Uzbek Journal of Physics

Vol.21(№6) 2019 PP.386-390

# ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ДЛЯ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СООРУЖЕНИЯХ КРЕПЛЕНИЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

**У.А. Ёкубов, О.В. Трунилина, Б.А. Аллаев, Ш.Э. Курбанбаев, С.З. Мирзаев**

Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз им.У.А.Арифова, 100125 Ташкент, ул. Дурмон йули, 33, Узбекистан, bahtiyor_74_74@mail.ru
(Получена 04.10.2019)

Қуёш батарея қурилмаларини ушлаб турувчи фундаментини юқори мустаҳкамликга эга сейсмик бардошли бетон ишлаб чиқаришда, бетон-цемент аралашмаларини қориштириш мақсадида 40 нм ўлчамдаги модификацияланган $SiO_2$ нанозарраларини ишлатган ҳолда табиий сувни комплексли фаоллаштириш технологияси ишлаб чиқилди. Пластификатор қўлланилмаган наноқўшимчани 3 мас.% концентрациясини ишлатилиши сиқишга бардошлигини оширишига олиб келиши аниқланди. Пластификатор қўлланилмаган эталонли намуналарни тажриба намуналари билан солиштирилганда букулувчанлиги 1.8 ва мустаҳкамлиги 20% га ошишига эришилганлигини кўрсатувчи комплексли фаоллаштиришнинг физик шартлари келтирилган.

Разработана технология комплексного активирования природной воды, модифицированной наночастицами $SiO_2$ размером 40 нм, с целью использования для затворения бетонно-цементной смеси при изготовлении сейсмостойкого высокопрочного бетона для фундамента опорных конструкций солнечных батарей. Обнаружено, что наибольшие значения прочности на сжатие получены при использовании концентрации нанодобавки в 3 мас.% без применения пластификаторов. Приведены физические условия комплексного активирования воды затворения, позволяющие достичь для испытанных образцов в сравнении с эталонным образцом увеличения прочности на изгиб в 1.8 раз и прочности на сжатие до 20%.

Concrete strength increasing technology for the solar panel base was developed using modified by 40 nm size $SiO_2$ nanoparticles nature water, exposed complex activation process. Highest values of compressive strength were obtained using a concentration of nano-additive in 3 wt.% without plasticizers. The physical conditions of complex activation of the shut-off water are given, which allow to achieve for the tested samples in comparison with the reference sample an increase in bending strength of 1.8 and compressive strength of up to 20%.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Работа узлов систем солнечной энергетики в течение всего периода эксплуатации осуществляется при воздействии целого комплекса внешних факторов, к которым относятся суточные и сезонные температурные градиенты, атмосферные осадки различной интенсивности, сейсмические колебания. Все эти проявления могут приводить к изменениям в структуре сложных лёссовых и песчаных, предгорных и равнинных грунтов Узбекистана. Для опорных конструкций в сооружениях креплений солнечных батарей к их аэродинамическому сопротивлению ветровому потоку и возникающему физическому эффекту парусности, предъявляются особенно высокие требования. В таких условиях повышенное внимание уделяется материалу фундамента, который должен соответствовать необходимости обладать сейсмической стойкостью, высокой прочностью, долговечностью [1]. Свойства бетонного раствора для его заливки,

прежде всего, должны удовлетворять условиям, связанным с высокими значениями прочности на сжатие и изгиб, и обеспечивать при этом сопротивление всем видам нагрузки с учетом особенностей грунта. Для этого в процессе приготовления бетонных смесей используются различные композиционные модифицирующие вещества, позволяющие конструировать важнейшие эксплуатационные свойства [2]. Кроме того, привлекаются комплексные методики активирования воды затворения для обеспечения упрочнения и сейсмостойкости итогового продукта [3]. В работе предложена новая технология повышения прочности бетона путем комплексного активирования модифицированной наночастицами $SiO_2$ воды затворения акустическим и электрическим полями.

