

го использования и охраны водных объектов. В Водном кодексе Республики Беларусь отсутствует принцип бассейнового управления, действует только ст. 93 о схемах комплексного использования и охраны вод. Для реализации положений данной статьи принято Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 октября 2007 года № 1286 «О порядке разработки, утверждения и реализации схем комплексного использования и охраны вод», в соответствии с которым по заданию Минприроды ЦНИИКИВР начал разработку проектов схем для основных бассейнов рек Беларуси. В 2009-2010 гг. проведена разработка схемы комплексного использования и охраны вод бассейна реки Неман, в 2011 году начата разработка проекта схемы для бассейна реки Западная Двина. Данные схемы послужат улучшению управления водными ресурсами бассейнов рек. Однако их реализация сдерживается отсутствием органов бассейнового управления. В этой связи, логичным было бы ведение бассейнового принципа управления в Водный кодекс и организация бассейновых советов для координации водохозяйственной деятельности на бассейновом уровне.

### **Заключение**

Данный вопрос является одним из многих, для решения которых следует подготовить новую редакцию Водного кодекса Республики Беларусь. Для этого необходимо провести детальный анализ сложившейся практики в области охраны и использования водных ресурсов страны и учесть передовой международный опыт, в первую очередь соседних с Беларусью стран.

УДК 691.544:666.941.2

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АГРЕССИВНЫХ ПРИРОДНЫХ СРЕД НА ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИИ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

**Ступень Н.С.**

Учреждение образования «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», г. Брест, Республика Беларусь, chemskorp@yandex.ru

*The article presents the data on the influence of aggressive media on the corrosion of cement clinker. The combined effect of sulfate, chloride and bicarbonate ions on the degree of leaching of calcium hydroxide has been studied. Positive influence of hydrocarbonate ions, that speed down  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , leaching was revealed.*

### **Введение**

Наиболее распространенными грунтовыми водами на территории стран СНГ являются сульфатные воды. Поэтому изучению процессов коррозии бетонов в сульфатных средах посвящено большое количество экспериментальных исследований. Установлено, что при действии на цементный камень растворов сульфатов в результате сложных физико-химических процессов изменяется фазовый состав цементного камня [1].

Теоретические предпосылки и экспериментальные данные показывают, что на стойкость бетона в сульфатных средах должны влиять другие компоненты, содержащиеся в природной среде, в частности хлорид и гидрокарбо-

нат ионы. Хлориды являются распространенным компонентом поверхностных и грунтовых вод, а гидрокарбонаты кальция и магния обуславливают жесткость природных вод. Поэтому при исследовании коррозионных процессов, происходящих в цементном камне в агрессивной среде, необходимо учитывать совместное влияние сульфат-, хлорид- и гидрокарбонат ионов.

#### **Основная часть**

Цементный камень – наиболее уязвимый компонент бетона к воздействиям внешней среды. Как известно, основной структурный компонент цементного камня – гидросиликаты кальция – выделяются из раствора в виде волокнистых субмикроскопических частиц. Вначале в свободном пространстве между частицами цемента гидросиликаты кальция образуются в виде длинных волокон. Затем по мере уплотнения структуры длина волокон уменьшается. Непрерывно растёт число контактов срастания кристаллов новообразований. С увеличением объёма твёрдой фазы при гидратации уменьшается общий объём и размеры пор. В результате этих процессов прочность цемента непрерывно нарастает [1, 2]. Под действием различных агрессивных сред в цементном камне начинаются деструкционные процессы, т.е. процессы коррозии.

Гидросиликаты кальция могут устойчиво существовать в твердой фазе в равновесии с жидкой средой, если концентрация  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в жидкой фазе выше определенного количества, называемого предельной концентрацией.

