

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040250**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.05.13**

(51) Int. Cl. **C04B 28/04** (2006.01)  
**C04B 111/20** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202000166**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.09.10**

---

(54) **САМОВОССТАНАВЛИВАЮЩИЙСЯ БЕТОН НА КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОБАВКОЙ**

---

(43) **2021.09.30**

(96) **2020000021 (RU) 2020.09.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ  
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОРДОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.П.  
ОГАРЁВА" (RU)**

**Аль-Дефафе Тахер Джасим, Аль  
Кадхими Зинах Али Хассун, Кадхим  
Межхер Аббас (IQ), Сальникова  
Анжелика Игоревна, Родин Александр  
Иванович (RU)**

(56) **СТЕПАНОВ Н.А.** и др., Изменение свойств строительных материалов при введении в них биомассы бактерий с уреазной активностью, Вестник МГСУ, 2017, том 12, выпуск 7 (106), с.788-796, с.788 аннотация, с.789 лев. кол. строки 14-33, с.790 лев. кол. строки 14-22, 33-41, прав. кол. абзац 5, с.791 прав. кол. строки 37-40, с.792 лев. кол. строки 1-8, с.794 прав. кол. строки 12-21  
**CN-A-11024045  
WO-A1-2014131913  
RU-C2-2638595  
SU-A1-1724632**

(72) Изобретатель:  
**Ерофеев Владимир Трофимович (RU),  
Аль-Дулайми Салман Давуд Салман,**

(57) Изобретение относится к промышленности строительных материалов, в частности к самовосстанавливающимся бактериальным бетонам на основе композиционного вяжущего, и может быть использовано в бетонных и железобетонных конструкциях при строительстве зданий и сооружений различного назначения. Заявленное изобретение состоит из двухкомпонентной системы, одним из компонентов которой является цементная система, состоящая из цемента, золы уноса, высококонцентрированной водоредуцирующей добавки в виде препарата ADVA®CAST 575, заполнителя, представляющего собой песок, дисперсной арматуры в виде волокна из поливинилового спирта и воды, а другим компонентом является модификатор, состоящий из микробиологической добавки - бактерии вида *Bacillus subtilis*, минеральной питательной среды, состоящей из лактата кальция, мочевины и дрожжевого экстракта, и материала-носителя, при следующем содержании компонентов, мас.ч.: цемент - 1; зола уноса - 0,2; высококонцентрированная водоредуцирующая добавка - 0,27; песок - 2,836; волокно из поливинилового спирта - 0,046; микробиологическая добавка - 0,25; минеральная питательная среда - 0,25; материал-носитель - 0,122; вода - 0,25. Минеральная питательная среда содержит лактат кальция - 0,02 кг/м<sup>3</sup>, мочевины - 0,002 кг/м<sup>3</sup> и дрожжевой экстракт - 0,002 кг/м<sup>3</sup>. Содержание дисперсной арматуры в виде волокна из поливинилового спирта составляет 0,2-1,0% от объема раствора. Бактерии вида *Bacillus subtilis* иммобилизованы в материале-носителе, например цеолите или пемзе, в соотношении 30 мл бактериальной суспензии и 4 г материала-носителя. Изобретение позволяет получить модифицированный цементный раствор на композиционном вяжущем, способный самостоятельно устранять трещины и восстанавливать механические свойства конструкций в результате самовосстановления бетона.

**B1****040250****040250 B1**

### Область техники

Изобретение относится к промышленности строительных материалов, в частности к самовосстанавливающимся бактериальным бетонам на основе композиционного вяжущего, и может быть использовано в бетонных и железобетонных конструкциях при строительстве зданий и сооружений различного назначения.

#### Предшествующий уровень техники

Из уровня техники известны решения, в которых раскрыты способы изготовления бетонов на основе композиционных вяжущих, приведены усовершенствованные составы материалов различного типа с применением плотных и пористых заполнителей, добавок различного функционального типа.

Разработке технологии изготовления и оптимизации составов бетонов на основе композиционных вяжущих посвящено большое количество работ российских и зарубежных авторов [1-25]. В работах оптимизировано процентное содержание добавок в бетонах различного типа, при этом рассматривались пластифицирующие, противоморозные и другие добавки, вводимые в бетоны в жидком, пастообразном и дисперсном виде. Показано изменение технологических и физико-механических свойств бетонов от количественного содержания минеральных и органических добавок. Уделено большое внимание взаимодействию компонентов композиционного вяжущего в цементном камне. Разработаны рациональные технологии по равномерному распределению компонентов в структуре бетона. Большое внимание уделено снижению усадки и ползучести бетонов. Получены материалы с улучшенными прочностными, упруго-пластическими и другими свойствами.

Близкими по технической сущности к заявляемому изобретению являются композиционные вяжущие, бетоны и другие цементные композиты, модифицированные различными препаратами.

Известно композиционное вяжущее, содержащее портландцемент, доменный гранулированный шлак, карбонатную муку, карбонат калия, сухой гиперпластификатор PANTARHIT PC160. Композиционное вяжущее получают путем совместного помола компонентов в вибрационной мельнице до удельной поверхности 510-560 м<sup>2</sup>/кг [26].

Известен высокопрочный легкий бетон, полученный из смеси, содержащей цемент, микрокремнезем со средним размером частиц 0,01-1 мкм, каменную муку, продукт измельчения кварцевого песка с удельной поверхностью 700-800 м<sup>2</sup>/кг, кварцевый песок фракции 0,16-0,63 мм, гиперпластификатор на поликарбоксилатной основе, базальтовое и/или полипропиленовое волокно и воду, дополнительно содержит наполнитель микросферы [27].

Известен легкий бетон, приготовленный из смеси, включающей портландцемент, гранулированное пеностекло с размером фракций 0,1-5 мм, микрокремнезем в уплотненном или неуплотненном виде, суперпластификатор 4 поколения, фиброволокно, воду. Легкий бетон, приготовленный из смеси, которая дополнительно содержит вторичный наполнитель - микрокальцит фракции от 5 до 100 мкм, или доломитовую муку, или сеяный морской песок. Легкий фибробетон, приготовленный из смеси, в которой в качестве суперпластификатора 4 поколения используют поликарбоксилатный эфир Sika Viscocrete 105P [28].

Известен высокопрочный бетон, включающий портландцемент, песок, щебень, кремнеземсодержащий компонент, добавку и воду, отличающийся тем, что в качестве кремнеземсодержащего компонента содержит золь H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> с плотностью  $\rho=1,014$  г/см<sup>3</sup> и значением водородного показателя pH=4±0,5, а в качестве добавки содержит водный раствор поликарбоксилатного полимера с плотностью  $\rho=1,621$  г/см<sup>3</sup> и значением водородного показателя pH=6,0±0,5, винную кислоту, глюконат натрия и сульфат натрия [29].

Известен высокопрочный бетон из смеси, включающей портландцемент, песок, щебень, кремнеземсодержащий компонент, представленный золем H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub> плотностью  $\rho=1,014$  г/см<sup>3</sup> и значением pH 4±0,5, добавку - поликарбоксилатный полимер с  $\rho=1,012$  г/см<sup>3</sup> и pH 6±0,5 и воду [30].

