

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202091741 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2021.01.25

(22) Дата подачи заявки  
2019.02.22

(51) Int. Cl. *B65D 25/08* (2006.01)  
*B65D 81/32* (2006.01)  
*C04B 12/02* (2006.01)  
*C04B 28/18* (2006.01)  
*C04B 28/28* (2006.01)

(54) ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЦЕМЕНТА

(31) 62/633,959

(32) 2018.02.22

(33) US

(86) PCT/US2019/019245

(87) WO 2019/165275 2019.08.29

(71) Заявитель:  
СОЛИДИЯ ТЕКНОЛОДЖИЗ, ИНК.  
(US)

(72) Изобретатель:  
Атакан Вахит (US)

(74) Представитель:  
Нилова М.И. (RU)

(57) Описан способ отверждения цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg, включающий обеспечение предварительно заданного количества цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg в неотвержденной форме; и приведение во взаимодействие неотвержденной цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом в течение времени, достаточного для отверждения указанного цементирующего материала, при этом указанный химический реагент представляет собой соединение, синтезированное из CO<sub>2</sub>, и включает дикарбоновые кислоты, трикарбоновые кислоты или альфа-гидроксикарбоновые кислоты.



A1

202091741

202091741

A1

# ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЦЕМЕНТА

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

**[0001]** Настоящее изобретение в целом относится к системам и способам получения изделий из композиционных материалов и может включать систему двухкомпонентного связующего вещества, в которой в первом компоненте используют жидкие или твердые химические вещества, которые могут быть получены из  $\text{CO}_2$ , а второй компонент состоит из цемента с низким содержанием  $\text{Ca/Mg}$ .

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

**[0002]** В описании настоящего изобретения при упоминании или обсуждении документа, акта или элемента знания такое упоминание или обсуждение не является признанием того, что указанный документ, акт или элемент знания или любая их комбинация были на дату приоритета общедоступными, общеизвестными, представляли собой часть общеизвестных знаний или иным образом составляют известный уровень техники согласно существующим законодательным положениям; или известно, что такое упоминание или обсуждение имеет отношение к попытке решить какую-либо проблему, с которой связано настоящее описание изобретения.

**[0003]** Бетон представляет собой везде присутствующий материал. Наши дома, вероятно, опираются на него, наша инфраструктура построена на нем, как и большинство наших рабочих мест. Обычный бетон получают путем смешивания воды и заполнителей, таких как песок и щебень, с обычным портландцементом (ОПС), синтетическим материалом, полученным путем обжига смеси измельченного известняка и глины, или материалами аналогичного состава во вращающейся печи при температуре спекания примерно  $1450\text{ }^\circ\text{C}$ . Производство ОПС является не только энергоемким процессом, но также процессом, в котором выделяются значительные количества парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ). На цементную промышленность приходится приблизительно 5% глобальных антропогенных выбросов  $\text{CO}_2$ . Более 60% такого  $\text{CO}_2$  образуется в результате химического разложения или кальцинирования известняка. Производство и применение обычного бетона не является

оптимальным с точки зрения, как экономики, так и воздействия на окружающую среду. Такие традиционные технологии производства бетона сопровождаются потреблением большого количества энергии и большими выбросами диоксида углерода, что приводит к появлению нежелательного углеродного отпечатка. Кроме того, возрастающая нехватка запасов известняка также отрицательно влияет на устойчивость продолжающегося использования обычных составов гидравлического цемента, таких как OPC.

**[0004]** Цемент обычно получают из известняка и сланца, при этом образуются основные фазы алита ( $C_3S$  согласно принятому в химии цемента обозначению,  $Ca_3SiO_5$ , иногда выражаемый формулой  $3CaO \cdot SiO_2$ ) и белита ( $C_2S$  согласно принятому в химии цемента обозначению,  $Ca_2SiO_4$ , иногда выражаемый формулой  $2CaO \cdot SiO_2$ ). В присутствии воды как алит, так и белит обогащены кальцием и гидратами. OPC взаимодействует с водой с образованием гидратных фаз силиката кальция и гидроксида кальция. Чем выше содержание кальция в фазе силиката кальция, тем более реакционноспособной она становится. Например,  $CaO \cdot SiO_2$ , который может принимать форму  $CaSiO_3$ , минерала, называемого волластонитом, не взаимодействует с водой.  $3CaO \cdot 2SiO_2$ , минерал под названием ранкинит, также не взаимодействует с водой. Однако, когда отношение  $Ca/Si$  увеличивается до  $2,2CaO \cdot SiO_2$ , такая фаза силиката кальция взаимодействует с водой. Когда указанное соотношение увеличивается до  $3,3CaO \cdot SiO_2$ , образующаяся фаза взаимодействует с водой еще быстрее. Однако такая повышенная реакционноспособность имеет свою цену. Чем больше используют кальция, тем больше будет выделяться  $CO_2$ , поскольку источником кальция является карбонат кальция.