## II. МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ ЦЕМЕНТНО-БЕТОННОЙ СМЕСИ НАНОЧАСТИЦАМИ $SiO_2$

Рост потребления в строительной отрасли наночастиц $SiO_2$ различных дисперсных форм в виде золей, гелей или нанопорошков стимулирует развитие наномодифицирования бетонов по всевозможным фазовым комбинациям – твердое или жидкое состояние, включая межфазные границы структурных составляющих цементно-бетонной смеси. Значительная химическая активность модифицирующих наночастиц обусловлена высокими значениями их удельной поверхности (от 100 до 1000 $м^2/г$), они способны действовать в качестве как центров кристаллизации, так и агентов, ускоряющих процессы гидратации, что позволяет существенно снизить расход нанодобавки. Кроме того, подобный нанонаполнитель способен эффективно уменьшать пористость итогового продукта. При этом нанокремнезем может быть природного или искусственного происхождения, полученный с помощью золь-гель технологии. Методы модификации цементно-бетонной смеси наночастицами, широко применяемые на практике, зависят от используемой концентрации. Как правило, при малых концентрациях, от 0.01% до 1–5% от количества цемента, применяется добавление в воду затворения коллоидных водных растворов наночастиц – золей. При более значимых концентрациях используется добавление нанокремнезема непосредственно в цементную смесь при взаимном перемешивании. При добавлении наночастиц в микродозах важно достичь равномерного распределения нанодобавки в несущей среде, каковой является объем цементной смеси. Для этого служит дополнительная непрерывная фаза, жидкая или дисперсная. Наночастицы диоксида кремния проявляют свою активность при концентрациях на один-два порядка меньше, чем необходимые концентрации микрокремнезема, применяемые для повышения прочности на сжатие на сопоставимые величины. Это происходит потому, что при размерах от 10 до 100 нм они имеют удельную поверхность не менее 180 $м^2/г$, что на порядок выше, чем у микрокремнезема [4]. Появление наноразмерных центров направленной кристаллизации способствует развитию процесса динамического дисперсного самоармирования и структурирования межфазных границ, что приводит к упрочнению и повышению трещиностойкости бетонно-цементного камня [5]. При добавлении золя нанокремнезема как нанодобавки в воду затворения возникают условия для создания дополнительных структурных образований в цементо-бетонной смеси, которые в процессе созревания бетона, реагируя с $Ca(OH)_2$, образуют гидросиликат кальция, что способствует уменьшению пористости путем заполнения образующихся пор [6].

Экспериментальные исследования влияния нанокремнезема на прочностные свойства бетона показали, что увеличения прочности на сжатие до 20% можно достичь, отказавшись от дорогостоящего пластификатора, дополнительно применяя разработанный метод комплексной активации воды затворения акустическим полем и электрохимической обработкой.

## III. ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЦЕМЕНТНО-БЕТОННОЙ СМЕСИ

При проведении испытаний в качестве модифицирующей добавки применяли наноразмерный (40 нм) диоксид кремния, добавляемый в воду затворения в количестве от 3 мас.% до 10 мас.%. В качестве воды затворения использовали обычную водопроводную воду, модифицированную наноразмерной добавкой и подвергнутую процессу комплексной активации акустическим полем (частота 22 кГц, мощность 4.0 Вт/см$^2$) и электрохимической обработкой (напряжение 15 В, плотность тока 4.5 мА/см$^2$, стальные электроды) в течение 45 мин. Для приготовления бетонной смеси использовали портландцемент марки М-500 Д0 по ГОСТ 31108-2003. Образец сравнения изготавливали аналогично, но без модификации и активации воды затворения. Испытания проводили на изготовленных из бетонной смеси образцах размером 40×40×160 мм$^3$ на второй, седьмой и 28-ой день после их заливки по стандартным методикам («Бетоны. Методы для определения прочности по контрольным образцам (ГОСТ 10180-90))». Результаты приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Прочность на сжатие бетонно-цементных образцов на активированной воде затворения с добавкой наночастиц диоксида кремния.: 3 мас.% (ПЦ-1), 6 мас.% (ПЦ-2) и 10 мас.% (ПЦ-3).

| № | Условное обозначение образцов | Прочность при сжатии, MPa (kgf/cm$^2$) в возрасте, дней (d) | | | Марка по НД |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 2 d | 7 d | 28 d | |
| 1 | ПЦ- Д0 | 26.46 (270) | 43,71 (436) | 50,57 (516) | 500 |
| 2 | ПЦ-1 | 30,38 (310) | 49,88 (509) | 60,86 (621) | 600 |
| 3 | ПЦ-2 | 24,50 (250) | 49,88 (509) | 59,88 (611) | 600 |
| 4 | ПЦ-3 | 24,50 (250) | 49,88 (509) | 59,09 (603) | 600 |

НД – нормативные документы.