Известна сырьевая смесь для высокопрочного бетона с нанодисперсной добавкой, включающая портландцемент, кварцполевошпатный песок с модулем крупности 2,1, гранитные отсеvy фракции 2,5-5 мм, добавку и воду, в качестве добавки содержит нанодисперсный порошок диоксида кремния Таркосил-05, который предварительно подвергают ультразвуковой обработке совместно с водой затворения в ультразвуковом диспергаторе УЗДН-А в течение 10 мин [31].

Известен высокопрочный бетон, полученный из смеси, содержащей портландцемент, песок, щебень, воду и комплексную добавку, содержит в качестве песка кварцевый песок с модулем крупности 2,7, в качестве щебня - щебень гранитный фракции 5-10 мм и комплексную добавку с плотностью 1,017 г/см<sup>3</sup> и pH 6,5±0,5, состоящую из золя гидроксида железа (III) с плотностью  $\rho=1,021$  г/см<sup>3</sup> и водородным показателем pH 5,0±0,5 и пластификатора из смеси поликарбоксилатных полимеров: поликарбоксилатный полимер на основе метакриловой кислоты с плотностью  $\rho=0,95$  г/см<sup>3</sup> и pH 7,0±0,5, поликарбоксилатный полимер на основе эфира аллила и ангидрита малеиновой кислоты с плотностью  $\rho=1,03$  г/см<sup>3</sup> и pH 7,0±0,5, и воды [32].

Известен высокопрочный бетон, приготовленный из смеси, содержащей комплексную добавку, состоящую из следующих компонентов: 20% раствор поликарбоксилатного полимера (CP-WRM), имеющего значение водородного показателя pH=6 и плотность 1,029 г/см<sup>3</sup>, высокомолекулярного полимерного соединения с молекулярной массой более 600 г/моль, плотностью 0,98 г/см<sup>3</sup> и значением pH=6,5, колло-

идного раствора (золя) кремниевой кислоты с плотностью  $1,014 \text{ г/см}^3$  и  $\text{pH}=3,5$ . Компонентами сырьевой смеси являются портландцемент, указанный песок, указанный щебень, указанная добавка, вода [33].

Известен высокопрочный мелкозернистый бетон на основе композиционного вяжущего с применением техногенного сырья кварцитопесчаника, содержащего портландцемент, активную добавку, наполнитель, заполнитель, пластифицирующую добавку и воду, в качестве активной добавки используют глиноземистый цемент и микрокремнезем, в качестве наполнителя - техногенное сырье кварцитопесчаник, в качестве заполнителя - кварцевый песок и отсев дробления кварцитопесчаника, в качестве пластифицирующей добавки - гиперпластификатор Melflux 2651 F и воду [34].

Известно гидравлическое вяжущее, содержащее портландцемент, частицы которого имеют D50 от 2 до 11 мкм, микрокремнезем, минеральную добавку A1, частицы которой имеют D50 от 15 до 150 мкм. Минеральная добавка A1 выбрана из шлаков, пуццолановых добавок или кремнистых добавок, таких как кварц, минеральных добавок кремнистого известняка, добавок известняка, таких как карбонат кальция, или их смесей [35].

Известен высокопрочный мелкозернистый бетон на основе композиционного вяжущего с применением техногенного материала шамота, содержащего портландцемент, активную добавку, наполнитель, заполнитель, пластифицирующую добавку и воду; в качестве активной добавки используется глиноземистый цемент и микрокремнезем; в качестве наполнителя - техногенный материал шамот с удельной поверхностью  $450\text{-}500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; в качестве заполнителя - кварцевый песок фракции  $0,63\text{-}1,25 \text{ мм}$  и отсев дробления кварцитопесчаника фракции  $1,25 \text{ мм}$ ; в качестве пластифицирующей добавки - гиперпластификатор Melflux 2651 F и воду.

Известны бетонные смеси для получения высокопрочного торкрет-бетона мокрым способом, включающего в своем составе портландцемент, заполнитель, микрокремнезем, пластификатор и воду, содержит в качестве пластификатора гиперпластификатор Sika ViscoCrete 5 New, в качестве заполнителя - смесь фракций кварцевого песка с размерами частиц от  $0,16$  до  $1,25 \text{ мм}$  и дополнительно редиспергируемый полимерный порошок Vinnapas 5011L, диабазовую муку, известь негашеную. При этом бетонная смесь содержит компоненты в соотношении, мас. %: портландцемент 29-33; кварцевый песок, фр.  $0,16\text{-}0,315 \text{ мм}$ , 37-20; кварцевый песок, фр.  $0,315\text{-}1,25 \text{ мм}$ , 10-20; микрокремнезем уплотненный 6-8; диабазовая мука 8-10; известь негашеная 1-2; гиперпластификатор 1,3-2; редиспергируемый полимерный порошок  $0,2\text{-}0,5$ ; вода  $5,5\text{-}6,5$  [37].

Известные композиционные вяжущие, бетоны и другие цементные композиты характеризуются улучшенными физико-механическими свойствами, однако не обладают свойством самовосстановления.

Известны цементный раствор и фибробетон на композиционном вяжущем. Цементный раствор включает в своем составе портландцемент ПЦ 500 Д0 (серый или белый), суперпластификатор на основе поликарбоксилатного эфира, микрокремнезем с содержанием аморфного-стекловидного кремнезема не менее 85-95% и дополнительно молотый кварцевый песок (микрокварц) или молотую каменную муку из плотных горных пород с удельной поверхностью  $(3\text{-}5)\times 10^3 \text{ см}^2/\text{г}$ , тонкозернистый кварцевый песок узкого гранулометрического состава фракции  $0,1\text{-}0,5\text{-}0,16\text{-}0,63 \text{ мм}$ , имеет удельный расход цемента на единицу прочности бетона не более  $4,5 \text{ кг/МПа}$ . Реакционно-порошковый сверхпрочный фибробетон включает в своем составе портландцемент ПЦ 500 Д0 (серый или белый), суперпластификатор на основе поликарбоксилатного эфира, микрокремнезем с содержанием аморфного-стекловидного кремнезема не менее 85-95% и дополнительно включает молотый кварцевый песок (микрокварц) или молотую каменную муку из плотных горных пород с удельной поверхностью  $(3\text{-}5)\times 10^3 \text{ см}^2/\text{г}$ , тонкозернистый кварцевый песок узкого гранулометрического состава фракции  $0,1\text{-}0,5\text{-}0,16\text{-}0,63 \text{ мм}$ , а также фибру стальную металлокорд (диаметр  $0,1\text{-}0,22 \text{ мм}$ , длина  $6\text{-}15 \text{ мм}$ ), базальтовые и углеродные волокна, имеет удельный расход цемента на единицу прочности бетона не более  $4,5 \text{ кг/ МПа}$ , а удельный расход фибры на единицу прироста прочности на растяжение при изгибе не превышает  $9,0 \text{ кг/МПа}$  [38].

Данный модифицированный цементный раствор обладает повышенными прочностными показателями и улучшенными технологическими свойствами, но не обладает способностью к самовосстановлению.

