

Теплопотери через «мостики холода» в системах теплоизоляции – это, в первую очередь, очаги интенсивного старения утеплителя за счет накопления влаги, образования биологических веществ и, как следствие, преждевременное разрушение системы.

#### Список литературы

1. Корниенко С.В. Проблемы теплозащиты наружных стен современных зданий // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 1(25). URL: [http://vestnik.vgasuru/attachments/Kornienko-2013\\_1\(25\)\\_1.pdf](http://vestnik.vgasuru/attachments/Kornienko-2013_1(25)_1.pdf)
2. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №5. С. 389-394.
3. Гагарин В.Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №5. С.297-305.
4. Малявина Е.Г. Строительная теплофизика и проблемы утепления современных зданий // АВОК. 2009. №1.
5. Козлов В.В. Исследование теплотехнических свойств теплоизоляционного фасада с тонким штукатурным слоем в зоне расположения дюбеля // Academia. Архитектура и строительство. 2009. №5. С. 346-355.
6. Исследование теплоизоляционных материалов на основе полистирола / М.М. Полянский, С.А. Пименов, М.П. Кочергина, Н.Н. Фомина // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2017. С. 168-172.
7. Сравнение технико-экономической эффективности вариантов утепления фасадов / И.Л. Павлова, Р.О. Куликов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2015. С. 210-212.
8. Козлов Н.А. Способы утепления фасадов домов / Н.А. Козлов, Т.М. Лищенко, А.Ю. Касатов // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе. 2016. – С. 182-184.
9. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. М.: ФГУП ЦПП, 2003.

УДК 691.544

### ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРОЦЕССЫ КАРБОНИЗАЦИИ СИЛИКАТНОГО БЕТОНА

*Левчук Н.В., Василевская М.В.*

*Брестский государственный технический университет, Беларусь, Брест*

*В силикатном бетоне применяют известково-кремнеземистое вяжущее. Прочность известково-кремнеземистого вяжущего зависит от активности извести, соотношения  $CaO/SiO_2$ , тонкости измельчения песка и параметров автоклавной обработки. Оптимальным будет такое соотношение  $CaO/SiO_2$  и такая тонкость помола песка, при которой весь оксид кальция  $CaO$  будет связана в низкоосновные гидросиликаты кальция. Известково-песчаные изделия при длительном нахождении в воздушной среде подвергаются воздействию углекислого газа воздуха. Процесс углекислотной коррозии бетона можно исследовать по изменению концентрации  $Ca^{2+}$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ , pH в водных вытяжках из различных слоев газосиликатных блоков.*

*Ключевые слова: Силикатный бетон, известково-кремнеземистое вяжущее, оксид кальция, гидросиликат кальция, карбонизация, уголекислота*

## THE IMPACT OF ENVIRONMENTAL INFLUENCES ON THE PROCESSES OF CARBONATION OF CALCIUM SILICATE CONCRETE

*Levchuk N. V., Vasilevskaya M. V.  
Brest State Technical University Belarus, Brest*

*In silicate concrete can be used lime-silica binder. The strength of the lime-silica binder depends on the activity of lime, the ratio of CaO/SiO<sub>2</sub>, fine sand grinding and autoclave processing parameters. Optimal is a ratio of CaO/SiO<sub>2</sub> and the fineness of the sand, when the whole calcium oxide CaO will be connected in the low-basic hydrosilicates of calcium. Lime-sand products are exposed to carbon dioxide of air at long stay in the air. The process of carbon dioxide corrosion of concrete can be investigated by changing the concentration of Ca<sup>2+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH in aqueous extracts from different layers of silicate blocks.*

*Keywords: Silicate concrete, lime-silica binder, calcium oxide, calcium hydrosilicate, carbonation, carbon dioxide*

В силикатном бетоне применяют известково-кремнеземистое вяжущее, в состав которого входят воздушная известь и тонкомолотый кварцевый песок. Прочность известково-кремнеземистого вяжущего зависит от активности извести, соотношения CaO/SiO<sub>2</sub>, тонкости измельчения песка и параметров автоклавной обработки. К этим параметрам относятся температура, давления насыщенного пара, длительность автоклавного твердения. В процессе автоклавизации между всеми компонентами происходят химические реакции. Заполнитель (кварцевый песок) участвует в синтезе новообразований, подвергаясь изменениям на глубину до 15 мкм.