При концентрации гидроксида кальция в жидкой среде 1,2 г/л устойчивы все перечисленные выше минералы. При концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  1,06-1,08 г/л высокосновные гидросиликаты и гидроалюминаты переходят в низкоосновные гидросиликаты и гидроалюминаты. При концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  0,16-0,36 г/л гидроалюминаты подвергаются полному гидролизу с образованием  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . При более низких концентрациях оксида кальция однокальциевый силикат распадается с образованием геля кремниевой кислоты [1].

Таким образом, по кинетике выщелачивания гидроксида кальция в сульфатных, хлоридно-сульфатных и хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатных средах можно судить о деструкционных процессах в цементном камне.

Исследования проводили на образцах цементного камня ( $v/c = 0,4$ ) – кубиках  $2 \times 2 \times 2$  см. Размеры образцов приняты из соображений возможности в короткие сроки получить исследуемые зависимости. Для приготовления растворов, близких к природным водам использовали сульфат натрия, хлорид натрия, гидрокарбонат кальция марок ЧДА. Концентрации растворов сульфата натрия (в пересчёте на ион  $\text{SO}_4^{2-}$ ) – 1,5 г/л, 3 г/л, 5 г/л приняты из соображений ускоренного получения исследуемых зависимостей.

Сущность исследований сводится к определению аналитическими методами изменения концентраций ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и pH в процессе взаимодействия раствора с минералами цемента в испытуемых образцах.

Количественное определение водорастворимых ионов кальция проводили методом комплексометрического титрования с трилоном Б, в присутствии индикатора мурексида. Количественное определение сульфат-ионов проводили гравиметрическим методом.

Основные результаты исследований приведены в табл. 1, 2.

Жидкая фаза затвердевшего цемента представляет раствор гидроксида кальция концентрации, близкой к концентрации насыщенного раствора, и содержит незначительные количества кремнезёма, глинозёма и оксида железа (III).

Снижение содержания одного из компонентов, образующих гидросульфат алюмината кальция ( $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_3$ ), исключает необходимое пресыщение жидкой фазы по этому компоненту.

**Таблица 1 – Количество водорастворимых ионов кальция в агрессивной среде**

Проба с различным соотношением ионов $\text{SO}_4^{2-} : \text{Cl}^- : \text{HCO}_3^-$ в растворе	Средний объем трилона Б, пошедшего на титрование, мл	Масса ионов $\text{Ca}^{2+}$ в навеске, г	Масса $\text{CaO}$ в навеске, г	% -ное содержание ионов $\text{Ca}^{2+}$	
				в навеске	в цементе
(1,5г/л) $\text{SO}_4^{2-}$	0,43	0,022	0,030	2,15	7,52
1:1:0	0,18	0,009	0,013	0,91	3,20
1:2:1	0,12	0,006	0,008	0,53	1,72
2:1:1	0,30	0,015	0,021	1,50	5,25
(3г/л) $\text{SO}_4^{2-}$	0,20	0,010	0,014	1,00	3,50
1:1:0	0,15	0,008	0,011	0,75	2,62
1:2:1	0,22	0,011	0,015	1,10	3,85
2:1:1	0,10	0,005	0,018	1,25	3,97
(5г/л) $\text{SO}_4^{2-}$	0,15	0,008	0,011	0,75	2,62
1:1:0	0,12	0,006	0,008	0,60	2,10
1:2:1	0,01	0,01	0,016	1,20	3,52
2:1:1	0,27	0,005	0,007	0,50	1,75

**Таблица 2 – Количество растворенного  $\text{CaO}$  в зависимости от концентрации ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{HCO}_3^-$  в жидкой агрессивной среде**

Содержание $\text{CaO}$ в цементе	Количество растворенного $\text{CaO}$ (%) от первоначального содержания											
	концентрация $\text{SO}_4^{2-}$ 1,5 г/л				концентрация $\text{SO}_4^{2-}$ 3 г/л				концентрация $\text{SO}_4^{2-}$ 5 г/л			
	1:0:0	1:1:0	1:2:1	2:1:1	1:0:0	1:0:0	1:2:1	2:1:1	1:0:0	1:1:0	1:2:1	2:1:1
65,3	16,40	6,99	3,83	3,42	7,66	5,74	6,42	6,00	5,74	4,59	7,66	8,83

