

Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-1>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/51TVN116.pdf>

DOI: 10.15862/51TVN116 (<http://dx.doi.org/10.15862/51TVN116>)

Статья опубликована 12.03.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чэнь Тао, Успанов А.М. Анализ экспериментальных данных по кинетике проникания сульфатсодержащих сред в железобетонные конструкции и влиянию их на механические характеристики компонентов железобетона. Часть 1. Эксперименты по изучению кинетики проникания // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №1 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/51TVN116.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/51TVN116

УДК 624.042

Овчинников Илья Игоревич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов¹
ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Филиал в г. Сочи, Россия, Сочи
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: bridgeart@mail.ru

Овчинников Игорь Георгиевич

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Россия, Пенза
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Россия, Пермь
Доктор технических наук, профессор
E-mail: bridgesar@mail.ru

Чэнь Тао

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет», Россия, Москва
Аспирант
E-mail: 313085767@qq.com

Успанов Амергалей Марзагалеевич

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», Россия, Саратов
Аспирант
E-mail: u.a.-91@mail.ru

**Анализ экспериментальных данных по кинетике
проникания сульфатсодержащих сред в железобетонные
конструкции и влиянию их на механические
характеристики компонентов железобетона. Часть 1.
Эксперименты по изучению кинетики проникания**

Аннотация. Приведены экспериментальные данные по кинетике проникания сульфатсодержащих сред в железобетонные конструктивные элементы и ее последующему распределению по сечению элементов. Экспериментальные данные, приведенные работе, представляют собой либо сведения о глубине проникания сульфат-ионов в разные моменты

¹ 410054, Саратов, Политехническая 77

времени в материал конструкции, либо о распределении уровня химического взаимодействия среды с бетоном по сечению конструктивного элемента. Отмечено, что проникание сульфатсодержащей среды в материал конструктивного элемента может носить как диффузионный характер, так происходить по механизму фильтрации. При взаимодействии среды с плотными тяжелыми бетонами при отсутствии гидростатического напора проникание носит диффузионный характер. Показаны факторы, влияющие на кинетику проникания сульфатсодержащих сред в конструкции: вид агрессивной среды (газообразная, жидкая, твердая; концентрация; вид катиона, связанного с сульфат-ионами; температура и другие), свойства материала (характеристики бетона - пористость, вид цемента, наличие добавок к цементу, наличие добавок-ускорителей твердения бетона, технология и качество изготовления бетона, и другие), условия контакта среды с материалом (полное или частичное погружение конструкции в агрессивную среду, работа конструкции в зоне брызг агрессивной среды или капиллярного подсоса, попеременное увлажнение конструкции агрессивной средой и высушивание).

Ключевые слова: сульфатсодержащая среда; коррозия; деградация; железобетон; механические свойства; бетон; проникание; диффузия; фильтрация

Введение

Результаты экспериментальных исследований и натуральных наблюдений, выполненных многими исследователями, показывают, что воздействие сульфатсодержащей среды приводит к существенным изменениям механических свойств материалов и к изменению характера работы железобетонной конструкции. По мере проникания сульфатсодержащей среды в тело конструкции происходит деградация защитного слоя бетона, после чего становится возможной коррозия арматуры. В результате коррозии уменьшается площадь поперечного сечения арматуры, а образующиеся при этом продукты коррозии приводят к образованию трещин, ориентированных вдоль арматуры, и последующему отслаиванию защитного слоя бетона. При этом изменяется характер сцепления арматуры с бетоном. Все эти факторы снижают несущую способность, повышают деформативность и снижают долговечность конструкций. Современная теория расчета железобетонных элементов конструкций, работающих в инертной (неагрессивной) среде, достаточно развита и обоснована, но не получила еще достаточного развития в направлении расчетов конструкций, подверженных сульфатной коррозии.

Для построения, анализа, идентификации и верификации моделей деформирования и разрушения железобетона в сульфатсодержащих средах необходимо иметь экспериментальные данные, позволяющие проводить эти операции. Поэтому систематизация и анализ экспериментальных данных по прониканию сульфатсодержащих сред в железобетонные конструкции, по влиянию этих сред на механические свойства компонентов железобетона является весьма важной работой, ибо позволяют в дальнейшем создать базу данных, которая может пополняться и совершенствоваться.

Экспериментальные данные по кинетике проникания сульфатсодержащих сред в железобетонные конструктивные элементы и ее последующему взаимодействию и распределению по сечению элементов.

Количество экспериментальных данных, позволяющих выяснить скорость, глубину проникания и распределение сульфат-ионов по толщине бетона, а также определить кинетику химического взаимодействия проникших сульфат-ионов весьма ограничено.