**[0005]** Было предпринято несколько попыток уменьшить выбросы  $CO_2$  при производстве и отверждении OPC. Первый подход состоит в повышении эффективности цементных печей. Сегодня наиболее эффективная цементная печь позволяет снизить выбросы  $CO_2$  от 1 тонны до 816 кг на тонну OPC. Второй подход заключается в смешивании цементного клинкера с дополнительными цементирующими материалами («SCM»), которые в основном представляют собой летучую золу, шлак и иногда обожженный горючий сланец. Такие SCM являются побочными продуктами других процессов. Однако основная проблема с SCM состоит в варьировании от источника к источнику, распространенности и географической зависимости источников. Желание снизить выбросы  $CO_2$  также являлось фактором, приведшим к разработке карбонизируемых цементных

составов с относительно низким содержанием Са. Карбонизируемый цемент относится к цементу, который отверждается преимущественно в результате реакции с диоксидом углерода,  $\text{CO}_2$ , в любой из его форм, таких как газообразный  $\text{CO}_2$  в присутствии воды,  $\text{CO}_2$  в форме угольной кислоты,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , или в других формах, позволяющих протекать реакции  $\text{CO}_2$  с негидравлическим цементным материалом. Процесс отверждения позволяет изолировать газообразный диоксид углерода внутри отвержденного материала, обеспечивая, таким образом, очевидные экологические преимущества. Например, Solidia Cement™ был объявлен прорывной технологией, которая на конкурсе R&D 100 awards была признана, например, одной из лучших 100 новых технологий. Производство Solidia Cement™ снижает выбросы  $\text{CO}_2$  на до 70% по сравнению с портландцементом и его применением в традиционном гидравлическом бетоне. Кроме того, 80% воды, применяемой в производстве бетона на основе Solidia Cement, можно легко регенерировать и использовать повторно.

**[0006]** Хотя описанный выше механизм отверждения цемента с низким содержанием Са посредством карбонизации за счет воздействия диоксида углерода является выгодным и полезным во многих отношениях, в некоторых средах или при некоторых применениях создание атмосферы, обогащенной диоксидом углерода, и воздействие диоксида углерода на неотвержденный цемент или бетон может быть невыгодным или нежелательным. Следовательно, существует потребность в обеспечении цементных составов и композиций, которые при нормальных условиях могут не обладать реакционной способностью в отношении воды, способны отверждаться при воздействии воды, но также обладают более благоприятным экологическим профилем, чем обычные гидравлические химические составы OPC.

**[0007]** Хотя для облегчения понимания описания настоящего изобретения были рассмотрены некоторые аспекты традиционных технологий, заявители никоим образом не отказываются от таких технических аспектов, при этом предполагают, что заявленное изобретение может охватывать или включать один или более из традиционных технических аспектов, обсуждаемых в настоящем документе.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0008] В настоящем описании предполагают, что цемент с низким содержанием Ca/Mg, который обычно не взаимодействует с водой, может взаимодействовать с химическим реагентом (например, который может быть синтезирован из CO<sub>2</sub>) с получением отвержденного материала. Преимущество такого подхода заключается в уменьшении выбросов CO<sub>2</sub> при производстве цемента на примерно 30% за счет синтеза цемента с низким содержанием Ca/Mg и дополнительного потребления CO<sub>2</sub> во время реакции химического реагента с цементом с низким содержанием Ca/Mg.

[0009] Общую реакцию можно записать таким образом: цементный состав с низким содержанием Ca/Mg + химический реагент → нерастворимое соединение кальция + комплекс SiO<sub>2</sub>.