Наиболее близким по технической сущности к заявленному изобретению являются исследования по приданию строительным материалам на основе минеральных вяжущих веществ способности самовосстанавливаться введением в растворные смеси микроконтейнеров, содержащих биомассу аэробных бактерий с уреазной активностью и питательную среду для них. Для обеспечения процесса самовосстановления исследовались ряд грамотрицательных и грамположительных бактерий: *Bacillus pasteurii*, *B. cohnii*, *B. sphaericus*, *B. pseudofirmus*, *B. halodurans*, *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. alkalinitrilicus*, *Pseudomonas putida*, *Escherichia coli*, которые сохраняют жизнеспособность при  $\text{pH}$  от  $6,8$  до более  $11$ , что позволяет их применить в составах вяжущих веществ различного состава. Отмечено то, что до  $0,5\%$  концентрации биологической добавки от количества цементного вяжущего увеличивается прочность бетонного изделия, а выше указанной концентрации прочность начинает снижаться. В статье также указано, что была исследована возможность применения пористых материалов, в частности цеолитов, в качестве носителей для иммобилизации клеток микроорганизмов [39].

Известные смеси обладают способностью самовосстанавливаться.

Однако в заявленном изобретении *Bacillus subtilis* (сенная палочка) вводится совместно с золой уноса и высококонцентрируемой водоредуцирующей добавкой (препарат ADVA CAST), действие которой стимулирует рост и дифференциацию введенных клеточных структур. Кроме этого, в известном решении в качестве материала-носителя используют только цеолит, тогда как в заявленном изобретении предлагается использовать цеолит или пемзу.

#### Сущность изобретения

Технический результат заключается в разработке цементного раствора, изготовленного с применением композиционного вяжущего, способного самостоятельно устранять трещины и восстанавливать механические свойства конструкций в результате самовосстановления бетона за счет введения в его состав вырабатывающих неорганические соединения бактерий и питательных веществ, необходимых для роста микроорганизмов.

Сущность изобретения заключается в том, что самовосстанавливающийся бетон на композиционном вяжущем, модифицированный микробиологической добавкой, состоит из двухкомпонентной системы, одним из компонентов которой является цементная система, состоящая из цемента, золы уноса, высококонцентрированной водоредуцирующей добавки в виде препарата ADVA®CAST 575, заполнителя, представляющего собой песок, дисперсной арматуры в виде волокна из поливинилового спирта и воды, а другим компонентом является модификатор, состоящий из микробиологической добавки - бактерии вида *Bacillus subtilis*, минеральной питательной среды, состоящей из лактата кальция, мочевины и дрожжевого экстракта, и материала-носителя, при следующем содержании компонентов, мас.ч.:

цемент	1;
зола уноса	0,2;
высококонцентрированная водоредуцирующая добавка	0,27;
песок	2,836;
волокно из поливинилового спирта	0,046;
микробиологическая добавка	0,25;
минеральная питательная среда	0,25;
материал-носитель	0,122;
вода	0,25.

Минеральная питательная среда содержит лактат кальция - 0,02 кг/м<sup>3</sup>, мочевины - 0,002 кг/м<sup>3</sup> и дрожжевой экстракт - 0,002 кг/м<sup>3</sup>. Содержание дисперсной арматуры в виде волокна из поливинилового спирта составляет 0,2-1,0% от объема раствора. Бактерии вида *Bacillus subtilis* иммобилизованы в материале-носителе, например цеолите или пемзе, в соотношении 30 мл бактериальной суспензии и 4 г материала-носителя.

#### Перечень чертежей и иных материалов

На фиг. 1 представлены результаты исследования методом оптической микроскопии (63-кратное увеличение): вегетативные клетки с внутриклеточными спорами культур *Bacillus subtilis*;

на фиг. 2 - прочность на сжатие 28-дневных кубиков из цементного раствора с различной концентрацией бактерий *Bacillus subtilis*;

на фиг. 3 - прочность на сжатие образцов из модифицированного цементного раствора разного возраста контрольного состава и бактериальных составов концентрацией бактерий *Bacillus subtilis* 10<sup>6</sup> клеток/мл с носителями из пемзы и цеолита;

на фиг. 4 - вторичная сорбционная способность образцов фиброармированного цементного раствора, содержащего цеолит;

на фиг. 5 - изображение образца, содержащего питательные вещества + пемзу, с менее заметными следами восстановления;

на фиг. 6 - изображение кристаллов CaCO<sub>3</sub>, образованных бактериями *Bacillus subtilis* subsp. spizizenii (слева - плотное образование кристаллов CaCO<sub>3</sub>, справа - больший масштаб), на растровом электронном микроскопе;

на фиг. 7 - микроструктура матрицы цементного раствора, содержащего бактерии и питательные вещества;

на фиг. 8 - изучение прозрачного шлифа для отслеживания процесса залечивания внутренней области трещины (цементный раствор, содержащий бактерии *Bacillus subtilis* subsp. spizizenii);

на фиг. 9 - изучение прозрачного шлифа для отслеживания процесса залечивания внутренней области трещины (цементный раствор, содержащий бактерии *Sporosarcina pasteurii*).

В табл. 1 представлена первичная сорбционная способность растресканных образцов фиброармированного цементного раствора и ее зависимость от возраста образцов;

в табл. 2 показан 4<sup>2</sup>2<sup>1</sup> полнофакторный план-матрица для определения отклика РСРТ.

### Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Модифицированный цементный раствор состоит из двухкомпонентной системы, одним из компонентов которой является цементная система, состоящая из композиционного вяжущего на основе цемента, золы уноса, высококонцентрированной водоредуцирующей добавки, заполнителя и воды, а другим компонентом является модификатор, состоящий из микробиологической добавки, минеральной питательной среды и материала-носителя.

В качестве микробиологической добавки могут быть использованы бактерии вида *Bacillus subtilis*. Для культивирования бактерии *Bacillus subtilis* осуществляют ее выращивание на жидкой питательной среде, состоящей из 8 г/л питательного бульона, включающего 5 г/л пептона и 3 г/л экстракта мяса, при pH 7, pH доводят до 7 после добавления 20 г/л мочевины, добавляют 10 м/л  $MnSO_4 \cdot H_2O$  для усиления спорообразования, стерилизуют в автоклаве в течение 20 мин при температуре 120°C, после чего культуры инкубируют аэробно при температуре 30°C в течение 24 ч при встряхивании со скоростью 250 об/мин, культуру высевают в чашки с питательным агаром и выдерживают при комнатной температуре.

В качестве минеральной питательной среды может быть использовано 0,02 кг/м<sup>3</sup> лактата кальция, 0,002 кг/м<sup>3</sup> мочевины и 0,002 кг/м<sup>3</sup> дрожжевого экстракта.

Восстанавливающее средство на основе бактерии *Bacillus subtilis* состоит из иммобилизованных в пемзе бактерий и минеральной питательной среды. Способ получения восстанавливающего средства на основе бактерии *Bacillus subtilis* включает выращивание указанных бактерий. 30 мл бактериальной культуры помещают в отдельные 50-миллилитровые пробирки для отделения бактериальных клеток от остатков питательной среды. Бактериальные клетки получают путем центрифугирования каждой пробирки, содержащей выращиваемые культуры (с ускорением 5000 g в течение 5 мин). Затем их повторно суспендируют в физиологическом растворе NaCl, 9 г/л. Потом чистую бактериальную суспензию разбавляют физиологическим раствором для формирования образцов с различной плотностью клеток, а именно после промывания бактериальных суспензий с различной концентрацией 10<sup>4</sup>, 10<sup>6</sup> и 10<sup>8</sup> клеток/мл. Полученные бактерии смешивают со стерильным порошком цеолита или пемзы в пробирке объемом 50 мл, в каждой пробирке смешивают 30 мл бактериального раствора и 12 г цеолита или пемзы, затем пробирки помещают на 1 ч во встряхивающее устройство, работающее со скоростью 100 об/мин, а в качестве исходного вещества для образования карбоната кальция используют лактат кальция, добавляют мочевины как источник фермента уреазы и дрожжевой экстракт как источник углерода и азота, все ингредиенты по отдельности обрабатывают в автоклаве, а затем смешивают для предотвращения образования осадка, результирующее значение pH среды доводят до 9 для того, чтобы избежать возможного химического осаждения карбоната кальция.