В работе [1] приводятся экспериментальные данные о проникании сернистого газа в железобетонные образцы-призмы размером 5х5х15 см из бетона трех составов, отличающихся

плотностью структуры при одинаковой пластичности смесей (таблица 1). В качестве заполнителей для бетона применялись речной песок с объемным весом 1550 кг/м^3 и крупностью зерен до 5 мм и известняковый щебень с объемным весом 1500 кг/м^3 и крупностью зерен от 5 до 20 мм. Концентрация сернистого газа создавалась в замкнутом объеме над растворами серной кислоты, которые менялись раз в месяц. Во время коррозионных испытаний образцы периодически осматривали. Через 10, 15, 19 и 31 месяц проверяли глубину нейтрализации бетона сернистым газом при помощи фенолфталеина.

Таблица 1

Глубина нейтрализации бетонов сернистым газом различной концентрации [1]

Условия хранения	Срок испытаний, мес.	Глубина нейтрализации бетона, мм	Состояние бетона***
1	2	3	4
образцы бетона с расходом портландцемента 250 кг/м^2 , В/Ц=0,736 (I состав)			
В воздушно-сухой среде	19	1-10	без изменения
	31	10-12	то же
В воздушно-влажной среде при $t=30^\circ\text{C}$; $f=80\%$	20	22-25	то же
	31**	полная*	то же
То же, при $t=70^\circ\text{C}$; $f=100\%$	20	3-8	то же
	31**	8-20	
В газозвушной смеси при $t=20^\circ\text{C}$; $t=5^\circ\text{C}$; $f=100\%$; $\text{SO}_2 - 100 \text{ мг/л}$	10	0,5-3	поверхность бетона приобрела желтую окраску
	19	2-4	шелушение по ребрам и углам
	31	4,5- 10	шелушение по граням, бетон осыпается
образцы бетона с расходом портландцемента 350 кг/м^2 , В/Ц=0,55 (II состав)			
В газозвушной смеси при $t=20\pm 5^\circ\text{C}$; $\phi=99,4\%$; $\text{SO}_2 - 500 \text{ мг/л}$	10	3-4	слабое шелушение
	19	4-6	крошение по ребрам и углам, нейтрализация неравномерная
	31	4-12	крошение по граням и углам
В воздушно-влажностной среде при $t=30^\circ\text{C}$; $f=80\%$	20	2- 4	без изменения
	31**	18-20*	
То же, при $t = 70^\circ\text{C}$; $f=100\%$	20	3-5	
	31**	5-8	

Условия хранения	Срок испытаний, мес.	Глубина нейтрализации бетона, мм	Состояние бетона***
1	2	3	4
То же, при $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$; $\phi = 100\%$; $\text{SO}^2 - 100$ мг/л	10	0	без изменения
	19	0,5–3	шелушение ребер
	31	3–7	и углов, начало шелушения граней
То же, при $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$ °C; $\phi = 99,4\%$; $\text{SO}^2 - 500$ мг/л	10	3–4	поверхность покрыта налетом желтого цвета
	19	-	очень слабое шелушение
	31	4–8	шелушение по граням и углам
образцы бетона с расходом портландцемента 500 кг/м^3 , В/Ц=0,38 (III состав)			
В воздушно-сухой среде	19	1–2	
	31	2–4	
В воздушно-влажной среде при $t = 30^\circ\text{C}$; $\phi = 80\%$	20	0–1	без изменения
	31**	5–10*	
То же, при $t = 70^\circ\text{C}$; $\phi = 100\%$	20	1-2	
	31**	1-3	
То же, при $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$; $\phi = 100$; $\text{SO}^2 - 100$ мг/л	10	0	без изменения
	19	0	то же
	31	1–2	слабое крошение ребер
То же, при $t = 20 \pm 5^\circ\text{C}$; $\phi = 99,4\%$; $\text{SO}^2 - 500$ мг/л	10	0	поверхность покрыта желтым налетом
	19	0-1	шелушение по граням и углам
	31	1,5-3	шелушение по граням и ребрам
Примечание: *В камеру подавали 10 л углекислого газа и 10 л кислорода в сутки. **Из них 20 мес. указанный режим, а 11 мес. воздушно-сухой из-за демонтажа камер. ***Осмотру подвергались образцы-близнецы от 2 (в первые сроки) до 6 (в конце испытания).			

В работе [2] изучался характер накопления и распределения связанных цементным камнем сульфат-ионов при воздействии 5% и 10% растворов Na_2SO_4 на свежееуложенную бетонную смесь. Подобные условия контакта сульфатосодержащей среды с бетоном встречаются при возведении монолитных железобетонных конструкций в водонасыщенных грунтах.