В зависимости от вида извести и условий, в которых происходит ее твердение, различают три типа твердения: карбонатное, гидратное и гидросиликатное. Большой интерес представляет гидросиликатное твердение. Прочность автоклавных изделий формируется в результате взаимодействия двух процессов:

- структурообразования, обусловленного синтезом гидросиликатов кальция;
- деструктивного, обусловленного внутренними напряжениями.

Оптимальным будет такое соотношение CaO/SiO<sub>2</sub> и такая тонкость помола песка, при которой весь оксид кальция CaO будет связана в низкоосновные гидросиликаты кальция. При взаимодействии кварца с известью в реакцию в первую очередь вступают гидроксильные ионы, образующиеся при растворении Ca(OH)<sub>2</sub> в воде. Они гидратируют молекулы SiO<sub>2</sub>, которые в последующем взаимодействуют с ионами кальция с образованием гидросиликатов кальция. Сначала при наличии насыщенного раствора гидроксида кальция при 174,5-200°C образуется двухосновный гидросиликат кальция состава (1,8-2,4)CaO·SiO<sub>2</sub>·(1-1,5)H<sub>2</sub>O. Далее при увеличении температуры и увеличении длительности тепловлажностной обработки увеличивается растворимость кремнезема и возникают условия для образования менее основных гидросиликатов кальция (0,8-1,5)CaO·SiO<sub>2</sub>·(0,5-2)H<sub>2</sub>O. Еще более длительная тепловая обработка способствует образованию

тоберморита ( $5\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). При этом продолжительность изотермической выдержки под давлением пара 0,9-1,6 МПа составляет от 4 до 8 часов [1].

Образование различных форм гидросиликатов обуславливает следующие прочностные характеристики известково-песчаных изделий:

– гидросиликаты кальция ( $(0,8-1,5)\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot (0,5-2)\text{H}_2\text{O}$ ) обеспечивают получение бетонов высокой прочности

– тоберморит и особенно гидросиликат ( $(1,8-2,4)\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot (1-1,5)\text{H}_2\text{O}$ ) характеризуется менее выраженными вяжущими свойствами;

– с другой стороны, гидросиликаты состава ( $(0,8-1,5)\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot (0,5-2)\text{H}_2\text{O}$ ) и тоберморит, отличаются пониженной морозостойкостью и повышенной склонностью к усадке при высыхании;

– наличие в бетонах гидросиликатов состава ( $(1,8-2,4)\text{CaO}\cdot \text{SiO}_2\cdot (1-1,5)\text{H}_2\text{O}$ ) способствует повышению морозостойкости и стойкости против действия углекислоты воздуха.

При подготовке известково-кремнеземистого вяжущего необходимо учитывать в технологическом процессе количество оксида кальция  $\text{CaO}$ , расходуемого на образование алюминатов кальция ( $\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) [2].

Известково-песчаные изделия, полученные обработкой пара в автоклавах, при длительном нахождении в воздушной среде подвергаются воздействию углекислого газа воздуха. При этом вначале карбонизируется несвязанный гидроксид кальция (если он остался после автоклавной обработки), а затем и оксид кальция, входящий в состав гидросиликатов. Одновременно происходит разложение гидросиликатов с выделением кремнезема. Прочность изделий при этом либо не изменяется, либо даже повышается.

Кроме того, при изготовлении газосиликатных бетонов необходимо учитывать влияние газообразователя как на химические процессы, так и на прочностные характеристики изделий, в конечном итоге. В качестве газообразователя применяют алюминиевую пудру, из которой при добавлении ПАВ готовится алюминиевая суспензия.

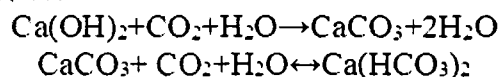
Строительные материалы, и в первую очередь их поверхности, в течение длительной эксплуатации разрушаются в основном в результате двух видов воздействия: коррозионного, связанного с влиянием на материал внешней, агрессивной среды, и эрозийного, вызываемого механическим воздействием.