[0010] Далее будет описан ряд аспектов настоящего изобретения. Следует понимать, что авторы изобретения предполагают, что любые признаки или аспекты настоящего изобретения, перечисленные ниже или описанные в настоящем документе в другом месте, могут быть объединены в любом порядке и в любом количестве с любым другим признаком или аспектом настоящего изобретения.

[0011] Согласно определенным аспектам в настоящем изобретении предложен способ отверждения цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg, включающий стадии: обеспечения предварительно заданного количества цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg в неотвержденной форме; и приведения во взаимодействие неотвержденной цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом в течение времени, достаточного для отверждения указанного цементирующего материала, при этом указанный химический реагент представляет собой соединение, содержащее одну или более из следующих кислот: дикарбоновые кислоты, трикарбоновые кислоты, альфа-гидроксикарбоновые кислоты, соли дикарбоновых кислот, соли трикарбоновых кислот или соли альфа-гидроксикарбоновых кислот.

[0012] Химический реагент может представлять собой лимонную кислоту или соль лимонной кислоты.

[0013] Химический реагент может быть водорастворимым.

[0014] Растворимость в воде химического реагента может составлять 20 г/л или более.

[0015] Предложенный способ может дополнительно включать регулирование реакции между цементирующим материалом и химическим реагентом с помощью одного или более из следующих средств: применения добавок, регулирования реакционной способности цементирующего материала путем регулирования его кристалличности, регулирования размера частиц в цементирующем материале, регулирования площади поверхности частиц в цементирующем материале или регулирования состава цементирующего материала.

[0016] Цементная композиция с низким содержанием Ca/Mg может быть основана на волластоните, мелилите, анортите, оливине или их комбинации.

[0017] В результате приведения во взаимодействие цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом может образоваться нерастворимое соединение кальция или магния и комплекс  $\text{SiO}_2$  и/или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в качестве продуктов реакции.

[0018] Растворимость в воде указанных продуктов реакции может составлять примерно 4 г/л или менее.

[0019] Нерастворимое соединение кальция или магния может включать одно или более из следующих соединений: безводный карбоксилат кальция, водный карбоксилат кальция, безводный карбоксилат магния, водный карбоксилат магния, безводный карбоксилат алюминия или водный карбоксилат алюминия, или их комбинации.

[0020] Комплекс  $\text{SiO}_2$  и/или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  может включать одно или более из следующих соединений: аморфный диоксид кремния, аморфный оксид алюминия, аморфный алюмосиликат или алюмосиликат или их комбинации.

[0021] Нерастворимое соединение кальция или магния и комплекс  $\text{SiO}_2$  и/или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  могут иметь растворимость в воде примерно 4 г/л или менее.

[0022] Цемент с низким содержанием Ca/Mg может быть основан на волластоните, химический реагент может включать лимонную кислоту или соль лимонной кислоты, и в результате приведения во взаимодействия цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом может образовываться цитрат кальция,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в качестве продуктов реакции.

[0023] Цитрат кальция и  $\text{SiO}_2$  могут иметь растворимость в воде примерно 4 г/л или меньше.

[0024] Способ отверждения цементирующего материала может дополнительно включать синтез химического реагента из  $\text{CO}_2$ .

[0025] Способ отверждения цементирующего материала может дополнительно включать реакцию неотвержденной цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом в присутствии воды.

### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

[0026] Задачи и особенности настоящего изобретения могут быть лучше поняты со ссылкой на описанный ниже чертеж и формулу изобретения. Указанный чертеж не обязательно выполнен в масштабе, вместо этого особое внимание в целом уделено иллюстрации принципов настоящего изобретения.

[0027] Фиг. 1 представляет собой диаграмму фазового состояния цемента, иллюстрирующую определенные принципы, на которых основано настоящее изобретение.

### **ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

[0028] В настоящем документе подразумевают, что формы единственного числа также включают формы множественного числа, если контекст явно не указывает иное. Подразумевают, что применение «или» включает «и/или», если контекст явно не указывает иное. Кроме того, подразумевают, что применение «и» включает «и/или», если контекст явно не указывает иное.

