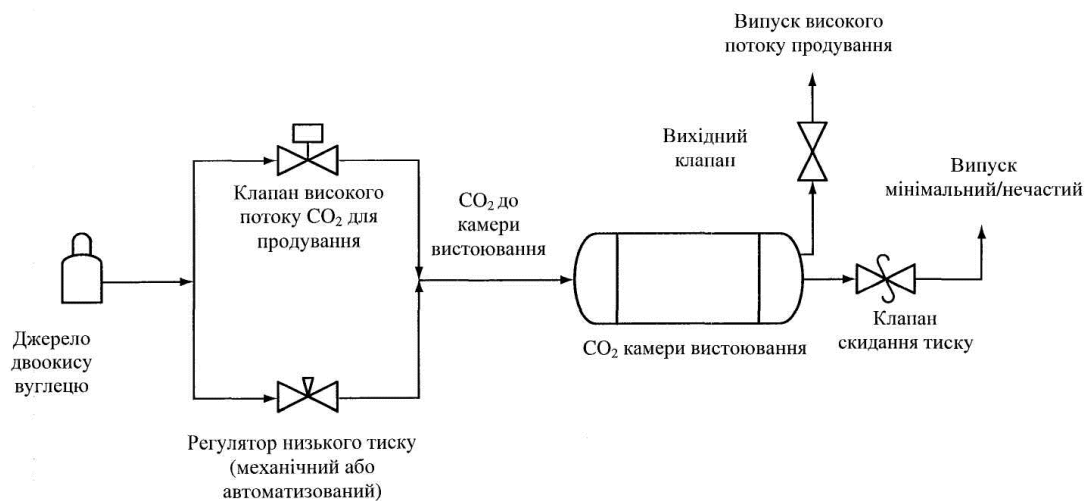
Фіг. 7



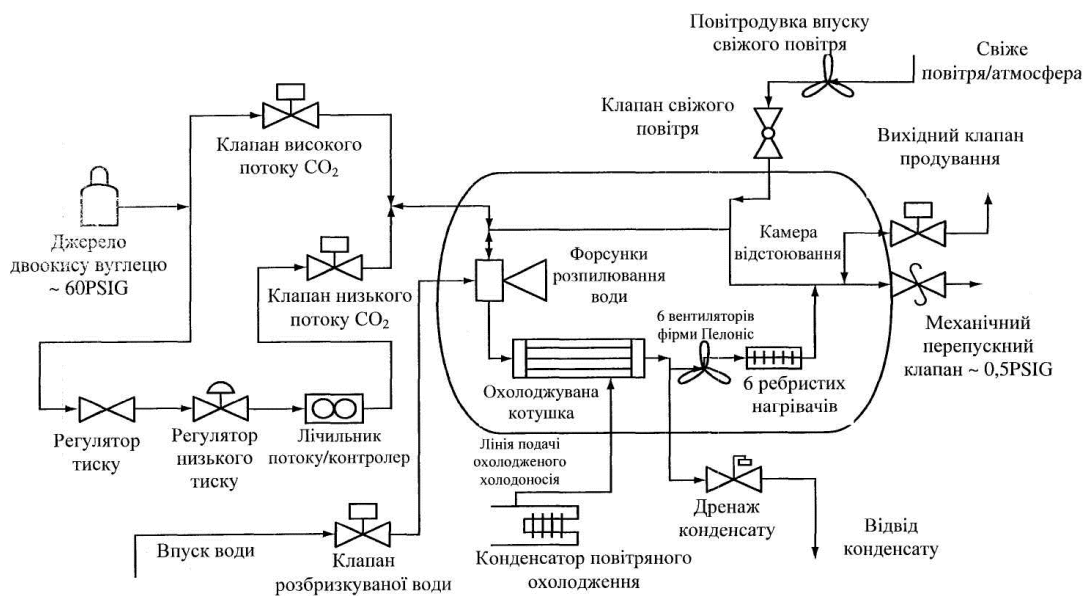
Фіг. 8



Фіг. 9



