

*Печёнкин Даниил Игоревич, студент*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,*

*г. Уфа, Россия*

*Email: [ppkeyr@mail.ru](mailto:ppkeyr@mail.ru)*

## УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ БЕТОНА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Аннотация:** Бетон используется при строительстве большинства зданий и сооружений, а также нашел широкий спектр применения при строительстве и благоустройстве дорог.

**Ключевые слова:** высолы, микрокремнезем, гидроксид кальция, гидросиликаты кальция.

**Abstract:** Concrete is used in the construction of most buildings and structures, and has also found a wide range of applications in the construction and improvement of roads.

**Keywords:** efflorescences, microsilicon, calcium hydroxide, calcium hydrosilicates.

### 1. Введение

Использование бетона в качестве дорожного покрытия в местах с активными механическими и динамическими нагрузками, агрессивным воздействием окружающей среды и чередованием замораживания и оттаивания привело к необходимости улучшения некоторых его свойств [1, с. 27].

Одним из основных таких атрибутов является:

1) Сила. Непрерывное воздействие активной нагрузки на бетонное покрытие приведет к внутреннему напряжению, что значительно сократит срок

службы.

2) Капиллярно-пористая структура изделий на основе портландцемента способствует интенсивной миграции воды, а легкорастворимые химические соединения цемента растворяются и выводятся на поверхность. Результатом является образование белых отложений на поверхности и внутри материала.

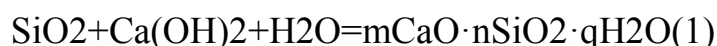
Высолы не только разрушают внешний вид, но и из-за многократной перекристаллизации соли и изменения ее объема свойства материала также будут вызывать значительные изменения и его сильное разрушение. Происходит нарушение внутренней структуры материала, его целостность снижается, образование трещин ускоряется, а его прочность снижается [2, с. 320].

Разработка методов повышения прочности и снижения засоленности строительных изделий, в том числе дорожных покрытий из тяжелого бетона, является очень актуальной задачей, поскольку позволяет не только улучшить эксплуатационные характеристики изделия, но и значительно улучшить

## 2. Модифицированный кремнеземом

Анализ существующих методов антигенерализации показывает, что большинство методов неприемлемо для бетонного покрытия дорог и тротуаров. В связи с этим оптимальным решением является оптимизация рецептуры путем введения активных добавок.

В качестве ультрадисперсной добавки к отходам производства кремнезем обладает высокой удельной поверхностью (по сравнению с цементом удельная поверхность составляет 20 000 см<sup>2</sup>/г). Положительный эффект в цементной композиции объясняется реакцией пуццоланизации, которая приводит к химическому связыванию гидроксида кальция Ca(OH)<sub>2</sub>, высвобождая дополнительные кристаллы гидратированного силиката кальция, составляющие цементный гель (схема 1).



Для исследования образец был изготовлен из жесткой цементно-песчаной смеси высотой 60 мм. Заполните цилиндрическую форму диаметром 70 мм CPS, а затем прижмите образец с определенным усилием 20 МПа. После этого образец

извлекается и накрывается влажной тканью. Механическое испытание было проведено на 7-й день. Для теста на ускоренное засоление образец помещают в емкость, содержащую дистиллированную воду, уровень поддерживают на уровне 1/3 высоты цилиндра и оставляют для продувки воздухом на 6 дней.

### 3. Результаты и обсуждение

На поверхности контрольного образца образовалось большое количество гидроксида кальция (рисунок 1).

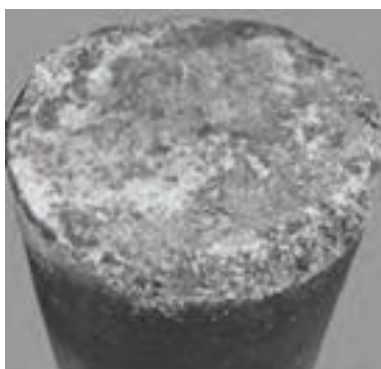


Рис1. Внешний вид контрольного образца после теста на ускоренное засоление

Кристаллы гидроксида кальция обладают меньшей прочностью, чем гидратированный силикат кальция C-S-H, что определяет более низкие механические параметры контрольного образца, изготовленного без кремнезема (таблица 1).

Таблица 1. Индекс прочности при сжатии

№ состава	Образец	$R_{сж, сред}$ МПа	Увеличение в сравнении с контрольным образцом, %
1	Контрольный	12,83	-
2	Опытный с МК - 85 (содержание МК 8 % от массы портландцемента) с пластификатором «Sika»	23,1	80
3	Опытный с МК - 85 (содержание МК 8 % от массы портландцемента) без пластификатора	16,46	28

По результатам работы можно наблюдать, что введение микрокремнезема МК-85 в количестве 8% от массы портландцемента с пластификатором повышает прочность на сжатие на 80%. Это происходит из-за связывания свободного гидроксида кальция со слоистыми кристаллами низкой прочности и высокой растворимости в воде с образованием гидратированного силиката кальция, обладающего большей прочностью и в десять раз большей растворимостью, чем гидроксид кальция. Кроме того, введение микрокремния позволяет уменьшить пористость за счет дополнительного объема гидратированного силиката кальция, повышающего плотность материала, тем самым предотвращая образование сточных вод (рисунок 2).

