

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044613**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.09.15**

(21) Номер заявки  
**202390222**

(22) Дата подачи заявки  
**2023.01.11**

(51) Int. Cl. **C04B 28/04** (2006.01)  
**C04B 28/08** (2006.01)  
**C04B 28/28** (2006.01)  
**C04B 24/16** (2006.01)  
**C04B 24/24** (2006.01)  
**C04B 14/06** (2006.01)  
**C04B 14/36** (2006.01)  
**C04B 16/04** (2006.01)  
**C04B 18/14** (2006.01)  
**C04B 22/06** (2006.01)  
**C04B 22/14** (2006.01)  
**C04B 111/20** (2006.01)

---

(54) **ВЫСОКОПРОЧНЫЙ БЕТОН**

---

(43) **2023.09.08**

(96) **2023000004 (RU) 2023.01.11**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ  
СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА  
АЛЕКСАНДРА I" (ФГБОУ ВО  
ПГУПС) (RU)**

(56) RU-C1-2693085  
RU-C1-2485069  
RU-C1-2087439  
EA-B1-040204  
WO-A1-0009460  
US-B2-10882791  
JP-B2-3916457

(72) Изобретатель:  
**Соловьёва Валентина Яковлевна,  
Абу-Хасан Махмуд, Степанова Ирина  
Витальевна, Соловьёв Дмитрий  
Вадимович (RU)**

---

(57) Изобретение относится к области строительных материалов и рекомендовано для изготовления высокопрочного бетона. Технический результат - создание высокопрочного бетона с повышенной прочностью на растяжение при изгибе в раннем и проектном возрасте и повышенной водонепроницаемостью. Высокопрочный бетон получен из смеси, включающей, мас. %: портландцемент - 15,04-16,92; песок с модулем крупности  $M_k=2,6$  - 31,6-32,84; щебень гранитный фракции 5-20 мм - 43,2-43,53; доменный металлургический шлак с удельной поверхностью  $S_{уд}=450\text{м}^2/\text{кг}$  - 2,14-2,26; химическую добавку, представленную водным раствором с плотностью  $\rho=1,041\text{ г/см}^3$  и значением водородного  $\text{pH}=8,0$ , состоящую из следующих компонентов, мас. %: поликарбоксилатного полимера, представленного ангидридом малеиновой кислоты - 39,0-40,8; высокомолекулярного соединения на основе калиевой соли высшей жирной кислоты - 6,12-6,7; нанодисперсий диоксида кремния - 24,48-25,1 и электролита, представленного тиосульфатом натрия - 28,6-29,2, 0,14-0,15; воду - 6,00-6,18.

---

**044613**  
**B1**

**044613**  
**B1**

Изобретение относится к строительным материалам и может быть использовано для изготовления изделий из бетона в гражданском и промышленном строительстве и для объектов специального назначения.

Известна сырьевая смесь для изготовления высокопрочного бетона, содержащая: портландцемент, песок, щебень, добавку, состоящую из золя гидроокиси железа (III) с плотностью  $\rho=1,021 \text{ г/см}^3$ , водородным показателем  $\text{pH}=4,5-5,5$  и суперпластификатора Мурапласт ФК 63, при следующем соотношении компонентов мас. %: золь гидроокиси железа (III) с плотностью  $\rho=1,021 \text{ г/см}^3$ , водородным показателем  $\text{pH}=4,5-5,5$  - 85,50-86,00; суперпластификатор Мурапласт ФК 63 - 14,00-14,50; при следующем соотношении компонентов, мас. %: портландцемент 20,60-27,40; песок 21,80-24,70; щебень 42,40-44,50; указанная добавка 0,70-0,90; вода 7,70-9,30 (RU №2433099, С 04В 22/06; С 04В 111/20; 10.05.2008).

Недостатками данного технического решения являются: недостаточная прочность на растяжение при изгибе в раннем возрасте (7 суток) и проектном возрасте (28 суток) и недостаточная водонепроницаемость.