Исследования проводились на бетонных образцах-призмах размером $4 \times 4 \times 16$ см, приготовленных на портландцементе ($\text{C}_3\text{A} = 7\%$), сульфатостойком портландцементе ($\text{C}_3\text{A} = 2,8\%$) и барийсодержащем портландцементе Карачаево-Черкесского завода ($\text{BaO} = 3,3\%$). Бетонирование осуществлялось в 5% и 10% растворы Na_2SO_4 . Через 28, 90, 180 и 360 сут. нахождения в указанных средах в условиях полного погружения из образцов с

глубины 0,3; 1,1 и 1,9 см от поверхности отбирали пробы бетона для химического анализа с целью определения количества связанных цементным камнем бетона сульфат-ионов SO_3 (рис. 1).

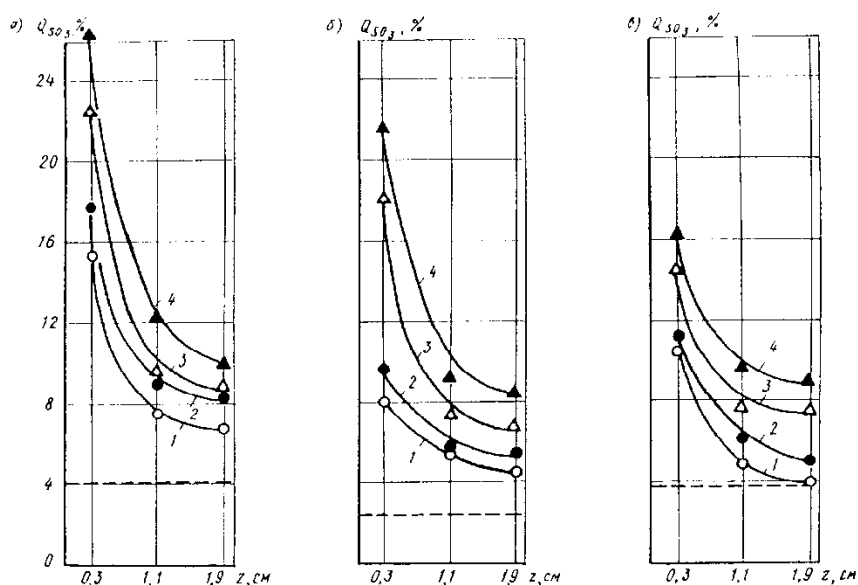


Рисунок 1. Распределение количества связанных цементным камнем бетона сульфат-ионов SO_3 по глубине [2]: а - портландцемент; б - сульфатостойкий портландцемент; в - барийсодержащий портландцемент, 1 - 28 сут.; 2 - 90 сут.; 3 - 180 сут.; 4 - 360 сут.; ---- - исходное содержание SO_3 (а-4%; б-2,45%; в - 3,79%)

В работе [3] приводятся данные о распределении связанных цементным камнем сульфат-ионов в пересчете на SO_3 по глубине зоны взаимодействия при воздействии раствора Na_2SO_4 различной концентрации (рис. 2). Бетонные образцы были приготовлены на портландцементе Воскресенского завода, состав 1:2, В/Ц=0,48. В работе [4] представлены экспериментальные данные по скорости и глубине проникания сульфатсодержащих сред в цементный камень на сульфатостойком цементе. Исследовались сульфаты различных металлов, широко используемых в промышленности и содержащихся в природных водах: меди, никеля, цинка, натрия, магния, железа, марганца, кобальта, кадмия, алюминия, бериллия при концентрации растворов 3; 5; 10 и 25 г/л по SO_4^{2-} .

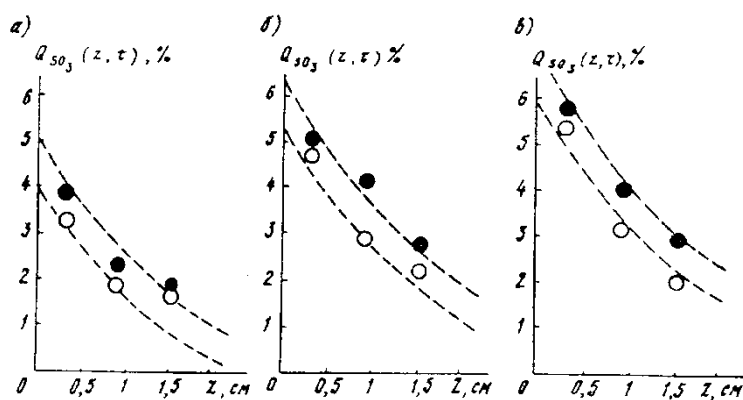


Рисунок 2. Распределение связанных цементным камнем сульфат-ионов в пересчете на SO_3 по глубине зоны взаимодействия [3]: а- 11,6 г/л, б- 33,8 г/л, в- 67,6 г/л.; ° - 1 год; • - 3 года.