Значение прочности при сжатии образца, приготовленного с использованием воды затворения с содержанием наночастиц диоксида кремния 3 мас.% (ПЦ-1) на (15–20)% превышает значение прочности при сжатии контрольного образца ПЦ-Д0 как в начальные сроки твердения (2 и 7 сут.), так и в возрасте 28 суток. Наблюдается несколько замедленное твердение образцов ПЦ-2 и ПЦ-3 с содержанием в воде затворения 6 мас.% и 10 мас.% наночастиц диоксида кремния в начальные сроки твердения (до 2 сут.). В возрасте 7 и 28 суток твердения все образцы с добавкой наночастиц диоксида кремния обладают прочностью,

превосходящей значение прочности при сжатии контрольного образца ПЦ-Д0 марки 500. Образцы, содержащие в воде затворения добавку наночастиц диоксида кремния в количестве 3%, 6% и 10%, в возрасте 28 суток характеризуются значениями прочности при сжатии, позволяющими согласно требованиям ГОСТ 10178-85 отнести их к гарантированной марке 600. Наиболее стабильными свойствами и наиболее высоким значением прочности на сжатие обладает образец ПЦ-1, изготовленный с использованием активированной воды затворения, содержащей 3 мас.% наночастиц диоксида кремния.

Кроме того, были проведены испытания прочности на изгиб данного образца в сравнении с контрольным образцом. Результаты приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Физические параметры бетонно-цементных образцов на активированной воде затворения с добавкой 3 мас.% наночастиц диоксида кремния

| № | Эксплуатационные параметры | Разработанный состав | Образец сравнения |
|---|---|---|---|
| 1 | Прочность на сжатие, МПа (кгс/см$^2$) | 60.9, (621) | 50.6, (516) |
| 2 | Прочность на изгиб, МПа | 2.80 | 1.54 |

Образец, изготовленный по разработанной технологии на активированной воде затворения с добавлением 3 мас.% нанокремнезема, характеризуется значениями прочности на сжатие 621 кгс/см$^2$, что согласно ГОСТ 10178-85 классифицирует его маркой 600, в то время как образец сравнения имеет марку 500, что указывает на возможность повышения марки бетона применением активированной по разработанной технологии воды затворения и добавлением нанокремнезема без использования дорогостоящих пластификаторов. При этом прочность на сжатие увеличивается на 20.3%, а прочность на изгиб в 1.8 раз. Из результатов видно, что в процессе испытаний бетонных смесей наиболее эффективно зарекомендовал себя комбинированный метод активации модифицированной наночастицами $SiO_2$ воды затворения, сочетающий ультразвуковой и электрохимический способы воздействия**.**

## IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный новый технологический подход, основанный на комплексной одновременной активации акустическим полем и электрохимическим воздействием модифицированной нанокремнеземом воды, используемой для затворения цементно-бетонной смеси, позволяет эффективно воздействовать на прочностные характеристики итогового материала, который приобретает заранее заданные свойства, необходимые в практическом применении [7, 8]. Благодаря синергетическим процессам в растворителе значительно повышается эффективность эксплуатационных параметров, выраженных в способности не только к упрочняющим свойствам при сжатии и при изгибе, но и к улучшению стабилизирующих и гидратируюших характеристик бетонно-цементной смеси [9]. Это свидетельствует о перспективности разработанной технологии для изготовления бетонных сооружений повышенной прочности и сейсмостойкости, что особенно актуально для фундаментов опорных конструкций солнечной энергетики в сейсмических регионах.

**ЛИТЕРАТУРА**


1. Б.М. Абдурахманов, Х.Б. Ашуров, М.Ш. Курбанов. Химико-металлургический передел кремнезема в моносилановое сырье для солнечной энергетики и наноэлектроники (Ташкент, Navroz, 2018).
2. В.Г. Батраков. Модифицированные бетоны (Москва, Стройиздат, 1998).
3. В.М. Бахир. Электрохимическая активация. Изобретения, техника, технология (Москва, Делфин Аква, 2014).
4. В.В. Потапов, А.В. Туманов, М.С. Закуражнов, А.А. Сердан, А.Н. Кашутин, К.С. Шалаев, Физика и химия стекла **39**(4), 611 (2013).
5. Патент RU 2599739.
6. Д.С. Горев, В.В. Потапов, Т.С. Горева, Н.Н. Портнягин, Современные наукоемкие технологии № 7, 26 (2018).
7. S.Z. Mirzaev, S.Q. Telyaev, Узбек. физич. журн. **14**(5-6), 322 (2012).
8. S.Z. Mirzaev, U.A. Yokubov, S.K. Telyaev. The 7-th CAS-TWAS Symposium on Green Technology (Beijing, China, p.10222, 25 July, 2018).
9. Б.М. Хрусталев, В.Н. Яглов, Я.Н. Ковалев, В.Н. Романюк, Г.А. Бурак, А.А. Меженцев, Н.С. Гуриненко, Наука и техника № 6, с 3 (2015).