Известна сырьевая смесь для изготовления высокопрочного бетона, содержащая: портландцемент, песок, щебень, кремнеземсодержащий компонент, представленный золев кремниевой кислоты  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  с плотностью  $\rho=1,014 \text{ г/см}^3$ ,  $\text{pH}=5,0-6,0$ ; добавку - калий железистосинеродистый  $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и воду при следующем соотношении компонентов, мас. %: портландцемент 43,58-47,08; песок 14,43-15,69; щебень 25,7-27,84; кремнеземсодержащий компонент, представленный золев кремниевой кислоты  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  с плотностью  $\rho=1,014 \text{ г/см}^3$ ,  $\text{pH}=5-6$  - 0,25-0,27; добавка - калий железистосинеродистый  $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6]$  - 0,44-0,47; вода 12,1-12,15 (RU №2256630, С 04В 28/04; 27.05.2005).

Недостатками данного технического решения являются: недостаточная прочность на растяжение при изгибе в раннем возрасте (7 суток) и проектном возрасте (28 суток) и недостаточная водонепроницаемость.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является высокопрочный бетон, содержащий портландцемент, песок, щебень, кремнеземсодержащий компонент, представленный золев кремниевой кислоты  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  с плотностью  $\rho=1,014 \text{ г/см}^3$ , водородным показателем  $\text{pH}=5,0-6,0$ ; добавку "ДЭЯ-М"; воду при следующем соотношении компонентов, мас. %: портландцемент 44,4 - 48,0; песок 20,0 - 22,2; щебень 20,0-22,2; указанный кремнеземсодержащий компонент - 0,43-0,48; добавка "ДЭЯ-М" - 0,43 - 0,48; вода 10,34 - 11,04 (RU №2256629, С 04В 28/04; С 04В 111/20, 20.07.2005).

Недостатками данного технического решения являются: недостаточная прочность на растяжение при изгибе в раннем возрасте (7 суток) и проектном возрасте (28 суток) и недостаточная водонепроницаемость.

Задачей, на решение которой направлено изобретение, является создание сырьевой смеси, обеспечивающей создание высокопрочного бетона, обладающего повышенной прочностью на растяжение при изгибе в раннем возрасте (7 суток) и проектном возрасте (28 суток) и повышенным значением водонепроницаемости.

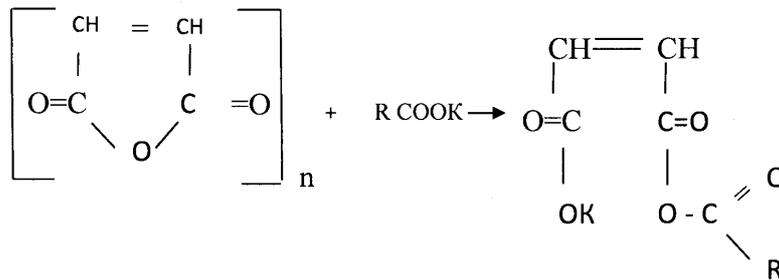
Поставленная задача достигается тем, что высокопрочный бетон, полученный из сырьевой смеси, включает портландцемент, песок, щебень, добавку и воду, согласно изобретению, в качестве песка содержит песок с модулем крупности 2,6; в качестве щебня содержит щебень гранитный фракции 5-20 мм; в качестве добавки содержит водный раствор с плотностью  $\rho=1,041 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=8,0$ , состоящий из водного раствора поликарбоксилатного полимера, представленного ангидридом малеиновой кислоты с плотностью  $\rho=1,032 \text{ г/см}^3$ ,  $\text{pH}=6,5$ , водного раствора высокомолекулярного соединения на основе калиевых солей высших жирных кислот с плотностью  $\rho=1,07 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=9,0$ ; нанодисперсий диоксида кремния, используемых в виде водного раствора золя гидроксида кремния  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  с плотностью  $\rho=1,021 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=4,0$  и водного раствора электролита, представленного тиосульфатом натрия,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , с плотностью  $\rho=1,036 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=8,5$  при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- указанный поликарбоксилатный полимер	39,0 – 40,8
- указанное высокомолекулярное соединение	6,12 – 6,70
- указанные нанодисперсии	24,48 – 25,10
- указанный электролит	28,6 – 29,2,