Фіг. 10



Фіг. 11

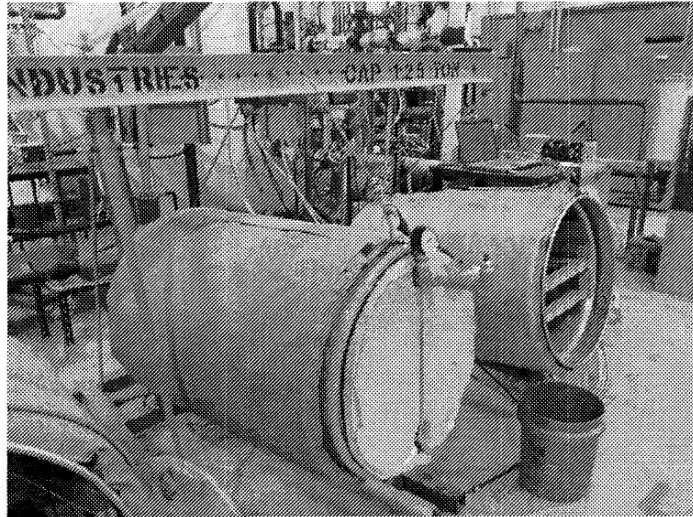


Fig. 12

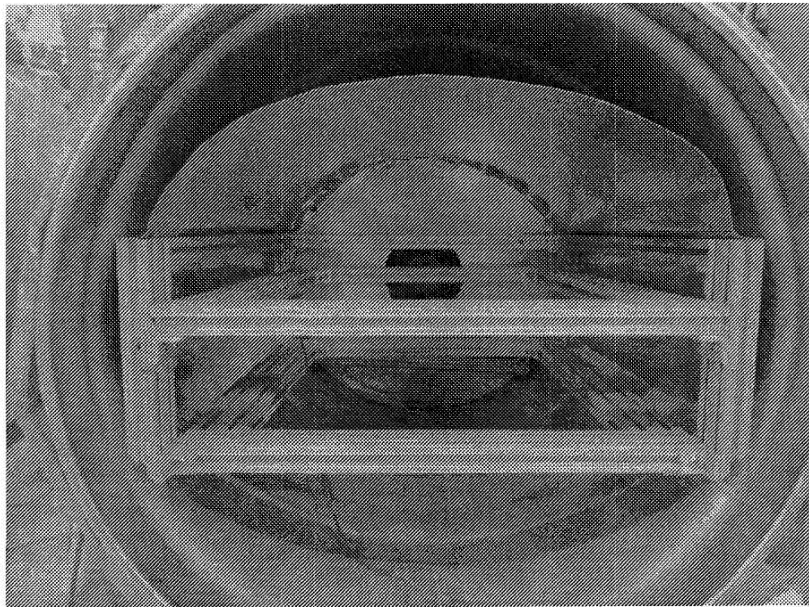


Fig. 13