[0029] В настоящем документе «примерно» представляет собой термин приближения и включает незначительные колебания точно указанных количеств, как будет понятно специалистам в данной области техники. Такие колебания включают, например, стандартные отклонения, связанные со способами, обычно применяемыми для измерения приведенных количеств.

[0030] Все численные значения, содержащиеся в настоящем описании, следует рассматривать как характеризующиеся описанным выше модификатором «примерно», при

этом подразумевают, что указанные значения также включают точные численные значения, приведенные в настоящем документе. Диапазоны, описанные в настоящем документе, следует рассматривать как охватывающие все значения в пределах верхнего и нижнего предельных значений диапазонов, если не указано иное. Кроме того, все диапазоны включают верхний и нижний предельные значения.

**[0031]** В настоящем документе «цементирующий материал» означает материал, содержащий реакционноспособный наполнитель, такой как стекловидный алюмосиликат кальция, летучая зола, шлак и обычный портландцемент (ОПС), химически инертный наполнитель, такой как мелкодисперсный известняковый порошок, тонкая кремнеземная пыль и стеклянный порошок.

**[0032]** В настоящем документе термин «цемент с низким содержанием Ca/Mg» означает цементы с атомным отношением Ca/Si или Mg/Si менее 2.

**[0033]** В настоящем документе термин «на основе» означает компонент, составляющий более 50% по массе относительно массы всей композиции или более 50% по массе отдельного компонента относительно массы всей композиции.

**[0034]** В настоящем документе описаны различные типы цемента с низким содержанием Ca/Mg, который схватывается при активации под действием химического реагента. Один химический состав основан на волластоните, другой состав основан на мелилите (например, гелените), еще один состав основан на анортите, и другой состав основан на оливине.

**[0035]** Согласно некоторым вариантам реализации предполагают, что исходные материалы, применяемые для синтеза указанных новых химических веществ, представляют собой сырьевые материалы, применяемые в производстве цемента, такие как известняк и сланец, глинистый песок и т.п. Фиг. 1 представляет собой диаграмму фазового состояния цемента на основе силиката кальция. Как описано в настоящем документе, реакционная способность цементных фаз в отношении воды уменьшается вдоль проиллюстрированной последовательности от белита к SC ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{CaO}$ ) и далее к модифицированному SC. Однако, наряду с таким снижением реакционноспособности также возможно требуемое сокращение количества выбросов  $\text{CO}_2$ . Подобное поведение может относиться к цементам на основе силиката магния.

### Волластонит

[0036] Волластонит имеет молекулярную формулу  $\text{CaSiO}_3$  и его теоретический состав состоит из 48,28%  $\text{CaO}$  и 51,72%  $\text{SiO}_2$ .

### Мелилит

[0037] Мелилит относится к минералам мелилитовой группы. Минералы такой группы представляют собой твердые растворы нескольких конечных компонентов, важнейшими из которых являются геленит и акерманит. Обобщенной формулой обычного мелилита является  $(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe}^{2+})[(\text{Al},\text{Si})\text{SiO}_7]$ . Предполагается, что для синтеза геленита ( $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$ ), также называемого мелилитом, можно довести содержание кальция, кремния и алюминия в сырьевых материалах до оптимального состава и подвергнуть их обжигу. Можно провести химический анализ исходных материалов, которые, как предполагается, представляют собой побочные продукты, которые обычно считаются отходами. Исходные композиции могут быть получены с учетом результатов химического анализа. Химический анализ можно выполнить с применением любого удобного способа, такого как, мокрый химический метод анализа, рентгеноструктурный анализ и энергодисперсионный рентгеновский анализ (EDAX). Согласно некоторым вариантам реализации предполагается, что будут присутствовать некоторые примеси, такие как железо, натрий, калий и другие вещества. Такой целевой химический состав позволит сократить выбросы  $\text{CO}_2$  на  $\sim 40\%$  по сравнению с OPC, полученным в наиболее эффективной на сегодняшний день печи.

[0038] Согласно некоторым вариантам реализации предполагается, что основными образующимися фазами будут кристаллический геленит и аморфный силикат алюминия и кальция. Согласно некоторым вариантам реализации предполагается, что будут присутствовать второстепенные фазы (т.е. составляющие менее 20 % масс., или менее 15 % масс., или менее 12 % масс., или менее 7 % масс., или менее 5 % масс., или менее 3 % масс.), в том числе одно или более вещество, выбранное из оставшегося диоксида кремния, свободной извести, C2S (белита  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), CS (волластонита  $\text{CaSiO}_3$ ) и C3S2 (ранкинита  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ).

