

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ БЕТОНА СЕВЕРНЫХ ПЛОТИН В МЕСТАХ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Описывается негативное воздействие водной среды на бетонные конструкции северных плотин в местах сосредоточенной фильтрации. Приведены результаты экспериментальной работы, которые позволили провести системный анализ процессов, протекающих в бетоне при фильтрации воды по трещинам, швам и другим дефектам в теле плотин. Построена графо-аналитическая модель и описан процесс осаждения кальцита из воды водохранилища.

Ключевые слова: бетон, фильтрация, коррозия, модель.

В зависимости от химического состава вода-среда может проявлять по ряду показателей агрессивные свойства по отношению к бетону. Воздействие воды на бетон может носить деструктивный характер, что проявляется в усилении фильтрации и, как следствие, приводит к снижению надежности сооружения. Коррозионный процесс, сопровождающий фильтрацию и протекающий в контактной зоне бетона, может привести к серьезным повреждениям напорного фронта, что повлечет за собой огромные экономические затраты на его восстановление.

Центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды г. Братска проводился анализ химического состава воды Братского водохранилища с 1963 по 2000 гг. В период с 1975 по 1979 гг. гидротехнической лабораторией ИНУС при Иркутском госуниверситете и с 1980 г. по настоящее время – химической лабораторией Братской ГЭС проводится отбор проб и исследование химического состава воды, профильтрованной через бетон напорной грани плотины.

В результате анализа натуральных наблюдений за химическим составом воды, профильтрованной через бетон плотины, при определенных условиях был обнаружен вынос из бетона натриевых и калиевых соединений при осаждении кальциевых соединений (кальцита) на поверхности фильтрующих трещин. Основной

причиной указанных особенностей коррозии можно рассматривать насыщение фильтрата легко растворимыми щелочами (Na_2O и K_2O) цемента, которые усваивают свободную углекислоту CO_2 , содержащуюся в воде водохранилища. Существенное уменьшение или полное отсутствие свободной углекислоты нарушает необходимое условие существования в воде водохранилища бикарбоната кальция, который распадается с образованием кальцита, т. е. поставщиком отлагающегося кальцита в определенных условиях является вода водохранилища.

Для проверки предположений о преимущественном выносе из бетона натриевых и калиевых соединений при осаждении кальциевых, в химической лаборатории Братской ГЭС были поставлены эксперименты, целью которых было моделирование процессов, протекающих в бетоне под воздействием фильтрации воды [1].

Суть первой части эксперимента заключалась в поэтапном насыщении воды водохранилища ионами натрия и наблюдении за изменением содержания иона кальция.

Было отобрано 7 проб воды Братского водохранилища объемом 500 мл. В пробе 1 без добавления NaOH определялось содержание Ca^{2+} , Na^+ , pH и $\text{CO}_2^{\text{св}}$. В остальные пробы добавили щелочь NaOH с

концентрацией 0,1 моль/л в объеме 8,5; 17; 25; 33; 50 и 75 мл (табл. 1).

После восьмичасовой выдержки определялось содержание тех же Ca^{2+} , Na^+ , pH и $\text{CO}_2^{\text{св}}$ (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что при нарастании концентрации ионов натрия содержание иона кальция закономерно уменьшается. Полученные результаты эксперимента позволяют дать объяснение такому явлению, как понижение концентрации ионов кальция в фильтрате по сравнению с водой водохранилища, т. е. источником для образования кальцита в определенных условиях может служить не только цементный камень, но и распадающийся бикарбонат кальция из воды водохранилища.

Вторая часть эксперимента была посвящена проверке растворимости CaO , соответственно, в дистиллированной воде, воде водохранилища и воде водохранилища с добавкой Na^+ .

Для проведения эксперимента было приготовлено пять проб насыщенных растворов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на дистиллированной воде и воде водохранилища (табл. 2). В пробы 3, 4, 5 с водой водохранилища добавили сухую навеску едкого натра в количестве 0,15 г, 0,3 г и 2 г. После 6 часов выдерживания было определено содержание ионов кальция (табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что по мере добавления ионов натрия в воду водохранилища концентрация ионов Ca^{2+} уменьшается. Таким образом, можно сделать вывод, что присутствие едких щелочей в цементном камне существенно влияет на растворимость CaO .