Может быть использована микробиологическая добавка, иммобилизованная в материале-носителе, например цеолите или пемзе, в соотношении 30 мл минеральной питательной среды и 4 г материала-носителя.

Самовосстанавливающийся бетон на композиционном вяжущем, модифицированный микробиологической добавкой, состоящий из двухкомпонентной системы, одним из компонентов которой является цементная система, состоящая из цемента, золы уноса, высококонцентрированной водоредуцирующей добавки в виде препарата ADVA@CAST 575, заполнителя, представляющего собой песок, дисперсной арматуры в виде волокна из поливинилового спирта и воды, а другим компонентом является модификатор, состоящий из микробиологической добавки - бактерии вида *Bacillus subtilis*, минеральной питательной среды, состоящей из лактата кальция, мочевины и дрожжевого экстракта, и материала-носителя, при следующем содержании компонентов, мас.ч.:

цемент	1;
зола уноса	0,2;
высококонцентрированная водоредуцирующая добавка	0,27;
песок	2,836;
волокно из поливинилового спирта	0,046;
микробиологическая добавка	0,25;
минеральная питательная среда	0,25;
материал-носитель	0,122;
вода	0,25.

Для изготовления составов заявленного модифицированного цементного раствора предпочтительно использовать следующие компоненты.

#### 1. Вяжущее.

Портландцемент общего назначения GU/10, который изготовила и поставила компания "St. Marys cement Inc." (Канада).

2. Зола-унос класса G1, удовлетворявшая требованиям стандарта ASTM C-618 (2012), была закуплена в компании "Лафарж", использовалась для создания модифицированных цементных композитов.

3. Высококонцентрированная водоредуцирующая добавка - препарат ADVA®CAST 575. Препарат ADVA®CAST 575 - высокоэффективный высокопроизводительный водный редутор на основе поликарбоксилата с низкой скоростью добавления, разработанный для производства широкого спектра бетонных смесей, от обычного до самоуплотняющегося бетона. Предназначен для придания бетону исключительной обрабатываемости. ADVA®CAST 575 поставляется в виде готовой к употреблению жидкости, которая весит около 8,9 фунта/галлон (1,1 кг/л). ADVA®CAST 575 не содержит намеренно добавленных хлоридов.

4. Мелкий заполнитель.

Песок для бетона в качестве мелкого заполнителя для обычных растворов смесей. Модуль крупности песка для бетонной смеси составлял 2,45.

5. Дисперсная арматура.

Волокно из поливинилового спирта (PVA) длиной 8 мм и диаметром 40 мкм. Прочность PVA-волокна при растяжении составляет 1600 МПа, а плотность равна 1300 кг/м<sup>3</sup>. Поверхность волокна покрыта смазкой (концентрация 1,2 мас.%) для ослабления химической связи и трения на границе волокно/матрица.

7. Микробиологическая добавка.

Бактерии вида *Bacillus subtilis*, обладающие весьма перспективной уреазной активностью [40, 41] и, насколько известно, даже с такой высокой уреазной активностью его не использовали в экспериментах по самовосстановлению бетона. Бактерии вида *Bacillus subtilis*, обладающие высокими уровнями никель-содержащей уреазы [40]. Используемый микроорганизм представляют собой спорообразующий бактериальный вид, обычно выделяемый из почвы. Используют подвид *Bacillus subtilis* - *Spizizenii*.

Бактерии вида *Bacillus subtilis* были приобретены из Немецкой коллекции микроорганизмов и клеточных культур (DSMZ), г. Брауншвейг, ФРГ.

8. Минеральная питательная среда.

Для обеспечения возможности инкорпорированным бактериям осажать известняк в процессе литья в бетон следует добавить подходящий минеральный субстрат.

Лактат кальция, в качестве источника кальция для бактерий, приобретен в компании "Sigma Aldrich Canada Ltd." (г. Оквилл, провинция Онтарио, Канада).

Мочевина в качестве источника азота для бактерий с уреолитической активностью, так как уреазы гидролизует мочевины, выделяя ионы аммония и карбонат-ионы, приобретена в компании "Bio basic Canada Inc." (г. Маркхем, провинция Онтарио, Канада).

Дрожжевой экстракт, в качестве вспомогательного средства для исследования и питательной среды для роста бактерий приобретен в компании "Bio basic Canada Inc." (г. Маркхем, провинция Онтарио, Канада).

9. Защитный материал-носитель бактерий.

Клиноптилолит (минерал из группы цеолитов) является перспективным материалом для иммобилизации микроорганизмов из-за его шероховатости, большой удельной поверхности и высокой пористости. Цеолит представляет собой микропористый алюмосиликатный минерал, обычно используемый в качестве коммерческих адсорбентов и катализаторов [42]. Несмотря на то, что никто не использовал этот материал в качестве носителя бактерий в бетоне, благодаря широкому распространению в природе цеолит часто используют для иммобилизации бактерий в процессах очистки сточных вод. Цеолит (цеолитовый песок) поставляла компания "Zeo Inc", г. Мак-Кинни, Техас, США.

Пемза - инертный алюмосиликатный минерал вулканического происхождения с высокой пористостью и низкой плотностью [43-44]. Однако никто не использовал этот материал в качестве носителя бактерий в бетоне.

На основании довольно высокой и стабильной во времени активности в процессе денитрификации, хороших механических свойств, низкой себестоимости и низких энергозатрат при производстве, в этом исследовании пемза также выбрана в качестве материала для иммобилизации микроорганизмов. Пемзу поставляла компания "Garibaldi Pumice Ltd", г. Бернаби, Британская Колумбия, Канада.

10. Вода.

Используемая питьевая вода соответствовала требованиям ГОСТ 51232-98.

Способ приготовления модифицированного цементного раствора заключается в следующем. В работающий смеситель сначала подается цемент, зола уноса, высококонцентрированная водоредуцирующая добавка в виде препарата ADVA®CAST 575, затем минеральная питательная среда на основе мочевины, лактата кальция и дрожжевого экстракта, потом материал-носитель с иммобилизованными бактериями. После тщательного перемешивания в этот же смеситель подается песок, дисперсная арматура и оставшаяся часть воды до получения смеси требуемой подвижности и вновь осуществляют перемешивание до получения однородной смеси. Приготовленную смесь укладывают в металлические формы и выдерживают в них в течение 24 ч, затем осуществляют распалубливание форм и образцы отверждают далее в нормальных температурно-влажностных условиях.

Бактерии вида *Bacillus subtilis* выращивали на жидкой и твердой питательных средах согласно инструкции DSMZ. Устойчивые к щелочам спорообразующие хорошо росли на рекомендованной питательной среде.