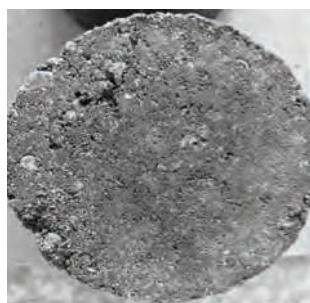


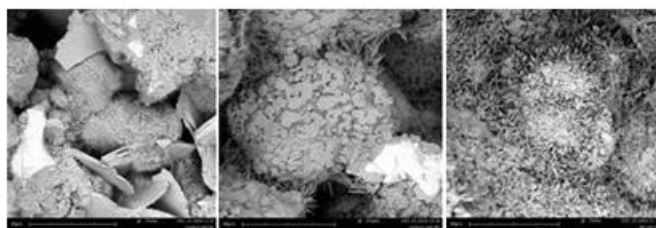
Рис2. После теста на ускоренное посаливание, появление образцов, содержащих микрокремний МК-85 и пластификатор

Добавление пластификаторов в цементно-песчаную смесь направлено на снижение водопотребления, повышение текучести смеси и улучшение уплотнения смеси в процессе прессования. Из-за малого размера частиц микрокремния по сравнению с частицами цемента и характеристик структуры уплотненного цементного камня был подготовлен пилотный образец без пластификатора. Однако отсутствие пластификаторов в композиции повлияет на пористость и плотность материала, тем самым влияя на прочность при сжатии (табл. 1) и устойчивость к солености и щелочам (рисунок 3).



Рис 3. Внешний вид образцов композиций с микрокремнеземом МК-85 и без пластификаторов

После выдерживания образца в условиях теста на ускоренное засоление анализ микроструктуры немодифицированного бетона показал высокую пористость (рисунок 4а). Структура также демонстрирует высокую эффективность соли на поверхности водного кальция (рисунок 4б). Смешивание микрокремния с водой в составе цементного теста значительно изменяет микроструктуру материала, который образует гидрат кальция с иглообразной структурой (рисунок 4в).



а) б) в)

Рис 4. Микроструктура образцов с поверхностно-активными веществами на поверхности опухоли: а, б - контрольный образец; в - образец с добавлением микрокремния МК-85 в сочетании с пластификаторами

Добавление микрокремния МК-85 в сочетании с пластификатором способствует образованию гидрата кальция с низкой щелочностью. Он характеризуется экзотермическим эффектом на линии DSC (рисунок 5). При температуре  $930^{\circ}\text{C}$  это соответствует кристаллизации безводного силиката кальция.

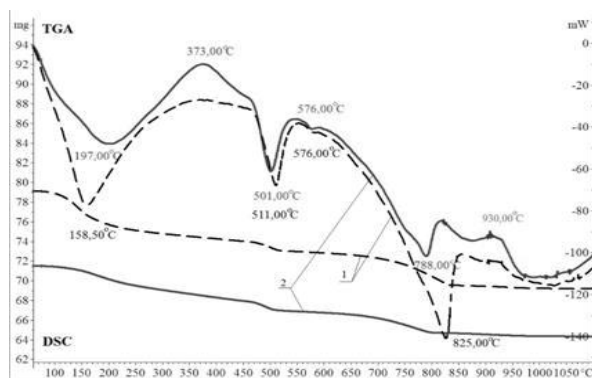


Рис 5. Дифференциальная сканирующая калориметрия образцов после посола: 1- контрольный образец; 2-образец с микрокремнием МК-85 в сочетании с пластификаторами

На линии TGA образцы, модифицированные микрокремнием, имеют меньшее количество связующей воды, которая удаляется как при низких, так и при высоких температурах из-за постепенного обезвоживания. Эндотермический эффект в диапазоне температур 700-850°C подтверждает образование гидрата кальция различной щелочности. В этом случае удаление кристаллической воды из контрольного образца происходит при температуре 825 °C, и происходит при температуре 788°C в образце, содержащем диоксид кремния.

#### 4. Заключение

Эта работа доказывает, что использование микрокремния в качестве модифицированной добавки позволяет получать бетон с высокоэффективными свойствами: он обладает высокой прочностью на сжатие, долговечностью, уменьшает пористость, повышает водостойкость и уменьшает засоление поверхности изделия. В то же время микрокремний образует структуру с силикатом кальция в воде. По сравнению с контрольным составом C/S силиката кальция в воде относительно низкое, а объем кристаллов C-S-H в цементном камне значительно больше, что дополнительно уплотняет структуру цементного камня. Плотная структура цементного камня предотвращает миграцию растворимых компонентов цементного камня в вибрационном продукте, главным образом гидроксида кальция, который более тесно сочетается с микрокремнием с высокой удельной поверхностью для ингибирования

образования накипи. Отсутствие пластификаторов в составе прессованной смеси оказывает негативное влияние, поскольку ухудшается сжимаемость продукта, в то время как пористость цементного камня увеличивается.

### **Библиографический список:**

1. Асаул А.Н., Казаков Ю.Н., Пасяда Н.И., Денисова И.В. Теория и практика малоэтажного жилищного строительства в России. СПб.: «Гуманистика», 2005. — 563 с.

2. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов. 2 - е издание исправленное и дополненное. АО «НИЦ «Строительство». / Минстрой РФ. - М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. - М., 1992. Дата актуализации: 01.01.2019.