В результате экспериментальной работы была построена зависимость (рис. 1), отражающая изменение растворимости CaO в воде водохранилища с различной степенью насыщения ионами Na^+ . Зависимость была аппроксимирована в виде уравнения:

$$y = 18,413 \text{Ln}(x) - 37,966, \quad (1)$$

где y – изменение содержания ионов Ca^{2+} , %; x – концентрация ионов Na^+ , мг/л.

На основании данных, полученных на плотине Братской ГЭС за период с 1977 по 2006 гг., было определено уравнение регрессии (2), описывающее зависимость концентрации ионов Na^+ от фильтрационных расходов:

$$y = 2,8803e^{-0,9908x}, \quad (2)$$

где y – концентрация Na^+ , мг/л; x – расход воды ($\text{Log } q - 1$), л/мин.

Подставляя в уравнение значения фильтрационных расходов, взятых как ($\text{Log } q - 1$), была получена зависимость концентрации ионов Na^+ от величины расхода воды (рис. 2).

Таким образом, полученные зависимости позволили проанализировать влияние величины расхода воды на изменение содержания ионов Ca^{2+} и Na^+ и смоделировать процессы, протекающие в фильтрующих трещинах.

Подставляя в уравнение (2) логарифмическое значение величины расхода воды, получили концентрацию ионов Na^+ . Исходя из полученного, находим концентрацию ионов Ca^{2+} из уравнения (1). Полученные данные позволили с помощью программного комплекса STADIA построить математическую модель, отражающую снижение концентрации ионов Ca^{2+} в фильтрующих трещинах в зависимости от расхода воды, т. е., по существу, описан процесс осаждения кальцита из воды водохранилища и определены границы, при которых это явление имеет место (рис. 3).

Таблица 1

Результаты эксперимента по добавлению NaOH в воду Братского водохранилища

№ пробы	Содержание в воде водохранилища, мг/л				Объем добавл. NaOH концентрацией 0,1 моль/л на 500 мл воды, мл	Содержание, мг/л					
	Ca ²⁺	Na ⁺	pH	CO ₂ ^{св.}		Ca ²⁺		Na ⁺		pH	CO ₂ ^{св.}
						По результатам анализа	Понижение содержания, %	По результатам анализа	Разница между опытным и расчетным содержанием, %		
1	25,05	7,80	8,16	3,97	0	-	-	-	-	-	-
2	23,05	46,25	-	-	8,5	16,03	30,45	49,7	7,46	10,4	не обнаруж.
3	22,67	83,43	-	-	17	12,02	46,98	88,2	5,72	10,9	не обнаруж.
4	22,32	117,32	-	-	25	10,02	55,11	138,5	18,05	11,4	не обнаруж.
5	21,99	150,20	-	-	33	9,02	58,98	163,2	8,65	11,6	не обнаруж.
6	21,31	216,89	-	-	50	8,02	62,36	267,0	23,10	11,9	не обнаруж.
7	20,38	307,80	-	-	75	7,01	65,60	327,9	6,53	12,0	не обнаруж.
Среднее									+11,58		

Таблица 2

Результаты эксперимента по добавлению извести-пушонки и едкого натрия NaOH в дистиллированную воду и в воду Братского водохранилища

№ пробы	Вода, используемая для эксперимента	Масса добавл. Ca(OH) ₂ на 500 мл воды, г	Масса добавл. едкого Na (NaOH 0,1N) на 500 мл воды, г	Концентрация Ca ²⁺ , мг/л	Понижение содержания Ca ²⁺ , %	Расчетное содержание Na ⁺ , мг/л
1	дистиллированная	26	-	1102,2	143	-
2	вода водохранилища	26	-	701,4	100	7,8
3	вода водохранилища	26	0,15	300,6	57	180,3
4	вода водохранилища	26	0,30	200,4	71	345,0
5	вода водохранилища	26	2,00	100,2	86	2307,8