Послойное содержание сульфат-иона в пленке продуктов коррозии и в цементно-песчаных образцах, хранившихся 1 год в растворах сульфатов металлов при концентрации 10 г/л по SO_4^{2-} , показано в таблице 2. Пленку продуктов коррозии снимали скальпелем с поверхности образцов, а пробы из образцов отбирали без учета поверхностной пленки на наждачном круге на глубине до 0,5 мм, затем на глубине от 0,5 до 1 мм и от 1 до 2 мм.

Таблица 2

Содержание сульфат-ионов в бетоне по результатам опытов [4]

Раствор сульфата	Содержание SO_4^{2-} в %				Среднее содержание SO_4^{2-} , % в слое толщиной 2 мм
	Поверхностная пленка продуктов коррозии, мм	На глубине, мм			
		до 0,5	0,5-1	1—2	
Zn^{2+}	12,71	4,23	4,22	4,44	4,36
Cd^{2+}	11,71	4,54	4,17	3,62	4,11
Co^{2+}	14,54	4,23	3,51	3,5	3,74
Cu^{2+}	11,4	5,47	4,56	3,82	4,61
Ni^{2+}	12,78	6,78	4,81	4,14	5,24
Mg^{2+}	2,28	5,18	5,22	4,81	5,07
Na^+	1,29	2,24	4,19	4,21	3,54
Mn^{2+}	4,27	5,84	5,86	5,19	5,63
Fe^{2+}	17,05	6,12	4,75	4,93	5,26
Be^{2+}	41,77	12,68	9,86	8,18	10,24
Al^{3+}	34,09	12,02	10,25	8,14	10,13

В статье [5] приводятся результаты исследований бетонных образцов в условиях действия рассолов оз. Сиваш, содержащих в наибольших количествах серноокислые и хлористые соли натрия и магния ($NaCl$, $MgCl_2$, $MgSO_4$). Образцы были изготовлены на низкоалюминатном портландцементе Себряковского завода марки М500. За исходный приняли состав бетона с расходом цемента 525 кг/м^3 при В/Ц=0,45. Исследования проводились на образцах из пропаренного бетона и бетона нормального твердения. Для установления глубины проникания в бетон основных составляющих рассола образцы-призмы размером $10 \times 10 \times 40$ см подвергли химическому анализу. Пробы отбирали послойно путем распиловки образцов. Толщина первого наружного слоя составляла 5 мм, затем шли 3 слоя по 10 мм и последний, пятый слой имел толщину 15 мм. Поскольку соседние слои отличаются по содержанию в них агрессивных ионов незначительно, анализировали только нечетные слои по содержанию магния, сульфатов и хлоридов обычными методами химического анализа [6] (табл. 3). На рисунке 3 показаны кривые распределения поглощенных сульфат-ионов по толщине бетонных образцов, построенные на основании данных таблицы 3.

Таблица 3

Распределение агрессивных веществ по толщине бетонных образцов после 12 лет нахождения в агрессивной среде [6]

Условия твердения бетона	Толщина слоя бетона, мм								
	0–5			15–25			35–50		
	Содержание, %								
	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
Нормальные	2,61	9,16	1,58	0,3	4,97	0,87	0,19	1,8	0,63
При пропаривании	4,31	7,85	2,7	2,14	4,73	1,97	1,82	3,12	1,87

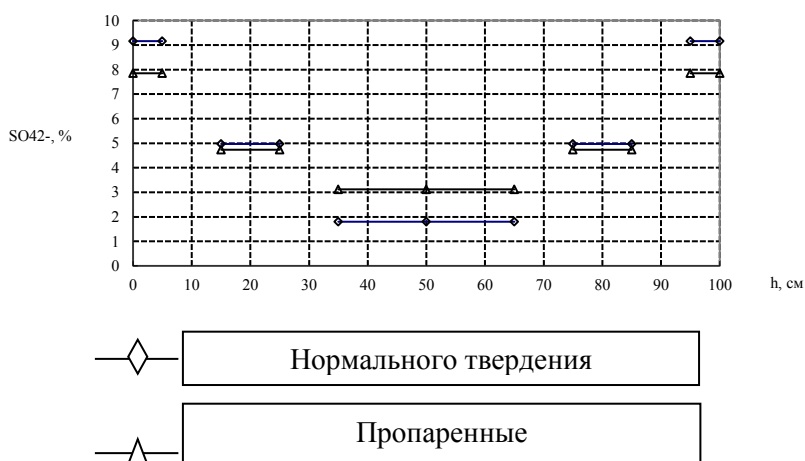


Рисунок 3. Кривые распределения поглощенных сульфат-ионов по толщине бетонных образцов [6]

В лаборатории НИИЖБ был проведен ряд исследований под руководством Е.А. Гузеева по взаимодействию сульфатсодержащих сред с бетоном [3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Распределение связанных цементным камнем сульфат-ионов по глубине образцов определялось посредством послойного отбора проб бетона с различной глубины образцов и последующего их химического анализа. Пробы брались на глубине: 2-4 мм, 8,5-10 мм, 15-20 мм и 40-60 мм.