Проводят экспериментальные исследования составов модифицированного цементного раствора, в том числе изучение микроструктуры методами сканирующей растровой электронной микроскопии (SEM), энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS), рентгенструктурного анализа (XRD) и методом неразрушающего контроля, таким как ультразвуковой импульсный метод (UPV).

Исследование проводили в пять этапов: 1) изучение способов культивирования микроорганизмов, их способности к спорообразованию, характеристик прорастания и процент выживаемости различных бактерий при обработке в условиях высоких температур и значений pH; 2) оценка уреолитической активности выбранных бактерий, иммобилизованных в цементном растворе с высоким значением pH; 3) проверка влияния добавок восстанавливающего вещества на прочность при сжатии кубиков из цементного раствора; 4) исследование протекания процесса самовосстановления в образцах с наличием трещин, что включает подготовку и испытание растрескавшихся цилиндрических образцов из цементного раствора с целью выявления влияния самовосстановления с участием бактерий на проницаемость, а также подготовку и испытание образцов из цементного раствора, изготовленных в виде балки (в которых присутствуют реальные трещины), для определения и количественного описания эффективности залечивания трещин с привязкой к структурным характеристикам (с точки зрения зависимости величины прогиба от нагрузки, прочности на сжатие и пр.) во времени.

При сравнении заявленного решения с известным рассматривались следующие составы.

Состав № 1 [38], включающий в своем составе (в % от массы сухих компонентов) портландцемент - 1, суперпластификатор на основе поликарбоксилатного эфира - 0,016, микрокремнезем - 0,22, молотый кварцевый песок (микрокварц) или каменная мука - 0,55, тонкозернистый кварцевый песок - 1,72, фибра стальная металлокорд - 0,16 по объему бетона, фибра базальтовая и углеродные волокна - 0,09 по объему бетона, вода В/Т=0,003.

Состав № 2 (заявленное решение), включающий в своем составе (в мас.ч.) цемент - 1,0, зола уноса - 0,2, высококонцентрированная водоредуцирующая добавка - 0,27 в виде препарата ADVA®CAST 575, кварцевый песок - 2,836, волокно из поливинилового спирта - 0,046, микробиологическая добавка - 0,250, минеральная питательная среда - 0,250, цеолит или пемза - 0,122, вода - 0,250. Соотношение вода/цемент составляет 0,25, соотношение цемент/песок составляет 0,353.

Сравнительные исследования известного и заявленного составов бетонной смеси показали следующие результаты.

Анализ роста культур методом оптической спектроскопии (фиг. 1) показал, что споры производились в вегетативных клетках (эндоспорах). Испытания цементных образцов с различной концентрацией бактерий (фиг. 2) в 28-дневном возрасте показали максимальную прочность на сжатие, материалы при концентрации клеток в количестве  $10^6$  клеток/мл. Прочность на сжатие кубиков цементного раствора, содержащих микробные клетки, значительно увеличилась в сравнении с контрольными образцами (фиг. 3). Процесс самовосстановления обусловлен образованием бактериями вида *Bacillus subtilis* кристаллов  $\text{CaCO}_3$  кольматирующих трещин (фиг. 4, 5). Для образцов с иммобилизованными бактериями наблюдается более высокий прирост значений скорости ультразвукового импульса по сравнению с образцом с незащищенными бактериями (табл. 1). У образцов с иммобилизованными бактериями произошло увеличение прочности при изгибе по сравнению с неповрежденным образцом после 56 дней восстановления (табл. 2). Повторно нагруженные образцы смесей с иммобилизованными в носителях бактериями имеют более высокую прочность по сравнению с соответствующими эталонными образцами (фиг. 3).

Количественная оценка самовосстановления проводилась также по показателю первичной сорбционной способности при различных периодах восстановления (табл. 1). Из приведенных данных видно, что снижение значений первичной сорбционной способности для модифицированных образцов, содержащих бактерии, больше по сравнению с контрольными.

Наглядное исследование заживления трещин в модифицированных материалах представлено на фиг. 6-9. Видно, что в случае контрольного образца заживление трещин не происходит (фиг. 9), тогда как в образце из смесей, содержащих иммобилизованные в цеолите бактерии *Bacillus subtilis*, наблюдается залечивание трещин.

Таким образом, заявленное изобретение может быть осуществлено с достижением технического результата, что подтверждается приведенными результатами исследований. Конкретные примеры реализации, приведенные в настоящем описании, не ограничивают объем правовой охраны согласно формуле заявленного изобретения.

По сравнению с известным решением заявленное изобретение позволяет получить модифицированный цементный раствор на композиционном вяжущем, способный самостоятельно устранять трещины и восстанавливать механические свойства конструкций в результате самовосстановления бетона за счет введения в его состав вырабатывающих неорганические соединения бактерий и питательных веществ, необходимых для роста микроорганизмов, а также дополнительного введения дисперсной арматуры.

Таблица 1

Образец	Первичная сорбционная способность при различных периодах восстановления (мм/с <sup>-1/2</sup> )				% снижение первичной сорбционной способности для разных периодов восстановления (%)		
	7 дней	120 дней	180 дней	240 дней	120 дней	180 дней	240 дней
Контрольный образец	0.00705	0.0047	0.00431	0.00401	33.33	38.87	43.12
Питат. в-ва + цеолит	0.00702	0.00427	0.00389	0.00368	39.17	44.59	47.58
Питат. в-ва + пемза	0.00703	0.00421	0.00381	0.00352	40.11	45.80	49.93
<i>B. subtilis</i> + цеолит	0.00689	0.00206	0.00101	0.0007	70.10	85.34	89.84
<i>B. subtilis</i> + пемза	0.00677	0.00202	0.00101	0.00062	70.16	85.08	90.84

Таблица 2

4 <sup>2</sup> 2 <sup>1</sup> Полнофакторный план определения РСРТ					
№№ п/п	Стандартный порядок (StdOrder)	Длительность тестирования	Виды бактерий	Типы материала-носителя	Значение РСРТ
1	87	3	4	1	765
2	4	1	2	2	1462
3	94	4	3	2	759
4	3	1	2	1	1499
5	74	2	1	2	1320
6	28	4	2	2	846
7	47	2	4	1	917
8	57	4	1	1	1327
9	51	3	2	1	986
10	56	3	4	2	839
11	81	3	1	1	1343
12	96	4	4	2	734
13	82	3	1	2	1265
14	27	4	2	1	895
15	36	1	2	2	1449
16	31	4	4	1	679
17	15	2	4	1	972
18	9	2	1	1	1409
19	46	2	3	2	990
20	16	2	4	2	989
21	7	1	4	1	1472
22	45	2	3	1	986
23	64	4	4	2	645
24	23	3	4	1	791
25	68	1	2	2	1496
26	80	2	4	2	901
27	66	1	1	2	1569
28	49	3	1	1	1315
29	91	4	2	1	886
30	61	4	3	1	742
31	63	4	4	1	712
32	48	2	4	2	888
33	83	3	2	1	992
34	41	2	1	1	1369