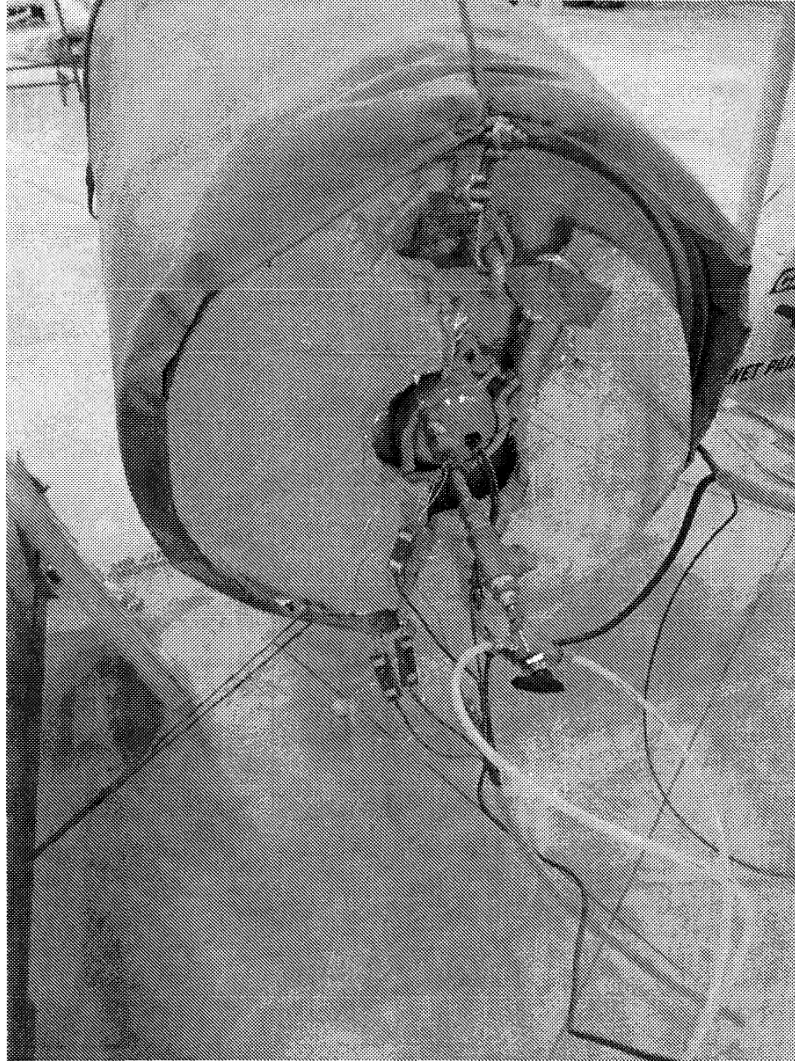


Fig. 14

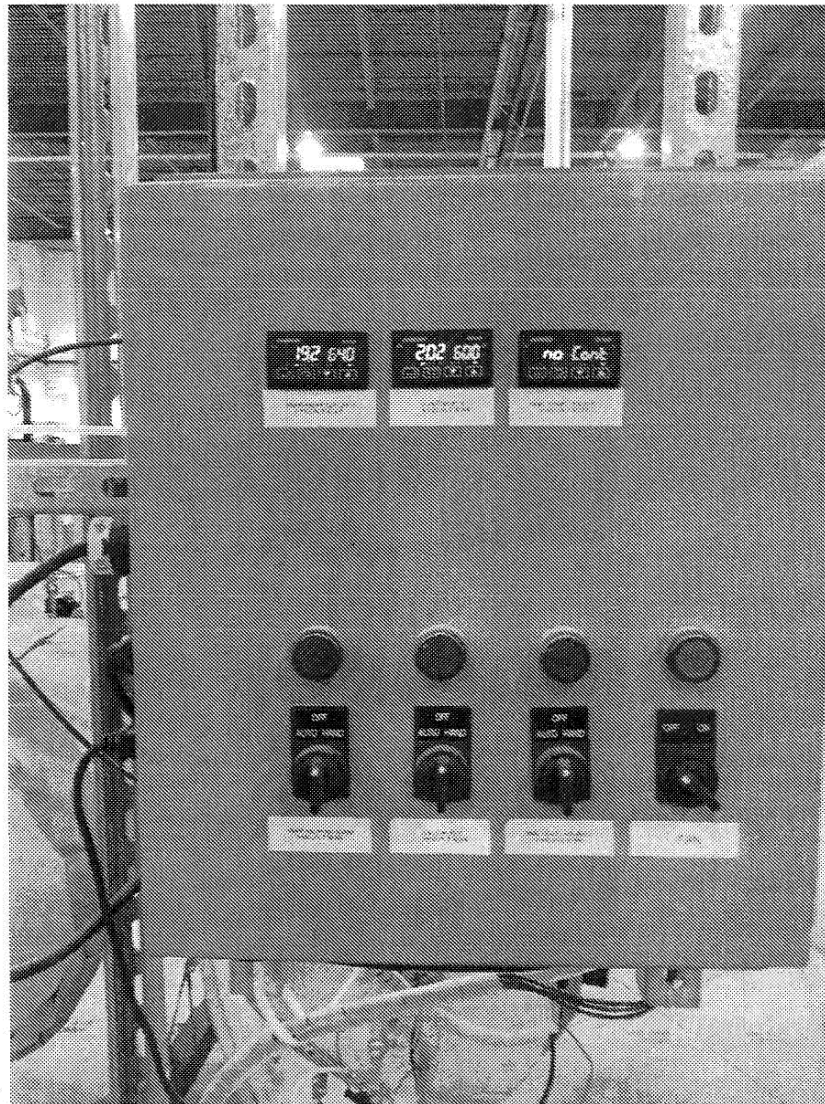


Fig. 15





Fig. 16