### **Анортит**

[0039] Предполагается, что для синтеза анортита ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) можно довести содержание кальция, кремния и алюминия в сырьевых материалах до оптимального состава и подвергнуть их обжигу. Можно провести химический анализ исходных материалов, которые, как предполагается, представляют собой побочные продукты, обычно считающиеся отходами. Исходные композиции могут быть получены с учетом результатов химического анализа. Химический анализ можно выполнить с применением любого удобного способа, такого как, мокрый химический метод анализа, рентгеноструктурный анализ и энергодисперсионный рентгеновский анализ (EDAX). Согласно некоторым вариантам реализации предполагается, что будут присутствовать некоторые примеси, такие как железо, натрий, калий и другие вещества. Такой целевой химический состав позволит сократить выбросы  $\text{CO}_2$  на  $\sim 60\%$  по сравнению с OPC, полученным в наиболее эффективной на сегодняшний день печи.

[0040] Согласно некоторым вариантам реализации предполагается, что основными образующимися фазами будут кристаллический анортит и аморфный силикат алюминия и кальция. Согласно некоторым вариантам реализации предполагается, что будут присутствовать второстепенные фазы (вероятно, менее 7%), в том числе одно или более вещество, выбранное из оставшегося диоксида кремния, свободной извести, C2S (белита  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ), CS (волластонита  $\text{CaSiO}_3$ ) и C3S2 (ранкинита  $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ).

### **Оливин**

[0041] Оливин относится к группе соединений, в которых Fe и Mg заменяют друг друга в одной и той же кристаллической структуре, и имеет общую химическую формулу  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ . Кальций (Ca), марганец (Mn) или никель (Ni) также могут заменять Fe и/или Mg, поэтому в большей группе оливина имеется несколько рядов, из которых наиболее распространенными компонентами являются фаялит и форстерит.

## ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИЦИИ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ Ca/Mg

[0042] Процесс производства цемента включает реакции (например, посредством кальцинирования) с получением волластонита, мелилита (например, геленита), анортита или оливина.

[0043] Кальцинированный цементный материал с низким содержанием Ca/Mg (например, клинкер) можно измельчить для обеспечения размеров частиц новых цементных смесей, аналогичных размеру частиц OPC или меньших.

[0044] Согласно альтернативным вариантам реализации цементная композиция с низким содержанием Ca/Mg на основе волластонита, мелилита (например, геленита), анортита или оливина может дополнительно содержать Al (алюминий), Si (кремний) и/или Mg (магний), примеси, такие как Sr (стронций) или Ba (барий) и ионы других металлов.

## ПРОЦЕСС ОТВЕРЖДЕНИЯ

[0045] Предполагается, что цементная композиция с низким содержанием Ca/Mg, например, одна или более из описанных выше цементных композиций, может взаимодействовать с химическим реагентом (например, который может быть синтезирован из CO<sub>2</sub>) с получением отвержденного материала. Преимущество такого подхода заключается в уменьшении выбросов CO<sub>2</sub> при производстве цемента на примерно 30% за счет синтеза цемента с низким содержанием Ca/Mg и дополнительного потребления CO<sub>2</sub> во время реакции химического реагента с цементом с низким содержанием Ca/Mg.

[0046] Общую реакцию можно записать как:

Цементный состав с низким содержанием Ca/Mg + химический реагент → нерастворимое соединение кальция + комплекс SiO<sub>2</sub> и/или Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

[0047] Согласно дополнительным аспектам общая реакция может быть описана следующим образом:

Цемент с низким содержанием Ca/Mg + карбоновая кислота или ее соль → безводный карбоксилат кальция, и/или водный карбоксилат кальция, и/или безводный карбоксилат магния, и/или водный карбоксилат магния,

и/или безводный карбоксилат алюминия, и/или водный карбоксилат алюминия, и/или аморфный диоксид кремния и/или аморфный оксид алюминия, и/или аморфный алюмосиликат, и/или алюмосиликат

**[0048]** Согласно некоторым вариантам реализации указанная реакция протекает в присутствии воды. Согласно различным вариантам реализации в зависимости от полученного продукта вода может потребляться или может не потребляться во время реакции.