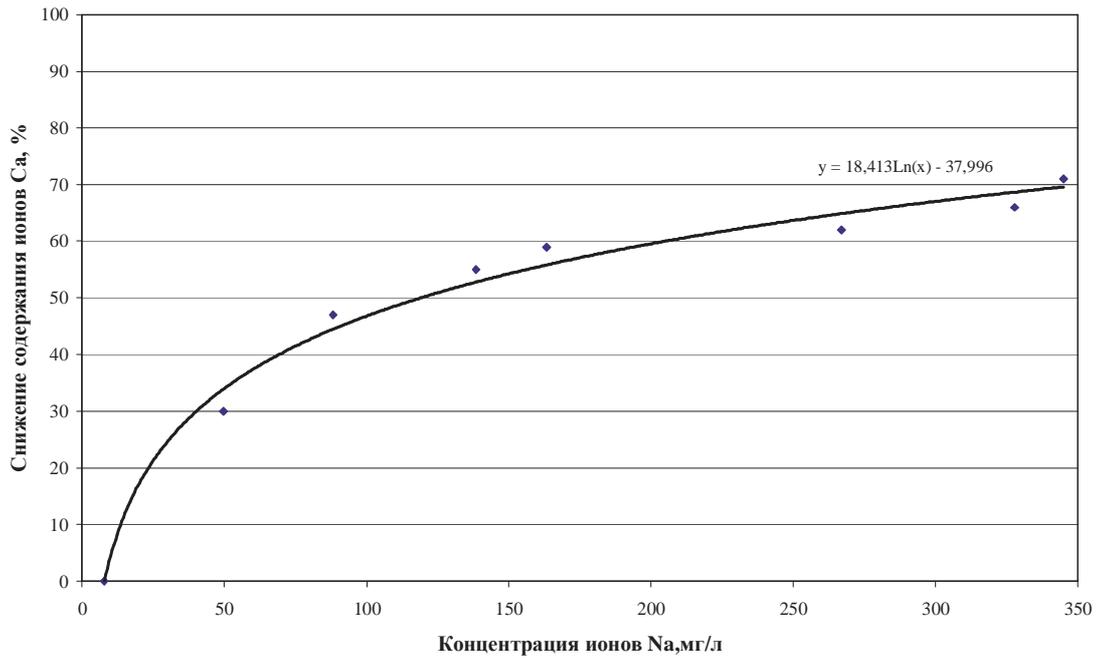
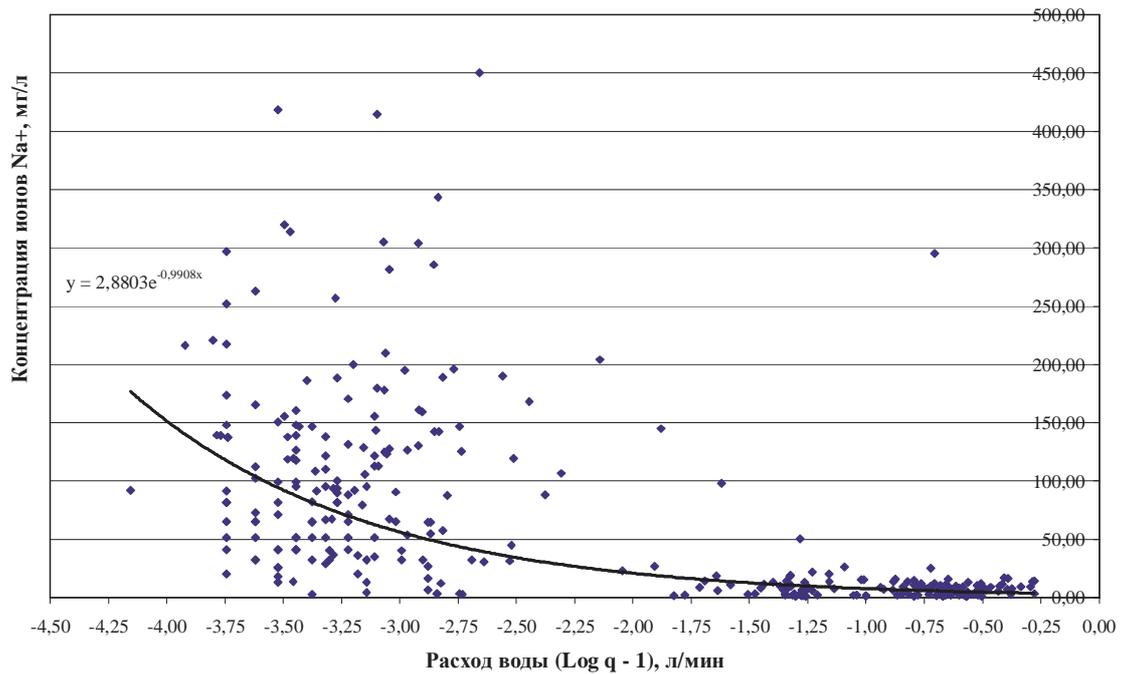