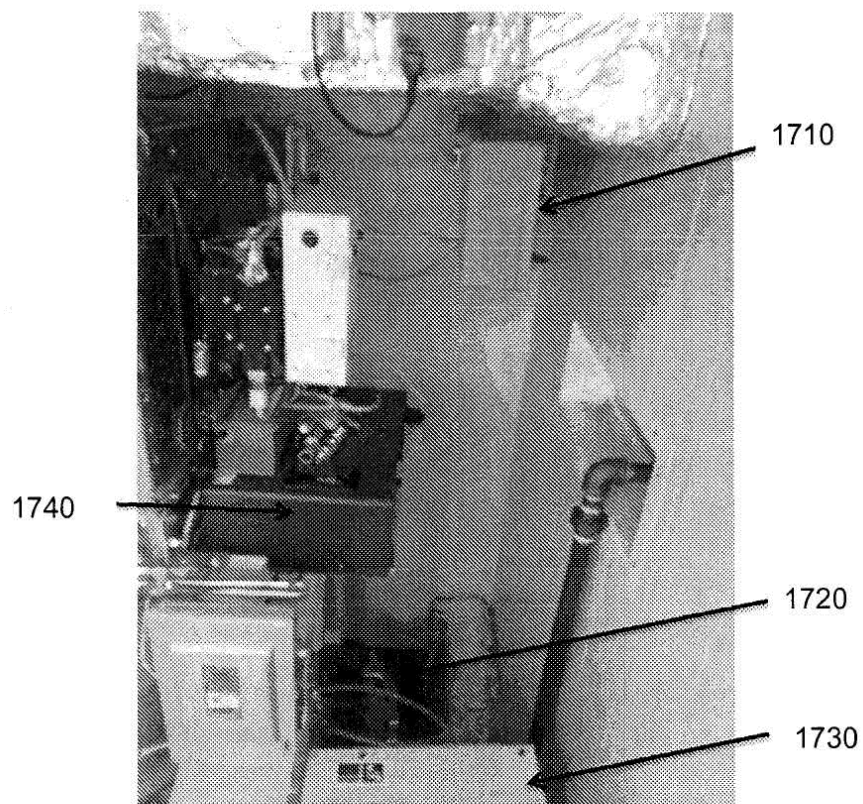


Fig. 17

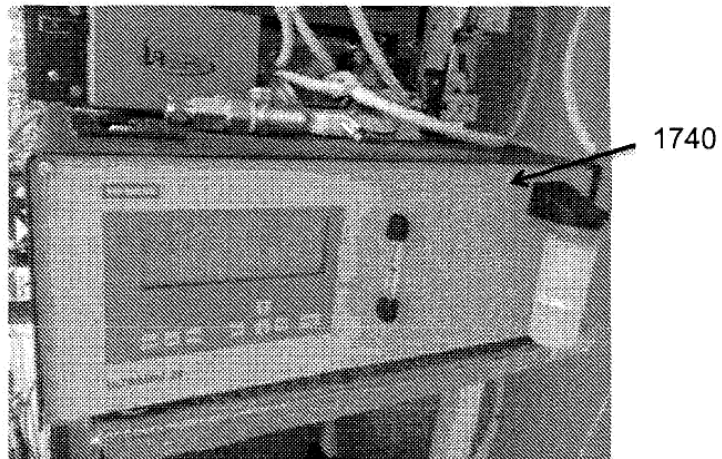


Fig. 18