Составы используемых бетонов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Характеристики бетонов опытных образцов [8]

№ состава	В/Ц	Количество цемента, кг/м ³	Состав бетона в частях по массе	Общая пористость, %	Сквозная пористость, %
II	0,5	405-420	1:1,5:2,9	10,0-10,8	0,48
III	0,6	330	1:2,4:3,0	10,6-11,0	0,56
IV	0,7	300	1:3,0:3,1	11,9-13,1	0,63

Определение количества поглощенного из раствора и связанного бетоном SO₄²⁻ (серного ангидрида) производили через равные промежутки времени 1500 ч (2 мес.). Наличие гипса и гидросульфатоалюмината определяли петрографическим и рентгенографическим методом. После промежуточных сроков испытаний бетона и отбора проб растворов для химических анализов растворы и воду в емкостях заменяли. Результаты исследований представлены в табл. 5, 6, 7. В таблице 5 представлено количество связанных цементным

камнем сульфат-ионов в поверхностных слоях бетона (бетон состава III, на низкоалюминатном цементе) за период 10000 ч.

Таблица 5

Количество связанных цементным камнем сульфат-ионов в бетоне (состав III на низкоалюминатном цементе) [8]

Концентрация среды	Глубина слоя, мм	Скорость связывания SO_4^{2-} , мг/л сут. (V) и количество связанного SO_3 , мг/г (Q), за 10000 ч при различных условиях нагружения							
		без нагрузки		растяжение s/R _p				сжатие s/R _{np}	
				0,6		0,8		0,8	
		V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Раствор 0,148% Na_2SO_4 1000 мг/л SO_4^{2-}	2-4	0,011	5,04			0,015	6,3	0,007	2,94
	8,5-10	0,006	2,5			0,01	4,2	-	-
	15-20	-	-			0,007	2,9	-	-
Раствор 2% Na_2SO_4 13700 мг/л SO_4^{2-}	2-4	0,045	18,9			0,08	29,6	0,035	14,7
	8,5-10	0,023	9,66			0,035	12,95	0,016	6,72
	15-20	-	-			0,016 (9000)	5,92	-	-
Раствор 10% Na_2SO_4 67000 мг/л SO_4^{2-}	2-4	0,18	75,6	0,2	57	0,23	25,83	0,155	65,1
	8,5-10	0,13	54,6	0,085	24,39	0,14	15,54	0,09	37,8
	15-20	0,048	20,16	0,045	12,91 (6900)	0,07	7,77 (2700)	0,03	12,6

Примечание: в скобках указана продолжительность испытаний до разрушения образцов в ч.

Таблица 6

Количество связанных цементным камнем сульфат-ионов в бетоне (состав III, высокоалюминатный цемент) [8]

Концентрация среды	Глубина слоя, мм	Скорость связывания SO_4^{2-} , мг/л сут. (V) и количество связанного SO_3 , мг/г (Q), за 10000 ч при различных условиях нагружения									
		без нагрузки		растяжение s/R _p						сжатие s/R _{np}	
				0,4		0,6		0,8		0,8	
		V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Раствор 0,148% Na_2SO_4 1000 мг/л SO_4^{2-}	2-4	0,015	6,3					0,02	0,46	0,01	4,2
	8,5-10	-	-					0,01 (23 сут.)	0,23	-	-
	15-20	-	-					-	-	-	-

Концентрация среды	Глубина слоя, мм	Скорость связывания SO_4^{2-} , мг/л сут. (V) и количество связанного SO_3 , мг/г (Q), за 10000 ч при различных условиях нагружения									
		без нагрузки		растяжение s/R _p						сжатие s/R _{пр}	
				0,4		0,6		0,8		0,8	
		V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Раствор 2% Na_2SO_4 13700 мг/л SO_4^{2-}	2-4	0,11	36,2					0,48	9,12		
	8,5-10	0,065	27,3					0,18 (19 сут.)	3,42		
	15-20	0,015	6,2					-	-		
Раствор 5% Na_2SO_4 338000 мг/л SO_4^{2-}	2-4	0,23						0,59		0,2	84,0
	8,5-10	0,09						0,195		0,115	48,3
	15-20	0,035						0,63		0,02	8,4
Раствор 10% Na_2SO_4 67000 мг/л SO_4^{2-}	2-4	0,26	100,8-130	0,38	13,68	0,49	13,7	0,67	9,38	0,21	92,4
	8,5-10	0,12	52,5-67,0	0,18	6,48	0,198	5,5	0,21	2,94	0,125	50,04
	15-20	0,04	29,4	0,08	2,8 (36 сут.)	0,096	2,68 (28 сут.)	0,115	1,6 (14 сут.)	0,04	16,8

Примечание: в скобках указана продолжительность испытаний образцов в ч.