**[0049]** Химический реагент может иметь некоторую минимальную растворимость в воде. Например, растворимость химического реагента составляет более или равна 20 г химического реагента/1 л воды (20 г/л). Кроме того, химический реагент можно выбрать таким образом, чтобы количество продуктов реакции с цементными композициями с низким содержанием Са/Мг было равно или составляло менее 4 г продуктов реакции/1 л воды (4 г/л).

**[0050]** Примеры химических реагентов также включают дикарбоновые кислоты, трикарбоновые кислоты и альфа-гидроксикарбоновые кислоты, а также их соли.

**[0051]** Примеры дикарбоновых кислот включают:

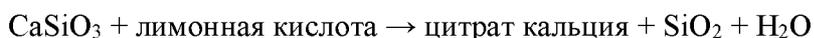
<b>Общепринятое название</b>	<b>Наименование IUPAC</b>
Малоновая кислота	Пропандиовая кислота
Янтарная кислота	Бутандиовая кислота
Глутаровая кислота	Пентандиовая кислота
Адипиновая кислота	Гександиовая кислота
Пимелиновая кислота	Гептандиовая кислота
Субериновая кислота	Октандиовая кислота
Азелаиновая кислота	Нонандиовая кислота
Себациновая кислота	Декандиовая кислота
Нонаметилендикарбоновая кислота	Ундекандиовая кислота
Декаметилендикарбоновая кислота	Додекандиовая кислота

Брассиловая кислота	Тридекандиовая кислота
Тапсиновая кислота	Гексадекандиовая кислота

[0052] Примеры трикарбоновых кислот включают:

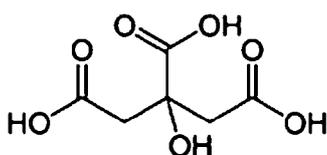
Общепринятое название	Наименование IUPAC
Лимонная кислота	2-Гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая кислота
Изолимонная кислота	1-Гидроксипропан-1,2,3-трикарбоновая кислота
Аконитовая кислота	Проп-1-ен-1,2,3-трикарбоновая кислота
Пропан-1,2,3-трикарбоновая кислота	Пропан-1,2,3-трикарбоновая кислота
Тримезиновая кислота	Бензол-1,3,5-трикарбоновая кислота

[0053] Одним из конкретных примеров реакции химических реагентов является:



[0054] Такая реакция протекает в присутствии воды.

[0055] Лимонная кислота представляет собой органическое соединение с формулой  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  и структурной формулой



[0056] В общем случае, чтобы действовать согласно принципам настоящего изобретения, химический реагент предпочтительно является достаточно растворимым в воде, чтобы взаимодействовать с цементом с низким содержанием Ca/Mg, при этом одним из продуктов реакции предпочтительно должно быть нерастворимое соединение кальция.

[0057] Согласно определенным вариантам реализации химический реагент присутствует в цементной композиции в количестве примерно 1 % масс. или более относительно общей массы цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg.

[0058] Согласно определенным вариантам реализации указанные химические реагенты присутствуют в цементной композиции в количестве от примерно 1 % масс. до примерно 5 % масс. относительно общей массы цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg.

[0059] Согласно определенным вариантам реализации химический реагент присутствует в цементной композиции в количестве от примерно 5 % масс. до примерно 10 % масс. относительно общей массы цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg.

[0060] Согласно определенным вариантам реализации химический реагент присутствует в цементной композиции в количестве от примерно 10 % масс. до примерно 25 % масс. относительно общей массы цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg.

[0061] Согласно альтернативным вариантам реализации цементный состав с низким содержанием Ca/Mg может содержать Al (алюминий), Si (кремний) и/или Mg (магний), примеси, такие как Sr (стронций) или Ba (барий), и ионы других металлов, при этом продукт реакции представляет собой нерастворимое соединение, содержащее один или более элементов, выбранных из Al, Si, Mg, Sr и Ba.

[0062] В случае реакций, которые могут быть экзотермическими, считается, что регулирование таких реакций можно осуществлять одним или более из следующих способов: путем применения добавок, путем регулирования реакционной способности цементирующего материала за счет регулирования его кристалличности, путем регулирования размера частиц в цементирующем материале и/или путем регулирования площади поверхности частиц в цементирующем материале.