дополнительно содержит тонкомолотый доменный шлак металлургического производства с величиной удельной поверхности  $S_{\text{уд.}}=450 \text{ м}^2/\text{кг}$ , представленный твердым раствором геленита  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  с окерманитом  $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$  при следующем соотношении компонентов смеси, мас. %:

- портландцемент	15,04 – 16,92
- указанный песок	31,6 – 32,84
- указанный щебень	43,2 – 43,53
- указанный шлак	2,14 – 2,26
- указанная добавка	0,14 – 0,15
- вода	6,00 – 6,18.

Используемая химическая добавка является высокоэффективной добавкой пластифицирующего и реакционно-активного эффекта действия. Присутствие в составе добавки электролита, представленного тиосульфатом натрия,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ , значительно усиливает гидратационные процессы трех-кальциевого силиката, оказывая положительное влияние на повышение прочности на сжатие в раннем возрасте и параллельно с указанными эффектами компоненты добавки, представленные поликарбоксилатным полимером, на основе ангидрида малеиновой кислоты вступают в химическое взаимодействие с компонентом добавки, представленным высокомолекулярным соединением на основе калиевой соли высшей жирной кислоты по следующей реакции:



образуя сложный поликарбоксилатный полимер с более разветвленной полимерной цепью, оказывающей армирующее действие на формирующуюся структуру бетона на молекулярном уровне, обеспечивая повышение прочности на растяжение при изгибе твердеющего бетона в раннем возрасте.

Присутствие в составе добавки нанодисперсий гидроксида кремния оказывает положительное влияние на процессы твердения, усиливая процессы гидратации основных минералов портландцемента, а также нанодисперсии диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  вступают в реакции синтеза с образовавшимися гидросиликатами кальция, например тоберморитоподобными, типа  $\text{CSH(I)}$ ,  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ , образующимися в раннем возрасте, на первой стадии твердения бетона и с портландитом, образующимся в процессе гидратации трехкальциевого силиката,  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ .

В результате указанного химического взаимодействия (синтеза) происходит образование низкоосновных гидросиликатов, которые кристаллизуются в виде удлиненных волокон, оказывая положительное влияние на показатели прочности на растяжение при изгибе затвердевшего бетона.

Взаимодействие портландита с диоксидом кремния положительно влияет на повышение плотности бетона и его устойчивости относительно внешнего негативного воздействия и его водонепроницаемости.

Тонкомолотый доменный шлак металлургического производства в высокорекреационной твердеющей системе активно проявляет гидратационную способность, образуя кальций-магниевого гидросиликаты, которые оказывают положительное влияние на уплотнение формирующейся структуры бетона, на повышение прочности на сжатие, особенно в проектном возрасте, и в большей степени на повышение прочности на растяжение при изгибе.

Все вышесказанное оказывает положительное влияние на создание высокопрочного бетона, отличающегося повышенной прочностью на растяжение при изгибе в раннем и проектном возрасте, также формированием максимально плотной структуры, обладающей повышенной водонепроницаемостью.

На дату подачи заявки, по мнению авторов и заявителя, заявленная сырьевая смесь для высокопрочного бетона не известна и данное техническое решение обладает "мировой новизной".