## Источники информации.

1. Афанасьев Н. Ф. Добавки в бетоны и растворы / Н. Ф. Афанасьев, М. К. Целуйко. – Киев : Будивельник, 1989. – 128 с.
2. Баженов Ю. М. Новый век: новые эффективные бетоны и технологии / Ю. М. Баженов, В. Р. Фаликман // Материалы I Всероссийской конференции по бетону и железобетону. – М., 2001. – С. 91–101.
3. Белов В. В. Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями / В. В. Белов, С. Л. Субботин, П. В. Куляев // Строит. материалы. – 2015. – № 3. – С. 25–29.
4. Брыков А. С. Влияние ультрадисперсных кремнеземов на гидратацию портландцемента и состав цементного камня / А. С. Брыков, Р. Т. Камалиев, В. И. Корнеев // Цемент и его применение. – 2009. – № 1. – С. 91–93.
5. Бухало А. Б. Разработка композиционного вяжущего с применением современных модификаторов / А. Б. Бухало, А. В. Сумин, В. В. Строкова // Строит. комплекс России. Наука. Образование. Практика : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Улан-Удэ, 11–14 июля 2012 г. – Улан-Удэ, 2012. – С. 166–167.
6. Влияние реакционно-активных добавок на прочностные свойства пластифицированного цементного камня / Е. В. Гуляева, И. В. Ерофеева, В. И. Калашников, А. В. Петухов // Молодой ученый [Чита]. – 2014. – № 19 (78). – С. 194–197.
7. Гамалий Е. А. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора / Е. А. Гамалий, Б. Я. Трофимов, Л. Я. Крамар // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Стр-во и архитектура. – 2009. – № 16, вып. 8. – С. 29–35.
8. Гусев Б. В. Наноструктурирование бетонных материалов / Б. В. Гусев // Пром. и гражд. стр-во. – 2016. – № 1. – С. 7–9.
9. Изотов В. С. Химические добавки для модификации бетона / В. С. Изотов, Ю. А. Соколова. – М. : Палейтип, 2006. – 244 с.
10. Интеллектуальный динамичный бетон / Б. Барраган, Х. Ронсеро, Р. Магаротто [и др.] // CP1 Междунар. бетон. пр-во. – 2011. – № 2. – С. 58–67.
11. Калашников В. И. Суспензионно-наполненные бетонные смеси для порошково-активированных бетонов нового поколения / В. И. Калашников, В. Т. Ерофеев, О. В. Тараканов // Изв. вузов. Стр-во. – 2016. – № 4. – С. 38–37.
12. Каприелов С. С. Модификаторы серии МБ и бетоны с высокими эксплуатационными свойствами / С. С. Каприелов, А. В. Шенфельд // Технический бюллетень НИИЖБ. – М., 2002.
13. Комплексная добавка на основе углеродных нанотрубок и микрокремнезема для модификации газосиликата автоклавного твердения /

Г. И. Яковлев, Г. Н. Первушин, Я. Керене [и др.] // Строит. материалы. – 2014. – № 1–2. – С. 3–7.

14. Королев Е. В. Химический состав наномодифицированного композиционного вяжущего с применением нано- и микроразмерных гидросиликатов бария / Е. В. Королев, А. Н. Гришина, А. Б. Сатюков // Нанотехнологии в строительстве : интернет-журн. – 2014. – № 4 (26). – С. 90–103.

15. Мелкозернистый базальтофибробетон с нанокремнеземом / Л. А. Урханова, С. А. Лхасаранов, В. Е. Розина, С. Л. Буянтуев // Строит. материалы. – 2015. – № 6. – С. 45–49.

16. Мещерин В. Добавки и дополнительные компоненты в современной технологии производства / В. Мещерин, М. Катц // СРІ Междунар. бетон. пр-во. – 2011. – № 11. – С.14–21.

17. Новые модифицированные бетоны в конструкциях высотных зданий / С. С. Каприелов, А. В. Шенфельд, Г. С. Кардумян // II Международный форум архитектуры, строительства, реконструкции городов, строительных технологий и материалов, 11–13 нояб. 2008 г. – М., 2008. г. Москва. – С. 29–38.

18. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами / В. И. Калашников, М. Н. Мороз, О. В. Тараканов [и др.] // Строит. материалы. – 2014. – № 9. – С. 70–75.

19. Оптимизация составов цементных композитов с фунгицидными добавками на основе гуанидина / В. Т. Ерофеев, В. Ф. Смирнов, Д. А. Светлов [и др.] // Приволж. науч. журн. – 2014. – № 2. – С. 41–51.

20. Опыт возведения уникальных конструкций из модифицированных бетонов на строительстве комплекса «Федерация» / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Ю. А. Киселева [и др.] // Пром. и гражд. стр-во. – 2006. – № 8. – С. 20–22.

21. Рамачандран В. Добавки в бетон : справ. пособие / В. Рамачандран. – М. : Стройиздат, 1988. – 286 с.
22. Розина В. Е. Высокопрочный бетон с использованием золы-уноса и микрокремнезема / В. Е. Розина, Л. А. Урханова // Вестн. ИрГТУ. – 2011. – № 10. – С. 97–100.
23. Чернышов Е. М. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) / Е. М. Чернышов, Д. Н. Коротких // Строит. материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2008. – № 5. – С. 30–32.,
24. Шейнфельд А. В. Техничко-экономическая эффективность применения высокопрочных бетонов / А. В. Шейнфельд // Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика. – Казань, 2016. – С. 84.
25. Aitchin P.-C. High-Performance Concrete Demystified / P.-C. Aitchin, A. Neville // Concr. Irrern. – 1993. – Vol. 15, № 1. – P. 21–26.
26. Патент № 2658416 Российская Федерация, МПК С04В 7/19 (2006.01), С04В 14/26 (2006.01), С04В 22/08 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01). Композиционное вяжущее : № 2017123998 : заявл. 07.07.2017 : опубл. 21.06.2018 / Федюк Р. С.; заявитель ФГАОУ ВО «ДВФУ». – 6 с. : ил. – Текст : электронный.
27. Патент № 2548303 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01). Высокопрочный легкий фибробетон : № 2014114357 : заявл. 11.04.2014 : опубл. 20.04.2015 / Иноземцев А. С., Королев Е. В. ; заявитель ФГБОУ ВПО «МГСУ». – 6 с. : ил. – Текст : электронный.
28. Патент № 2502709 Российская Федерация, МПК С04В 38/08 (2006.01). Легкий фибробетон : № 2011147407 : заявл. 22.11.2011 : опубл. 27.12.2013 / Зайцев А. А. – 8 с. : ил. – Текст : электронный.
29. Заявка № 2013115619 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01). Высокопрочный бетон : № 2013115619 : заявл. 05.04.2013 : опубл.

10.10.2014 / Сватовская Л. Б., Соловьева В. Я., Степанова И. В. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения». – 1 с. – Текст : электронный.

30. Патент № 2515665 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01). Высокопрочный бетон : № 2012126923 : заявл. 27.06.2012 : опубл. 20.05.2014 / Сватовская Л. Б., Соловьева В. Я., Чернаков В. А. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения». – 6 с. : ил. – Текст : электронный.

31. Патент № 2471752 Российская Федерация, МПК С04В 38/00 (2006.01), В82В 1/20 (2006.01). Сырьевая смесь для высокопрочного бетона с нанодисперсной добавкой : № 2011125428 : заявл. 20.06.2011 : опубл. 10.01.2013 / Урханова Л. А., Бардаханов С. П., Лхасаранов С. А. ; заявитель ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления». – 9 с. : ил. – Текст : электронный.