[0063] Для регулирования скорости реакции один из подходов заключался в снижении реакционной способности цемента путем увеличения содержания мелилита (т.е. геленита) за счет увеличения содержания Al и/или Mg и/или Fe в цементе.

### **Пример**

[0064] Цилиндр размером 4" × 8" (примерно 10 см×20 см) изготавливали с применением цемента, состоящего в основном из 80% кристаллической фазы мелилита (т.е. геленита), 5% ларнита и 12% аморфной фазы. Распределение частиц цемента по размерам составляло  $d_{10}$  3 мкм,  $d_{50}$  11 мкм и  $d_{90}$  75 мкм. Смесь цемента, песка и гравия смешивали с

насыщенным раствором лимонной кислоты и заливали в пресс-форму. Образец отверждали в течение двух дней и испытывали на прочность при сжатии согласно ASTM C39.

**[0065]** В результате таких корректировок цементирующего материала в некоторых случаях было обнаружено, что модифицированный цементирующий материал (например, с добавлением Al, Mg и/или Fe) не отверждался при реакции только с CO<sub>2</sub> в качестве источника диоксида углерода, при этом он действительно взаимодействовал, когда отверждающий агент представлял собой лимонную кислоту или некоторые химические реагенты, такие как дикарбоновые кислоты, трикарбоновые кислоты и альфа-гидроксикарбоновые кислоты.

**[0066]** Согласно другим вариантам реализации химический реагент может представлять собой органическую кислоту или соединение, которое может быть синтезировано только из CO<sub>2</sub> или, возможно, с применением других материалов предшественников.

**[0067]** Изобретение, представленное заявителем, описано в настоящем документе согласно предпочтительным вариантам реализации со ссылкой на фигуры, на которых одинаковые номера представляют одинаковые или похожие элементы. В настоящем описании ссылка на «один из вариантов реализации», «вариант реализации» или подобное выражение означает, что конкретная особенность, структура или характеристика, описанные в связи с указанным вариантом реализации, включены в по меньшей мере один из вариантов реализации настоящего изобретения. Таким образом, появление в настоящем описании фраз «согласно одному из вариантов реализации», «согласно варианту реализации» и аналогичных выражений может, но не обязательно, относиться к одному и тому же варианту реализации.

**[0068]** Описанные особенности, структуры или характеристики изобретения, представленного заявителем, могут быть объединены любым подходящим способом в одном или более вариантах реализации. Для обеспечения полного понимания вариантов реализации настоящего изобретения в приведенном в настоящем документе описании приведены многочисленные конкретные подробности. Однако специалист в соответствующей области техники поймет, что композиция и/или способ, предложенные заявителем, могут быть реализованы на практике без применения одной или более конкретных деталей или с применением других способов, компонентов, материалов и т.п.

В других случаях общеизвестные структуры, материалы или операции не показаны или не описаны подробно во избежание затруднения понимания аспектов настоящего изобретения.

**[0069]** Другие варианты реализации в пределах объема формулы изобретения, приведенной в настоящем документе, будут очевидны специалисту в данной области техники из рассмотрения описания или практического применения изобретения, описанного в данном документе. Предполагается, что описание настоящего изобретения следует рассматривать только как иллюстративное, при этом его объем и сущность приведены в формуле изобретения.

**[0070]** На основании приведенного выше описания будет видно достижение нескольких преимуществ и обеспечение других преимуществ.

**[0071]** Поскольку в описанные выше способы и композиции могут быть внесены различные изменения, не выходящие за рамки объема настоящего изобретения, подразумевают, что весь материал, содержащийся в приведенном выше описании, следует интерпретировать как иллюстративный, а не в ограничительном смысле.

**[0072]** Все ссылки, цитируемые в настоящем описании, включены, тем самым, посредством ссылки. В настоящем документе обсуждение ссылок предназначено просто для обобщения утверждений, сделанных авторами, при этом не делается никакого допущения, что какие-либо ссылки составляют предшествующий уровень техники. Авторы заявки оставляют за собой право оспорить точность и уместность цитируемых ссылок.