Заявляемая совокупность существенных признаков проявляет новое свойство, при совместном использовании поликарбоксилатного полимера, высокомолекулярного соединения, электролита и нанодисперсий диоксида кремния, достигается сверхсуммарный эффект, который заключается в получении высокопрочного бетона, отличающегося повышенной прочностью на растяжение при изгибе. Новый состав химической добавки обеспечивает в раннем возрасте, начиная с 3-х суток, образование новых полимерных соединений, отличающихся разветвленной структурой оказывающей микроармирование формирующейся структуры бетона на молекулярном уровне, что и способствует повышению прочности на растяжение при изгибе, начиная с раннего возраста. Присутствие в составе добавки электролита обеспечивает высокую степень гидратации компонентов бетонной смеси, что оказывает положительное влияние на рост прочности на сжатие в раннем и проектном возрасте, на формирование новых контактов в твердеющем бетонном камне и способствует уплотнению формирующейся структуры бетона, что и обеспечивает повышение его водонепроницаемости. Нанодисперсии диоксида кремния, входящие в состав до-

бавки и вступающие в реакции синтеза с образовавшимися комплексными гидратными соединениями, обеспечивают образования низкоосновных гидросиликатов, кристаллизирующихся в виде удлиненных волокон и отличающихся повышенной прочностью, что оказывает положительное влияние на повышение прочности на растяжение при изгибе в проектном возрасте.

Смесь, включающая портландцемент, песок с модулем крупности  $M_k=2,6$ , щебень гранитный фракции 5-20 мм, химическую добавку, представленную водным раствором с плотностью  $\rho=1,041 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=8,0$ , состоящую из водного раствора поликарбокси-латного полимера, представленного ангидридом малеиновой кислоты с плотностью  $\rho=1,032 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=6,5$ , водного раствора высокомолекулярного соединения на основе калиевых солей высших жирных кислот с плотностью  $\rho=1,07 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=9,0$ , нанодисперсии диоксида кремния, используемых в виде водного раствора золя гидроксида кремния  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  с плотностью  $\rho=1,021 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=4,0$  и водного раствора электролита, представленного тиосульфатом натрия,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  с плотностью  $\rho=1,036 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=8,5$ , при дополнительном использовании тонкомолотого доменного шлака с величиной удельной поверхности  $S_{\text{уд}}=450 \text{ м}^2/\text{кг}$ , представленным твердым раствором геленита  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  с окерманитом  $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ , обеспечивает получение высокопрочного бетона с повышенной прочностью на растяжение при изгибе в раннем возрасте (7 суток) и проектном возрасте (28 суток), а также повышение плотности затвердевшего бетона и, как следствие, повышение его водонепроницаемости.

По мнению заявителя и авторов, заявляемое изобретение соответствует критерию охраноспособности-изобретательский уровень.

Заявляемое изобретение промышленно применимо и может быть использовано для изготовления изделий в промышленном и гражданском строительстве.

Пример конкретного выполнения.

Готовят сырьевую смесь следующим образом:

1. Приготовление химической добавки с плотностью  $\rho=1,041 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=8,0$ .

1.1. Дозируют водный раствор поликарбосилатного полимера, представленного ангидридом малеиновой кислоты с плотностью  $\rho=1,032 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=6,5$ .

1.2. Дозируют водный раствор высокомолекулярного соединения на основе калиевой соли высшей жирной кислоты с плотностью  $\rho=1,07 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=9,0$ .

1.3. Дозируют нанодисперсии диоксида кремния, представленные в виде водного раствора золя гидроксида кремния  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  с плотностью  $\rho=1,021 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=4,0$ .

1.4. Дозируют водный раствор электролита тиосульфата натрия,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  с плотностью  $\rho=1,036 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=8,5$ .

1.5. Компоненты, отдозированные по п.1.1-1.4 транспортируют в лопастную мешалку, в которой все компоненты тщательно перемешивают до получения однородного раствора с плотностью  $\rho=1,041 \text{ г/см}^3$  и значением водородного показателя  $\text{pH}=8,0$ ; готовый раствор химической добавки транспортируют в накопительную емкость.

2. приготовление сырьевой смеси для высокопрочного бетона.

2.1. Дозируют портландцемент.