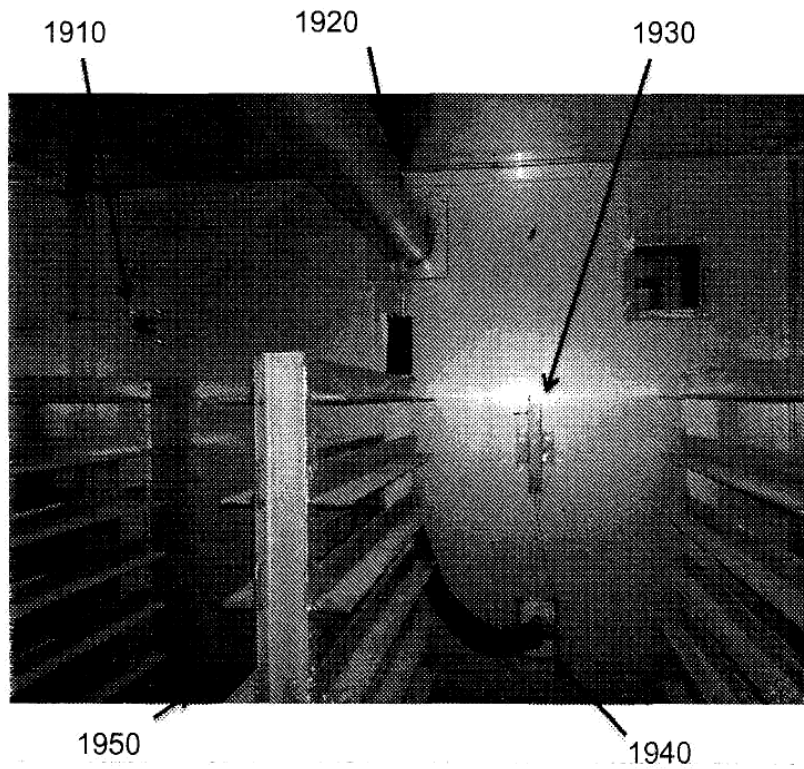
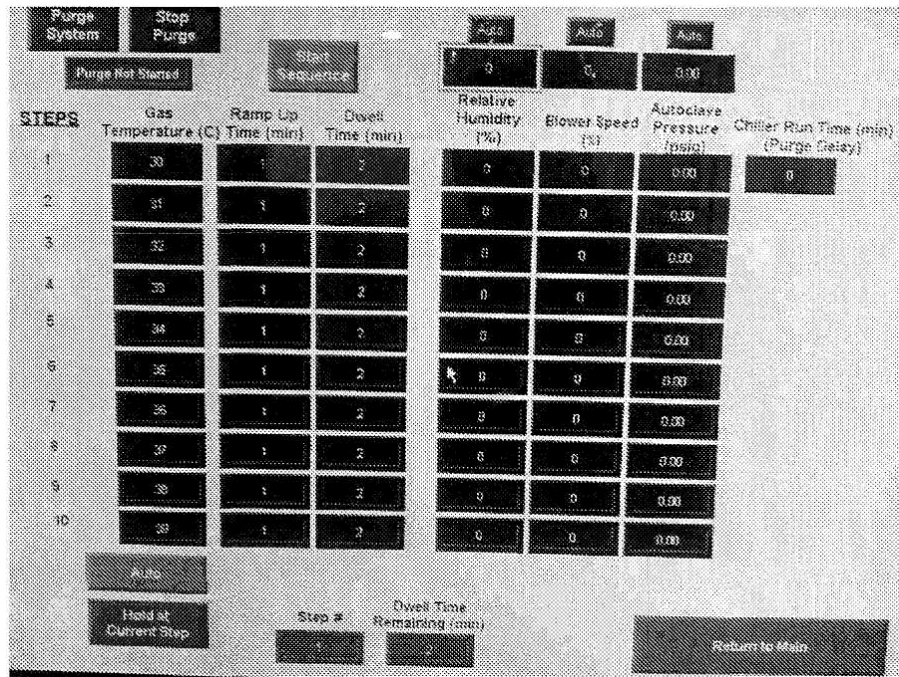
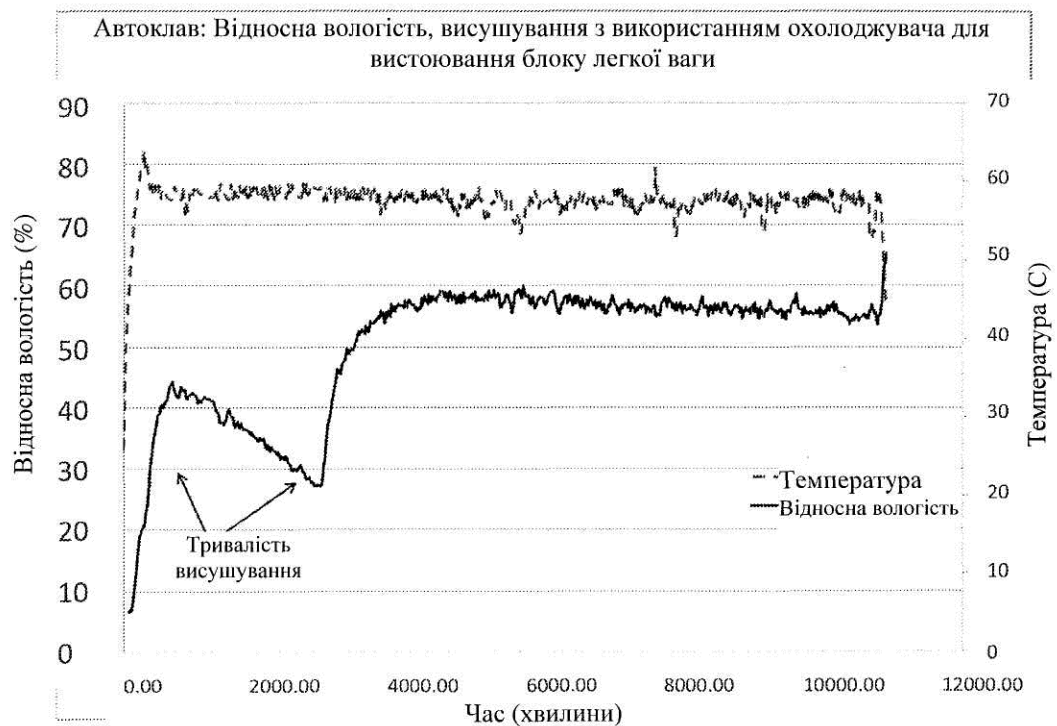