При обследовании объекта на многочисленных участках поверхности газосиликатных блоков очевидны пятна, подтеки, разводы желто-серого цвета, что может характеризовать влияние внешней агрессивной среды на разрушение строительного материала или процесс химической коррозии. Объект расположен в радиусе 30 метров от действующей ТЭЦ. При одновременном выбросе из трубы ТЭЦ газопаровоздушных смесей и выпадении атмосферных осадков создаются условия для углекислой, а также сульфатной коррозии [3].

Практика эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций показывает, что воды, содержащие агрессивную углекислоту в количестве более 300 мг/л сильно агрессивны. При исследовании влияния углекислотной коррозии следует учитывать следующие теоретические положения:

– процесс углекислотной коррозии бетона в не напорных конструкциях идет на поверхности раздела фаз «раствор  $\text{CO}_2$  – бетон», т.е. является гетерогенным процессом;

– механизм углекислотной коррозии цементного камня бетона определяется двумя взаимосвязанными процессами: образованием карбоната кальция и растворением его по реакциям:



Коррозия цементного камня, также как и в газосиликатном бетоне, в среде, содержащей агрессивную углекислоту, идет с разложением всех минералов портландцементного клинкера и их гидратных соединений. В обратимой реакции следует различать углекислоту связанную в гидрокарбонате  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Появление в растворе «сверхравновесного» количества углекислоты вызывает растворение новых порций  $\text{CaCO}_3$ . Эта избыточная кислота называется агрессивной. Углекислотная коррозия действует на бетон тем слабее, чем больше в водном растворе гидрокарбонатов кальция и магния.

Таким образом, процесс углекислотной коррозии бетона можно исследовать по изменению концентрации  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , pH в водных вытяжках из различных слоев газосиликатных блоков.

Для исследования содержания выше перечисленных показателей, из образцов, были получены вытяжки, приготовленные следующим образом. Из газосиликатного блока были вырезаны фрагменты внешней и внутренней части. Эти фрагменты измельчались в фарфоровой ступке, после чего, навеска массой 1 г помещалась в колбу с объемом дистиллированной воды равным 100 мл. Дальнейшие исследования вытяжек из образцов проводились по стандартным методикам (ГОСТ-2374-02 «Вода питьевая», ГОСТ 31957-2012).

Углекислота может присутствовать в растворе в виде трех форм [2,3]: 1) свободная углекислота, которая образуется при взаимодействии  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ; 2) углекислота в виде  $\text{HCO}_3^-$ ; 3) углекислота в виде  $\text{CO}_3^{2-}$ .

Все три формы могут переходить из одной в другую в зависимости от pH среды.

Результаты испытаний представлены в таблицах 1– 3.

Таблица 1 – Результаты испытания контрольного образца газосиликатного блока, предоставленного заводом-изготовителем

Показатели	Внешняя сторона	Внутренняя часть
$\text{Ca}^{2+}/\text{CaO}$ г/л	0,024	0,020
$\text{OH}^-$ г/л	0,041	0,048
$\text{CO}_3^{2-}$ г/л	0,013	0,024
$\text{HCO}_3^-$ г/л	0,036	0,034
pH	9,99	9,91

Таблица 2 – Результаты испытания образцов газосиликатных блоков, взятых из участка № 1 объекта

Показатели	Внешняя сторона	Внутренняя сторона
Ca <sup>2+</sup> /CaO г/л	0,022	0,018
ОН <sup>-</sup> г/л	0,032	0,047
СО <sub>3</sub> <sup>2-</sup> г/л	–	0,108
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> г/л	0,109	0,061
рН	8,64	9,47

Таблица 3 – Результаты испытания образцов газосиликатных блоков, взятых из участка № 2 объекта

Показатели	Внешняя сторона	Внутренняя сторона
Ca <sup>2+</sup> /CaO г/л	0,026	0,019
ОН <sup>-</sup> г/л	0,036	0,043
СО <sub>3</sub> <sup>2-</sup> г/л	–	0,054
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup> г/л	0,128	0,098
рН	8,64	9,48

По результатам химических анализов можно сделать следующие выводы:

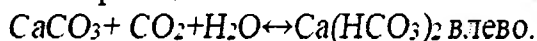
1) Практически у всех представленных образцов, на основании проведенных исследований вытяжек, проявляются общие тенденции, характеризующие влияние внешней среды на процессы коррозии материала.