Результаты исследования взаимодействия бетонных образцов (составы II, III и IV; цемент низкоалюминатный $C_3A=4\%$ и высокоалюминатный $C_3A=10\%$ - значения в скобках) с 10%-ным раствором сернистого натрия в течение 10000 ч представлены в таблице 7.

Таблица 7

Количество связанных цементным камнем сульфат-ионов в бетонах различных составов [8]

Глубина слоя, мм	Количество связанного SO_3 , мг/г в бетонах различных составов					
	II		III		IV	
	без нагр.	0,8 R _{пр}	без нагр.	0,8 R _{пр}	без нагр.	0,8 R _{пр}
2-4	65,1 (96,6-141)	58,8 (75,6)	75,6 (100,8-130)	67,2-65,1 (92,4-132)	75,6 (113,4-126)	71,4
8,5	29,0 (33,6)	10,5 (46,2)	54,6 (52,5-67,0)	37,8-39,9 (30,4-50,0)	33,6 (46,2-86,0)	42,0
15	6,3 (29,4)	4,2 (16,8)	20,16 (29,4)	8,4-12,6 (16,8)	12,6 (12,6)	10,5

На основании анализа результатов опытов можно утверждать, что проникание сульфатсодержащей среды в бетонные и железобетонные конструкции происходит в основном по механизму активированной диффузии. На величину коэффициента диффузии наиболее существенное влияние оказывают следующие факторы:

- водоцементное отношение (В/Ц): повышение водоцементного соотношения приводит к увеличению пористости бетона, вследствие чего бетон становится более проницаемым для сульфатсодержащей среды (среда проникает в более глубокие слои), увеличивается реакционная поверхность бетона (увеличивается количество связанных цементным камнем сульфат-ионов);
- минералогический состав цемента (содержание гидроалюмината C_3A): с увеличением содержания в цементе C_3A увеличивается количество связанных цементным камнем сульфат-ионов;
- концентрация сульфат-ионов в растворе: увеличение концентрации приводит к более глубокому прониканию среды в бетон и более интенсивному связыванию цементным камнем сульфат-ионов;
- уровень и вид напряженного состояния: количество связанных цементным камнем сульфат-ионов зависит от уровня напряжений, то есть чем выше уровень напряжений тем большее количество сульфат-ионов связывается цементным камнем; увеличение напряжений сжатия до уровня $0,4-0,6R_{пр}$ приводит к снижению количества связанных цементным камнем сульфат-ионов, однако при дальнейшем увеличении уровня напряжений сжатия в бетоне увеличивается количество микро- и макродефектов в структуре бетона, облегчается проникание сульфат-ионов во внутренние объемы и на возросшей реакционной поверхности бетона в определенной степени интенсифицируется процесс коррозии.

При определенных условиях (увеличение пористости бетона до некоторого значения, наличие гидростатического напора) проникание сульфатсодержащей среды в бетон может происходить по механизму фильтрации. Возможен также случай, когда проникание сульфатсодержащей среды на определенную глубину происходит по механизму фильтрации, а далее, в результате падения гидростатического напора, по механизму активированной диффузии.

Выводы:

1. В свое время было опубликовано довольно большое количество работ, посвященных исследованию кинетики проникания сульфатсодержащей среды в бетонные и железобетонные конструктивные элементы и их дальнейшему химическому взаимодействию с компонентами бетона. Экспериментальные данные, приведенные в этих работах, представляют собой либо сведения о глубине проникания сульфат-ионов в разные моменты времени в материал конструкции, либо о распределении уровня химического взаимодействия среды с бетоном по сечению конструктивного элемента. Экспериментальные данные позволяют сделать вывод о том, что проникание сульфатсодержащей среды в материал конструктивного элемента может носить как диффузионный характер, так происходить по механизму фильтрации. Однако при взаимодействии среды с плотными тяжелыми бетонами (основной материал, использующиеся при изготовлении основных несущих строительных конструкций) при отсутствии гидростатического напора проникание носит диффузионный характер.

2. Экспериментальные данные свидетельствуют, что на кинетику проникания сульфатсодержащей среды в железобетон и ее химическое взаимодействие влияют три группы факторов: факторы среды (вид агрессивной среды: газообразная, жидкая, твердая; концентрация; вид катиона, связанного с сульфат-ионами; температура и другие), факторы

материала (характеристики бетона: пористость, вид цемента, наличие добавок к цементу, наличие добавок-ускорителей твердения бетона, технология и качество изготовления бетона, и другие) и факторы условий контакта среды с материалом (полное или частичное погружение конструкции в агрессивную среду, работа конструкции в зоне брызг агрессивной среды или капиллярного подсоса) попеременное увлажнение конструкции агрессивной средой и высушивание).