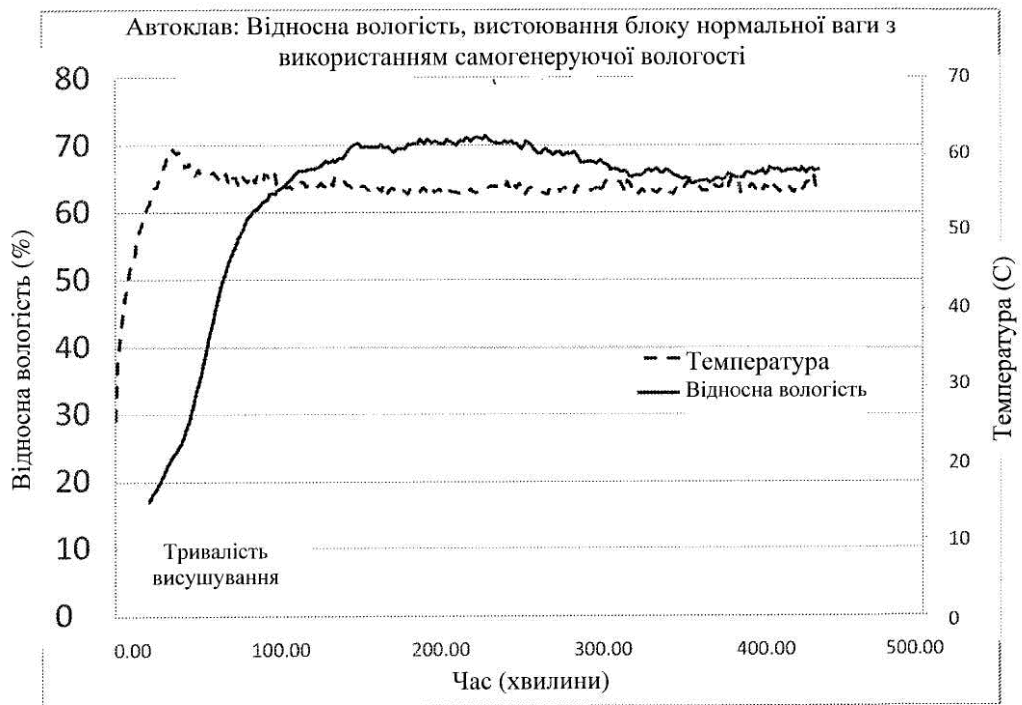
Fig. 19



Фіг. 20



Фіг. 21



Фіг. 22

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601