2) Сравнительный анализ данных исследований образцов, взятых с различных участков объекта и контрольного образца, показывает увеличение значения рН во внутренних частях блоков, что можно объяснить более высоким содержанием силикатов кальция и Са(ОН)<sub>2</sub>; снижение значения рН может быть вызвано попаданием агрессивных атмосферных осадков с низкими значениями рН на поверхность материала.

3) Увеличение значения рН по глубине материала подтверждается и увеличением щелочности.

4) Отсутствие карбонат ионов в вытяжках образцов со значениями рН ниже, чем 8,8 указывает на то, что процесс образования гидрокарбонатов кальция не завершен и при увеличении концентрации ионов кальция будет протекать реакция образования гидрокарбонатов кальция, т.е. процесс коррозии будет продолжаться. Такой процесс будет инициировать повышенное содержание остаточной влаги, выпадение атмосферных осадков.

5) Более высокое содержание ионов кальция и гидрокарбонат ионов во внешнем слое указывает на то, что в наружном слое создаются условия для образования гидрокарбонатов кальция. Однако при увеличении содержания гидрокарбонатов в агрессивной среде процесс коррозии материала замедляется в виду смещения равновесия химической реакции



6) Полученные результаты анализов подтверждаются натурным обследованием участков объекта.

### Список литературы

1. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и поврежденных строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М.: ООО «Пейнт-0 Медиа», 2006. – 320 с.
2. Строительное материаловедение: учеб. пособие / под общ ред. В.А. Невского. – 3-е изд., доп. и перераб. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010. – 588 с.
3. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов / под общ. ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.

УДК 544.723.23

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМОСИЛИКАТНЫХ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОЧИСТКИ ВОДЫ

<sup>1</sup>Кошелев А.В., <sup>1</sup>Косарев А.В., <sup>1</sup>Тихомирова Е.И., <sup>2</sup>Скиданов Е.В.

<sup>1</sup>Саратовский государственный технический университет  
имени Гагарина Ю.А., Россия, г. Саратов

<sup>2</sup>ООО Научно-производственное предприятие «ЛИССКОН», Россия, г. Саратов

*В статье приведены данные исследования минералогического, гранулометрического и химического состава усредненных образцов глауконитовых песков из месторождений в Саратовской (Белозерское), Тамбовской (Бондаревское) и Челябинской (Каринское) областях; бентонитовой глины Даш-Салахлинского месторождения. Показано, что среднее содержание глауконита в исходном сырье составляет от 30% до 50%. Для получения эффективных в прикладной экологии сорбентов необходимо добавление в глинистый глауконит бентонита. Предложен подход для оценки адсорбционных характеристик указанных систем в условиях ионного обмена.*

*Ключевые слова:* алюмосиликаты, глауконит, бентонит, монтмориллонит, химические свойства, сорбенты

## PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF ALUMINOSILICATE ADSORBENTS FOR WATER PURIFICATION TASKS

<sup>1</sup>Koshelev A. V., <sup>1</sup>Kosarev A. V., <sup>1</sup>Tikhomirova E. I., <sup>2</sup>Skidanov E. V.

<sup>1</sup>Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

<sup>2</sup>LLC «LISSKON», Saratov, Russia

*Data of research of mineralogical, size and chemical composition of average samples of glauconite sands (Saratov (Belozerskoe), Tambov (Bondarevskoe), Chelyabinsk (Karinsk) Dash-Salahlinsk) from fields deposit. It is shown that the average content of glauconite in the raw material is from 30% to 50%. It is necessary to add bentonite to the glauconite clay to obtain effective adsorbents in the applied ecology. The approach for estimation of desiccant characteristics of the mentioned systems in conditions of ion exchange is offered.*

*Keywords:* aluminosilicates, glauconite, bentonite, montmorillonite, chemical properties, sorbents

В настоящее время значительно возрос интерес к созданию новых экологически безопасных сорбентов, носителей и катализаторов на основе природных алюмосиликатов. Слоистые природные алюмосиликаты не токсичны, имеют