Во второй части статьи будут рассмотрены экспериментальные данные по влиянию сульфатсодержащей среды на механические свойства компонентов железобетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.Н., Шашкина Н.А., Пучнина Е.А. Коррозия арматуры в бетоне в зависимости от степени агрессивности воздушной среды // Коррозия, методы защиты и повышения долговечности бетона и железобетона. - НИИЖБ. - М. - 1965. - С. 4-18.
2. Михальчук П.А., Рябчун С.А., Полушкин А.Л. Стойкость бетонов при воздействии сульфатных сред на свежееуложенную бетонную смесь // Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах. Сб. тр. / Под ред. С.Н. Алексеева. - М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1988. - С. 28-32.
3. Гузеев Е.А., Савицкий Н.В., Тытюк А.А. Расчет напряженно-деформированного состояния нормальных сечений железобетонных изгибаемых элементов с учетом кинетики сульфатной коррозии бетона // Защита бетона и железобетона от коррозии. Сб. тр. под ред. С.Н. Алексеева, В.Ф. Степановой. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1990. – С. 59-66.
4. Тихомирова М.Ф. Агрессивность сульфатных растворов в зависимости от вида катиона // Бетон и железобетон, 1982, №3. С. 43-44.
5. Беловицкий В.А. Коррозионные испытания бетонов, модифицированных кремнийорганическими соединениями // Бетон и железобетон. – 1977, №9. – С. 37-38.
6. Курбатова И.И. Современные методы химического анализа строительных материалов. М., Стройиздат, 1972.
7. Гузеев Е.А. Влияние агрессивных сред на работу железобетонных конструкций / Технология и долговечность железобетонных конструкций. Тр. НИИЖБ. - М., 1977. - С. 133-141.
8. Гузеев Е.А. Влияние среды на механические свойства бетона // Прочность, структурные изменения и деформации бетона. - М., 1978. - С. 223-253.
9. Гузеев Е.А. Основы расчета и проектирования железобетонных конструкций повышенной стойкости в коррозионных средах. Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 1981. – 49 с.
10. Гузеев Е.А., Мальганов А.И. Влияние плотности бетона на долговечность бетонных и железобетонных конструкций, работающих в сульфатных средах / Материалы второй республиканской научно-технической конференции по нефтехимии АН Каз. СССР. Алма-Ата, 1971. С. 112-113.

11. Гузеев Е.А., Ренский А.Б., Мальганов А.И. Методика измерения деформаций в жидких агрессивных средах // Реферативный сборник «Межотраслевые вопросы строительства». Отечественный опыт. М., 1972, вып. 1. С. 10-12.
12. Гузеев Е.А., Рубецкая Т.В., Мальганов А.И. Деформации пропаренного бетона в растворах сульфатов при длительном нагружении // Бетон и железобетон, 1972, №5.
13. Гузеев Е.А., Рубецкая Т.В., Бубнова Л.С., Мальганов А.И. Деформации и прочность пропаренного бетона в зависимости от его плотности в растворах сульфатов при длительном действии нагрузки / Защита строительных конструкций промышленных зданий от коррозии. Труды НИИЖБ, 1972. С. 65-73.
14. Гузеев Е.А., Рубецкая Т.В., Мальганов А.И. Долговечность бетона в агрессивных сульфатных водах // Реферативный сборник «Межотраслевые вопросы строительства». Отечественный опыт, 1971, вып. 11. С. 21-22.

Ovchinnikov Ilya Igorevich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov
Moscow state automobile & Road technical university
Sochi branch, Russia, Sochi
E-mail: bridgeart@mail.ru

Ovchinnikov Igor Georgievich

Penza State University of Architecture and Construction, Russia, Penza
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov
Perm national research polytechnic university, Russia, Perm
E-mail: bridgesar@mail.ru

Chen Tao

Moscow State Automobile & Road Technical University, Russia, Moscow
E-mail: 313085767@qq.com

Uspanov Amergaley Marzagaleevich

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia, Saratov
E-mail: u.a.-91@mail.ru

Analysis of experimental data on the kinetics of penetration of sulfate environment in concrete structures and their influence on mechanical properties of concrete components. Part 1. Experiments to study the kinetics of penetration

Abstract. Experimental data on the kinetics of penetration of sulfate environment in the reinforced concrete structural elements and its further distribution over the cross section elements are considered. Experimental data in these studies represent any information about depth penetration of sulfate ions at different times in the construction material, or the distribution level of the chemical interaction of the environment with concrete over the cross section of the structural elements. It is noted that the penetration of sulfate-containing medium in the material of the structural elements, that can be worn as a diffusion nature, so be on the mechanism of the filtration. The interaction of the environment with dense heavy concrete in the absence of hydrostatic pressure penetration is diffusive. Showing factors affecting the kinetics of penetration of sulfate-environment design: a kind of aggressive environment (gaseous, liquid, solid, concentration, kind of the cation associated with sulfate ions, temperature and others); material properties (concrete characteristics - porosity type of cement, the presence of additives to the cement, the presence of accelerators of hardening concrete additives, technology and quality concrete production, etc.), the conditions of contact environment and construction (full or partial immersion of construction in aggressive environment, work in splash zone or aggressive environment capillary suction, alternate wetting construction aggressive medium and drying).