**[0073]** Любые числа, выражающие количества ингредиентов, компонентов, условий реакции и т.д., применяемые в настоящей заявке, следует понимать как модифицированные во всех случаях термином «примерно». Несмотря на то, что диапазоны числовых значений и параметры, отражающие широкий объем представленного в настоящем документе предмета, являются приблизительными, приведенные численные значения указаны как можно точнее. Однако любое численное значение может по своей природе содержать определенные ошибки или неточности, как явствует, например, из стандартного отклонения, обнаруженного в соответствующих способах их измерения. Ни одну из перечисленных в настоящем документе особенностей не следует интерпретировать как ссылку на 35 U.S.C. §112, 6, если только термин «средство» не используют явно.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ отверждения цементной композиции с низким содержанием Са/Mg, включающий стадии:

обеспечения предварительно заданного количества цементной композиции с низким содержанием Са/Mg в неотвержденной форме; и

приведения во взаимодействие неотвержденной цементной композиции с низким содержанием Са/Mg с химическим реагентом в течение времени, достаточного для отверждения указанного цементирующего материала, при этом указанный химический реагент представляет собой соединение, содержащее одну или более из следующих кислот: дикарбоновые кислоты, трикарбоновые кислоты, альфа-гидроксикарбоновые кислоты, соли дикарбоновых кислот, соли трикарбоновых кислот или соли альфа-гидроксикарбоновых кислот.

2. Способ отверждения цементирующего материала по п. 1, в котором указанный химический реагент представляет собой лимонную кислоту или соль лимонной кислоты.

3. Способ отверждения цементирующего материала по п. 1, в котором указанный химический реагент является водорастворимым.

4. Способ отверждения цементирующего материала по п. 1, в котором растворимость в воде указанного химического реагента составляет 20 г/л или более.

5. Способ отверждения цементирующего материала по п. 1, дополнительно включающий регулирование взаимодействия между цементирующим материалом и химическим реагентом с помощью одного или более из следующих способов:

применения добавок,

регулирования реакционной способности цементирующего материала путем регулирования его кристалличности,

регулирования размера частиц в цементирующем материале,

регулирования площади поверхности частиц в цементирующем материале, или  
регулирования состава цементирующего материала.

6. Способ по п. 1, в котором цементная композиция с низким содержанием Ca/Mg основана на волластоните, мелилите, анортите, оливине или их комбинации.

7. Способ по п. 1, в котором в результате приведения во взаимодействие цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом получают нерастворимое соединение кальция или магния и комплекс  $\text{SiO}_2$  и/или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в качестве продуктов реакции.

8. Способ по п. 7, в котором растворимость в воде указанных продуктов реакции составляет примерно 4 г/л или менее.

9. Способ по п. 7, в котором нерастворимое соединение кальция или магния включает одно или более из следующих соединений: безводный карбоксилат кальция, водный карбоксилат кальция, безводный карбоксилат магния, водный карбоксилат магния, безводный карбоксилат алюминия или водный карбоксилат алюминия, или их комбинации.

10. Способ по п. 9, в котором комплекс  $\text{SiO}_2$  и/или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  включает одно или более из следующих соединений: аморфный диоксид кремния, аморфный оксид алюминия, аморфный алюмосиликат или алюмосиликат или их комбинации.

11. Способ по п. 10, в котором растворимость в воде нерастворимого соединения кальция или магния и комплекса  $\text{SiO}_2$  и/или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет примерно 4 г/л или менее.

12. Способ по п. 1, в котором цемент с низким содержанием Ca/Mg основан на волластоните, химический реагент включает лимонную кислоту или соль лимонной кислоты, и при этом в результате приведения во взаимодействие цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом получают цитрат кальция,  $\text{SiO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  в качестве продуктов реакции.

13. Способ по п. 15, в котором растворимость в воде цитрата кальция и  $\text{SiO}_2$  составляет примерно 4 г/л или менее.

14. Способ отверждения цементирующего материала по п. 1, дополнительно включающий синтез химического реагента из  $\text{CO}_2$ .

15. Способ отверждения цементирующего материала по п. 1, в котором взаимодействие неотвержденной цементной композиции с низким содержанием Ca/Mg с химическим реагентом осуществляют в присутствии воды.

ФИГ. 1