32. Патент № 2562310 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 24/24 (2006.01), С04В 22/06 (2006.01), С04В 103/32 (2006.01). Высокопрочный бетон : № 2014122131 : заявл. 30.05.2014 : опубл. 10.09.2015 / Сватовская Л. Б., Соловьева В. Я., Степанова И. В. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения». – 6 с. : ил. – Текст : электронный.

33. Патент № 2684264 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 24/26 (2006.01), С04В 24/24 (2006.01), С04В 22/08 (2006.01), С04В 111/27. Высокопрочный бетон : № 2018104005 : заявл. 01.02.2018 : опубл. 04.04.2019 / Сватовская Л. Б., Соловьева В. Я., Соловьев Д. В. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения». – 6 с. : ил. – Текст : электронный.

34. Патент № 2627811 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 14/06 (2006.01), С04В 24/26 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01). Высокопрочный мелкозернистый бетон на основе композиционного

вяжущего с применением техногенного сырья : № 2016120247 : заявл. 24.05.2016 : опубл. 11.08.2017 / Толстой А. Д., Лесовик В. С., Ковалева И. А. [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». – 6 с. : ил. – Текст : электронный.

35. Патент № 2683295 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 14/06 (2006.01), С04В 14/28 (2006.01). Сверхвысокопрочный бетон с низким содержанием цемента : № 2016152490 : заявл. 18.06.2015 : опубл. 27.03.2019 / Туссен Ф., Молин Ж., Барбарюло Р. ; заявитель Лафарж. – 16 с. : ил. – Текст : электронный.

36. Патент № 2625410 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 14/06 (2006.01), С04В 18/12 (2006.01), С04В 24/26 (2006.01), С04В 103/32 (2006.01), С04В 111/27 (2006.01). Высокопрочный мелкозернистый бетон на основе композиционного вяжущего с применением техногенного сырья : № 2016121301 : заявл. 30.05.2016 : опубл. 13.07.2017 / Лесовик В. С., Толстой А. Д., Ковалева И. А. ; заявитель ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». – 6 с. : ил. – Текст : электронный.

37. Патент № 2658076 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 14/06 (2006.01), С04В 18/14 (2006.01), С04В 24/26 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01), С04В 111/27 (2006.01). Состав бетонной смеси для получения высокопрочного торкрет-бетона мокрым способом : № 2016133411 : заявл. 12.08.2016 : опубл. 19.06.2018 /Тарасов А. С., Ярош Н. Н., Баранов И. М. [и др.] ; заявитель АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» . – 6 с. : ил. – Текст : электронный.

38. Заявка № 2012113330 Российская Федерация, МПК С04В 28/00 (2006.01). Высокоэффективные реакционно-порошковые высокопрочные и сверхпрочные бетоны и фибробетоны (варианты) : № 2012113330 : заявл. 05.04.2012 : опубл. 10.10.2013 / Володин В. М. ; заявители Володин В. М., Калашников В. И., Ананьев С. В. [и др.] . – 2 с. – Текст : электронный.

39. Степанов Н.А. «Изменение свойств строительных материалов при введении в них биомассы бактерий с уреазной активностью», Вестник МГСУ, 2017. Т.12. вып.7(106). С. 788-796.

40. McCoy, D.D. Cetin, A. Hausinger, R.P. (1992). «Characterization of urease from *Sporosarcina ureae*». *Archives of Microbiology*. 157 (5): 411–416.

41. Gruninger, S. E. & Goldman, M. (1988). Evidence for urea cycle activity in *Sporosarcina ureae*. *Arch Microbiol*150, 394-399.

42. Zeolite Structure. *GRACE.com*. W. R. Grace & Co. 2006. Archived from the original on 15 Feb 2009. Retrieved 8 Feb 2019.

43. Boertje G. A. Chemical and physical characteristics of pumice as a growing medium / G. A. Boertje // *Acta hortic* –1995. – Vol. 401 – P. 85–88.

44. Challinor A. B. Belemnites from the upper Ohauan Stage at Kawhia Harbour, New Zealand / A. B. Challinor // *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*. – 1996. – Vol. 39 – P. 211–223.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Самовосстанавливающийся бетон на композиционном вяжущем, модифицированный микробиологической добавкой, состоящий из двухкомпонентной системы, одним из компонентов которой является цементная система, состоящая из цемента, золы уноса, высококонцентрированной водоредуцирующей добавки в виде препарата ADVA@CAST 575, заполнителя, представляющего собой песок, дисперсной арматуры в виде волокна из поливинилового спирта и воды, а другим компонентом является модификатор, состоящий из микробиологической добавки - бактерии вида *Bacillus subtilis*, минеральной питательной среды, состоящей из лактата кальция, мочевины и дрожжевого экстракта, и материала-носителя, при следующем содержании компонентов, мас.ч.:

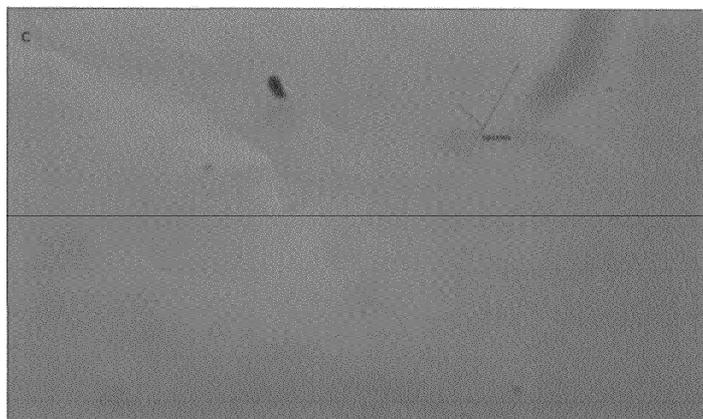
- цемент - 1;
- зола уноса - 0,2;
- высококонцентрированная водоредуцирующая добавка - 0,27;
- песок - 0,2836;
- волокно из поливинилового спирта - 0,046;
- микробиологическая добавка - 0,25;
- минеральная питательная среда - 0,25;
- материал-носитель - 0,122;
- вода - 0,25.

2. Самовосстанавливающийся бетон на композиционном вяжущем, модифицированный микробиологической добавкой по п.1, отличающийся тем, что минеральная питательная среда содержит

- лактат кальция - 0,02 кг/м<sup>3</sup>,
- мочевину - 0,002 кг/м<sup>3</sup> и
- дрожжевой экстракт - 0,002 кг/м<sup>3</sup>.

3. Самовосстанавливающийся бетон на композиционном вяжущем, модифицированный микробиологической добавкой по п.1, в котором содержание дисперсной арматуры в виде волокна из поливинилового спирта составляет 0,2-1,0% от объема раствора.