### Заключение

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. При совместном нахождении сульфат-, хлорид- и гидрокарбонат-ионов в растворе повышается растворимость гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

2. При концентрациях  $\text{SO}_4^{2-}$  в растворах 5 г/л и при соотношении сульфат-, хлорид- и гидрокарбонат-ионов 2:1:1 наблюдается замедление процесса выщелачивания гидроксида кальция.

3. Хлорид-ионы сами по себе инертны по отношению к цементному клинкеру, так как не образуют труднорастворимых соединений с кальцием – главным элементом минералов цементного камня. В основном их агрессивность связывают только с коррозией стальной арматуры в железобетонных конструкциях. Но полученные данные свидетельствуют о том, что хлорид-ионы влияют на течение процессов сульфатной коррозии, их интенсивность и скорость протекания.

4. Наименьшее значение pH водных вытяжек из цементного клинкера (9,3) наблюдалось при соотношении ионов 2:1:1 при любых концентрациях сульфат-ионов. Такое значение pH опасно для стальной арматуры в присутствии агрессивных хлорид-ионов.

#### Список цитированных источников

1. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1980. – 536 с.
2. Питьева, К.Е. Гидрохимия / К.Е. Питьева. – Москва: Высш. школа, 1971. – 336 с.
3. Иванов, Ф.М. Определение влияния добавок на сульфатостойкость цементных растворов ускоренным методом / Ф.М. Иванов, Г.В. Любарская, Г.В. Чехний. – В кн.: Коррозионностойкие бетоны и железобетонные конструкции. – М., 1981. – С. 131–134.

УДК 621.039.533.6

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ВОДОРОДНЫЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ

**Требенок А.Н., Нестерук В.Н.\***

Учреждение образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка», г. Минск, Республика Беларусь, [trebenok27@gmail.com](mailto:trebenok27@gmail.com); \* Государственное учреждение образования «Гимназия № 23 г. Минска», г. Минск, Республика Беларусь

*Ecological problems of use of hydrogen in power engineering are investigated in the article, the actions of hydrogen energy carriers on the environment. Equations for evaluating the ejections of water vapor with the use of liquid and gaseous forms of fuel are obtained.*

### Введение

В настоящее время водородная энергетика рассматривается как одно из важнейших приоритетных направлений в научных и технологических исследованиях ведущих стран мира [1]. Среди факторов, определяющих перспективы развития водородной энергетике, важнейшую роль играет стремление к сокращению выбросов парниковых газов и ограниченность запасов ископаемого углеводородного топлива [2, 3].

Вопросы изменений в окружающей среде при переходе на альтернативные источники топлива плохо изучены. Необходимо проводить дальнейшие исследования, связанные с воздействием продуктов сгорания твердого, жидкого и газообразного топлива на природу, климат и микроклимат [4]. Особого внимания заслуживает "парниковый эффект", который приводит к повышению температуры на планете, таянию ледников, изменению климата, возрастанию риска стихийных бедствий, трансформации климата ландшафтов в результате хозяйственной антропогенной деятельности человека.

В последнее время появилось много публикаций о том, что переход на водородные энергоносители снимет все экологические проблемы, к сожалению, авторы не предоставляют своих доказательств. На наш взгляд, необходимо осуществлять экологическую экспертизу для обоснования ожидаемых воздействий новых технологий на окружающую среду [4].

### Методика исследования и обсуждение результатов

При переходе на водородную энергетiku планетарная проблема "парникового эффекта" будет частично снята, так как уменьшится поступление в атмосферу углекислого газа, но, на наш взгляд, появится новая проблема. Вы-