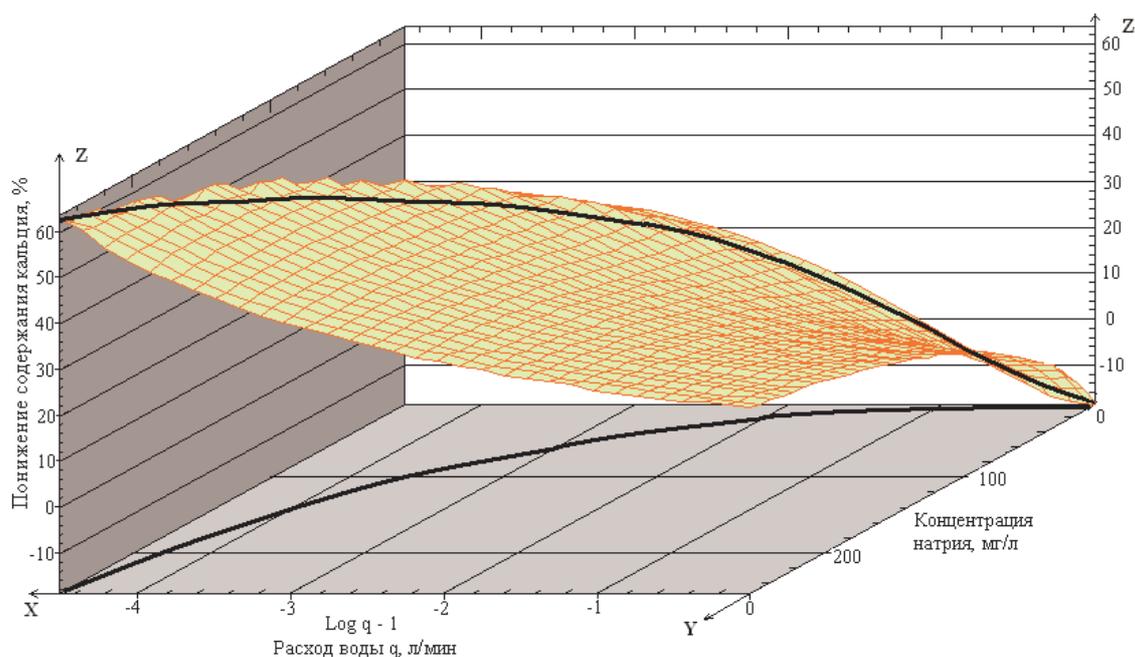
Рис. 1. Зависимость изменения содержания ионов Ca^{2+} от концентрации ионов Na^+



Примечание:

Расход воды q , л/мин	10	3,0	1,0	0,3	0,10	0,03	0,01	0,003	0,001
Расход воды $(\text{Log } q - 1)$	0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0

Рис. 2. Зависимость концентрации ионов Na^+ от расхода воды



Примечание:

Расход воды q , л/мин	10	3,0	1,0	0,3	0,10	0,03	0,01	0,003	0,001
Расход воды ($\text{Log } q - 1$)	0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0

Рис. 3. Графо-аналитическая модель процессов, протекающих в бетоне

Литература

При фильтрационных расходах менее 0,03 л/мин происходит устойчивое отложение кальцита по путям фильтрации, соответственно, при увеличении расходов происходит его вымывание из цементного камня. Таким образом, источником для образования кальцита является бикарбонат кальция в воде водохранилища.

Полученные результаты эксперимента, позволили дать объяснение такому явлению, как понижение концентрации ионов кальция в фильтрате по сравнению с водой водохранилища, и подтвердили, что присутствие едких щелочей в цементном камне существенно влияет на характер коррозионного процесса [2].

1. Курицына, А. М. Проверка гипотезы о преимущественном выносе из бетона натриевых и калиевых соединений при осаждении кальциевых в условиях слабой фильтрации воды через бетон / А. М. Курицына, О. Г. Бронникова // Естественные и инженерные науки – развитию регионов: Труды Братского гос. ун-та. В 2 т. Т.2 – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2008. – С. 206-209.

2. Розенталь, Н. К. Роль щелочей в сульфатной коррозии / Н. К. Розенталь, Г. В. Любарская // Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве: материалы международной конф. 10-12 октября 2007 г. Санкт-Петербург. – СПб.: РИФ «Роза мира», 2007. – С.110-116.