2.2. Дозируют песок с модулем крупности  $M_k=2,6$ .

2.3. Дозируют гранитный щебень фракции 5-20 мм.

2.4. Дозируют тонкомолотый доменный шлак с величиной удельной поверхности  $S_{\text{уд}}=450 \text{ м}^2/\text{кг}$ , представленный твердым раствором геленита  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  с окерманитом  $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ .

2.5. Дозируют воду.

2.6. Дозируют химическую добавку, приготовленную по п.1.5.

2.7. Отдозированную по п.2.6. химическую добавку транспортируют в отдозированную по п.2.5. воду.

2.8. Все компоненты, отдозированные по п.2.1-2.7. транспортируют в бетоносмеситель любой модификации, используемой на действующем предприятии, где осуществляют тщательное перемешивание всех компонентов до получения однородной, подвижной бетонной смеси, которую используют для изготовления изделий в промышленном и гражданском строительстве и из которой изготавливают образцы-кубы размером  $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$  для определения прочности на сжатие, образцы-призмы размером  $100 \times 100 \times 400 \text{ мм}$  для определения прочности на растяжение при изгибе, образцы-цилиндры диаметром 150 мм и высотой 150 мм для определения водонепроницаемости. После изготовления образцы хранили в камере нормального твердения ( $t=20 \pm 2^\circ\text{C}$ , влажность  $W \geq 95\%$ ). Определение прочности на сжатие и на растяжение при изгибе осуществлялось по ГОСТ 10180-2012 "Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам" Определение водонепроницаемости производили по ГОСТ 12730.5-2018 "Бетоны. Методы определения водонепроницаемости".

Составы сырьевой смеси для высокопрочного бетона представлены в табл. 1 и результаты испытаний высокопрочного бетона по исследуемым параметрам представлены в табл. 2, которые показали, что прочность на растяжение при изгибе в раннем возрасте (7 суток) бетона по изобретению на 47,0% превышает прочность на растяжение при изгибе бетона по прототипу и в проектном возрасте (28 суток) прочность на растяжение при изгибе бетона по изобретению превышает на 55% прочность на растяжение при изгибе высокопрочного бетона по прототипу; водонепроницаемость высокопрочного бетона по изобретению соответствует марке W 16, что на 60% превышает водонепроницаемость бетона по прототипу.

Таблица 1  
Состав сырьевой смеси для высокопрочного бетона

№ п.п	Состав сырьевой смеси для высокопрочного бетона, мас.%														
	Портландцемент	Песок		Щебень				Добавка «ДЭЯ»	Добавка по изобретению с $\rho=1,041 \text{ г/см}^3$ , $\text{pH}=8,0$						Вода
		По прототипу	По изобретению с $\text{Mk} = 2,6$	По прототипу	По изобретению гранитный фракции 5-20 мм	Кремнеземсодержащий компонент: золь кремниевой кислоты $\text{H}_2\text{SiO}_3$ , $\rho = 1,014 \text{ г/см}^3$ , $\text{pH}=5,0-6,0$	Тонкомолотый доменный металлургический шлак $\text{СуД} = 450 \text{ кг/т}$		Состав добавки, мас.%						
									Количество, мас. %	Поликарбоксилатный полимер с $\rho=1,032 \text{ г/см}^3$ , $\text{pH}=6,5$	Высокомолекулярное соединение с $\rho=1,07 \text{ г/см}^3$ , $\text{pH}=9,0$	Золь $\text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$ с $\rho=1,021 \text{ г/см}^3$ , $\text{pH}=4,0$	Электролит $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ с $\rho=1,036 \text{ г/см}^3$ , $\text{pH}=8,5$		
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1 прототип	46,2	21,1	-	21,1	-	0,455	-	0,455	-	-	-	-	-	10,69	
2	15,04	-	32,84	-	43,53	-	2,26	-	0,15	39,0	6,7	25,1	29,2	6,18	
3	15,04	-	32,84	-	43,53	-	2,26	-	0,15	39,9	6,41	24,79	28,9	6,18	
4	15,04	-	32,84	-	43,53	-	2,26	-	0,15	40,8	6,12	24,48	28,6	6,18	
5	15,98	-	32,22	-	43,365	-	2,26	-	0,145	39,0	6,7	25,1	29,2	6,09	
6	15,98	-	32,22	-	43,365	-	2,26	-	0,145	39,9	6,41	24,79	28,9	6,09	
7	15,98	-	32,22	-	43,365	-	2,26	-	0,145	40,8	6,12	24,48	28,6	6,09	
8	16,92	-	31,6	-	43,2	-	2,14	-	0,14	39,0	6,7	25,1	29,2	6,00	
9	16,92	-	31,6	-	43,2	-	2,14	-	0,14	39,9	6,41	24,79	28,9	6,00	
10	16,92	-	31,6	-	43,2	-	2,14	-	0,14	40,8	6,12	24,48	28,6	6,00	