Keywords: sulfate-containing environment; corrosion; degradation; reinforced concrete; the mechanical properties; concrete; penetration; diffusion; filtration

REFERENCES

1. Alekseev S.N., Shashkina N.A., Puchnina E.A. Korroziya armatury v betone v zavisimosti ot stepeni agressivnosti vozduшной среды // Korroziya, metody zashchity i povysheniya dolgovechnosti betona i zhelezobetona. - NIIZhB. - M. - 1965. - S. 4-18.
2. Mikhal'chuk P.A., Ryabchun S.A., Polushkin A.L. Stoykost' betonov pri vozdeystvii sul'fatnykh sred na svezheulozhennuyu betonnyuyu smes' // Korroziyonnaya stoykost' betona, armatury i zhelezobetona v agressivnykh sredakh. Sb. tr. / Pod red. S.N. Alekseeva. - M.: NIIZhB Gosstroya SSSR, 1988. - S. 28-32.
3. Guzeev E.A., Savitskiy N.V., Tytyuk A.A. Raschet napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya normal'nykh secheniy zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s uchetom kinetiki sul'fatnoy korrozii betona // Zashchita betona i zhelezobetona ot korrozii. Sb. tr. pod red. S.N. Alekseeva, V.F. Stepanovoy. - M.: NIIZhB Gosstroya SSSR, 1990. - S. 59-66.
4. Tikhomirova M.F. Agressivnost' sul'fatnykh rastvorov v zavisimosti ot vida kationa // Beton i zhelezobeton, 1982, №3. S. 43-44.
5. Belovitskiy V.A. Korroziyonnye ispytaniya betonov, modifitsirovannykh kremniyorganicheskimi soedineniyami // Beton i zhelezobeton. - 1977, №9. - S. 37-38.
6. Kurbatova I.I. Sovremennyye metody khimicheskogo analiza stroitel'nykh materialov. M., Stroyizdat, 1972.
7. Guzeev E.A. Vliyanie agressivnykh sred na rabotu zhelezobetonnykh konstruksiy / Tekhnologiya i dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruksiy. Tr. NIIZhB. - M., 1977. - S. 133-141.
8. Guzeev E.A. Vliyanie sredy na mekhanicheskie svoystva betona // Prochnost', strukturnye izmeneniya i deformatsii betona. - M., 1978. - S. 223-253.
9. Guzeev E.A. Osnovy rascheta i proektirovaniya zhelezobetonnykh konstruksiy povyshennoy stoykosti v korroziyonykh sredakh. Avtoref. diss. ... dokt. tekhn. nauk. - M., 1981. - 49 s.
10. Guzeev E.A., Mal'ganov A.I. Vliyanie plotnosti betona na dolgovechnost' betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy, rabotayushchikh v sul'fatnykh sredakh / Materialy vtoroy respublikanskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii po neftekhimii AN Kaz. SSSR. Alma-Ata, 1971. S. 112-113.
11. Guzeev E.A., Renskiy A.B., Mal'ganov A.I. Metodika izmereniya deformatsiy v zhidkikh agressivnykh sredakh // Referativnyy sbornik «Mezhotraslevye voprosy stroitel'stva». Otechestvennyy opyt. M., 1972, vyp. 1. S. 10-12.
12. Guzeev E.A., Rubetskaya T.V., Mal'ganov A.I. Deformatsii proparenogo betona v rastvorakh sul'fatov pri dlitel'nom nagruzhenii // Beton i zhelezobeton, 1972, №5.
13. Guzeev E.A., Rubetskaya T.V., Bubnova L.S., Mal'ganov A.I. Deformatsii i prochnost' proparenogo betona v zavisimosti ot ego plotnosti v rastvorakh sul'fatov pri dlitel'nom deystvii nagruzki / Zashchita stroitel'nykh konstruksiy promyshlennykh zdaniy ot korrozii. Trudy NIIZhB, 1972. S. 65-73.
14. Guzeev E.A., Rubetskaya T.V., Mal'ganov A.I. Dolgovechnost' betona v agressivnykh sul'fatnykh vodakh // Referativnyy sbornik «Mezhotraslevye voprosy stroitel'stva». Otechestvennyy opyt, 1971, vyp. 11. S. 21-22.