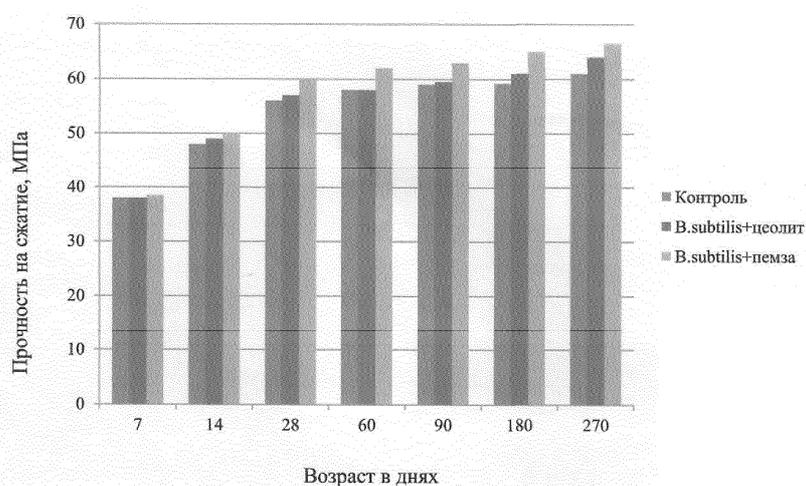
4. Самовосстанавливающийся бетон на композиционном вяжущем, модифицированный микробиологической добавкой, по п.1, отличающийся тем, что бактерии вида *Bacillus subtilis* иммобилизованы в материале-носителе, например цеолите или пемзе, в соотношении 30 мл бактериальной суспензии и 4 г материала-носителя.



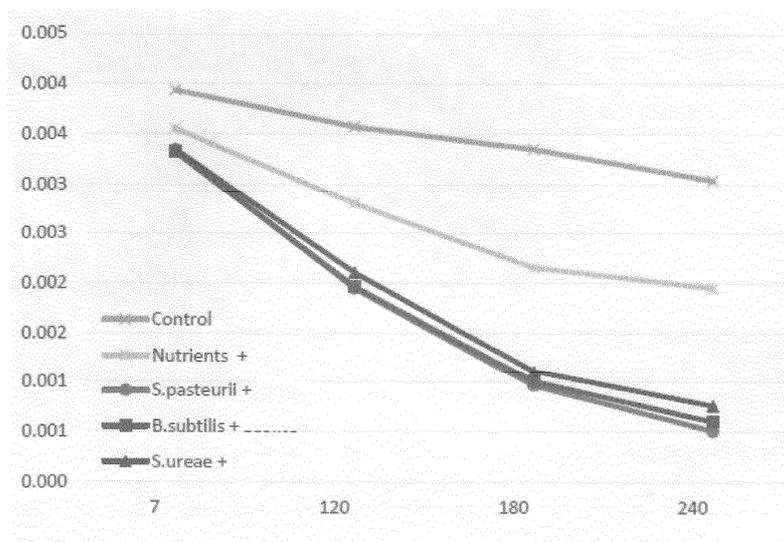
Фиг. 1



Фиг. 2

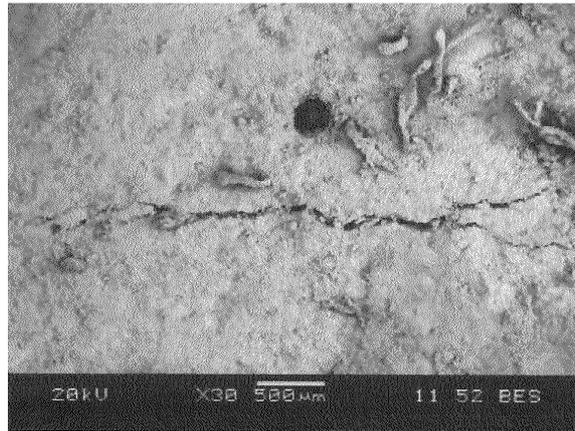


Фиг. 3

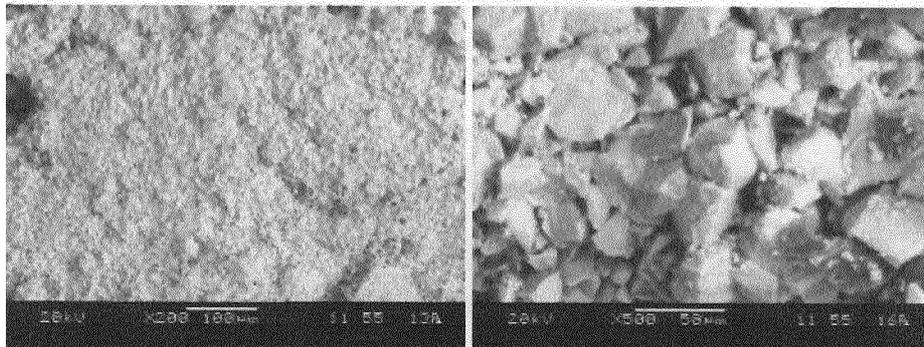


Фиг. 4

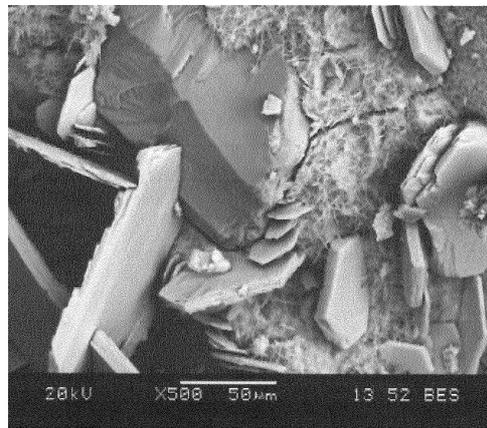
040250



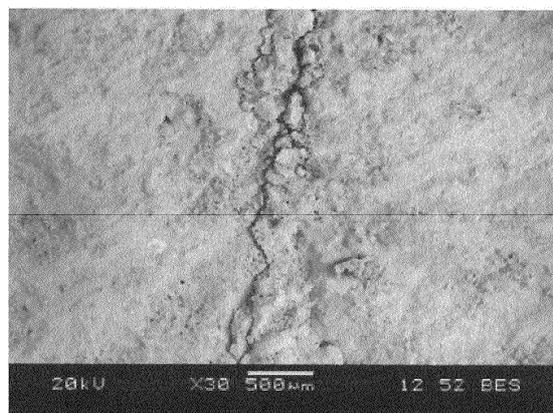
Фиг. 5



Фиг. 6

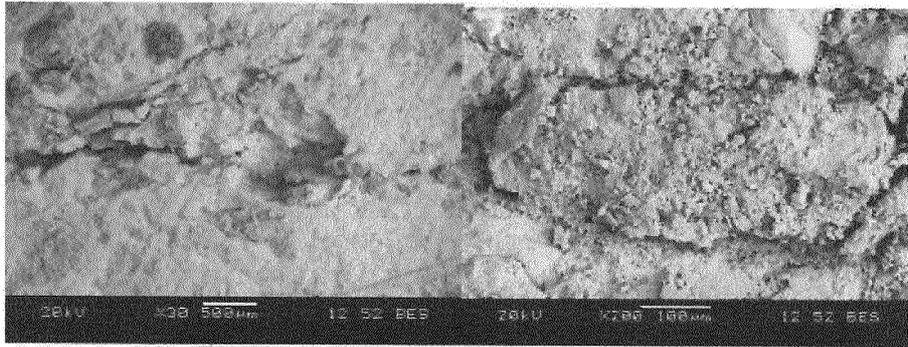


Фиг. 7



Фиг. 8

040250



Фиг. 9