Таблица 2  
Физико-механические характеристики высокопрочного бетона

№ пп	Прочность в возрасте 7 суток, МПа		Прочность в возрасте 28 суток, МПа		Марка по водонепроницаемости, W
	на сжатие	на растяжение при изгибе	на сжатие	на растяжение при изгибе	
1	31,8	3,8	44,8	5,6	10
2	42,1	5,58	58,7	8,6	16
3	42,1	5,58	58,7	8,6	16
4	42,1	5,58	58,7	8,6	16
5	42,8	5,6	58,9	8,7	16
6	42,8	5,6	58,9	8,7	16
7	42,8	5,6	58,9	8,7	16
8	42,3	5,57	58,5	8,65	16
9	42,3	5,57	58,5	8,65	16
10	42,3	5,57	58,5	8,65	16

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Высокопрочный бетон, полученный из смеси, включающей портландцемент, песок, щебень, добавку и воду, отличающийся тем, что содержит в качестве песка - песок с модулем крупности  $M_k=2,6$ , в качестве щебня - щебень гранитный фракции 5-20 мм, в качестве добавки содержит водный раствор с плотностью  $\rho=1,041$  г/см<sup>3</sup> и значением водородного показателя  $pH=8,0$ , состоящий из водного раствора поликарбоксилатного полимера, представленного ангидридом малеиновой кислоты с плотностью  $\rho=1,032$  г/см<sup>3</sup> и значением водородного показателя  $pH=6,5$ , водного раствора высокомолекулярного соединения на основе калиевой соли высшей жирной кислоты с плотностью  $\rho=1,07$  г/см<sup>3</sup> и значением водородного показателя  $pH=9,0$ , нанодисперсий диоксида кремния, используемых в виде водного раствора золя гидроксида кремния  $SiO_2 \cdot nH_2O$  с плотностью  $\rho=1,021$  г/см<sup>3</sup> и значением водородного показателя  $pH=4,0$ , и водного раствора электролита, представленного тиосульфатом натрия,  $Na_2S_2O_3$ , с плотностью  $\rho=1,036$  г/см<sup>3</sup> и значением водородного показателя  $pH=8,5$ , при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- указанный поликарбоксилатный полимер - 39,0-40,8;
- указанное высокомолекулярное соединение - 6,12-6,7;
- указанные нанодисперсии - 24,48-25,1;
- указанный электролит - 28,6-29,2,

дополнительно содержит тонкомолотый доменный шлак металлургического производства с величиной удельной поверхности  $S_{уд}=450$  м<sup>2</sup>/кг, представленный твердым раствором геленита  $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$  с окерманитом  $2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$  при следующем соотношении компонентов смеси, мас. %:

- портландцемент - 15,04-16,92;
- указанный песок - 31,6-32,84;
- указанный щебень - 43,2-43,53;
- указанный шлак - 2,14-2,26;
- указанная добавка - 0,14-0,15;
- вода - 6,00-6,18.

