

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 2 / 2023, Vol. 15, Iss. 2 <https://esj.today/issue-2-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/39SAVN223.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Братошевская, В. В. Моделирование процессов коррозии бетона в водных растворах многоатомных спиртов / В. В. Братошевская // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/39SAVN223.pdf>

For citation:

Bratoshevskaya V.V. Modeling of concrete corrosion processes in aqueous solutions of polyatomic alcohols. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2): 39SAVN223. Available at: <https://esj.today/PDF/39SAVN223.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 691.542:620.193

Братошевская Виолетта Витальевна

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, Россия

Профессор

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: violetta-architector@yandex.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=511325

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57215534758>

Моделирование процессов коррозии бетона в водных растворах многоатомных спиртов

Аннотация. Выявлены пределы активной концентрации агрессивности многоатомных спиртов, а также оптимальное количество минеральных гидравлических добавок (баканская опока, доменный гранулированный шлак), вводимых в состав мелкозернистого бетона для повышения его долговечности. Исследования проводились с использованием метода математического планирования эксперимента.

Предварительные исследования агрессивности многоатомных спиртов по отношению к мелкозернистым бездобавочным бетонам (однофакторные зависимости) показали целесообразность постановки плана второго порядка. Эксперимент поставлен по программе центрального композиционного ротатбельного униформ-планирования.

Были решены двух- и трехфакторные задачи, в результате которых определено оптимальное содержание гидравлических добавок в мелкозернистом бетоне с разным водоцементным отношением, обеспечивающих максимальную стойкость в растворах многоатомных спиртов.

При решении трехфакторных задач в качестве третьего фактора была выбрана добавка минерального компонента с высоким содержанием кремнезема — опоки или доменного гранулированного шлака. Параметром оптимизации явилась прочность образцов из цементно-песчаного раствора с разным водоцементным отношением после их испытания в агрессивных растворах многоатомных спиртов низких концентраций (попеременное замораживание и оттаивание).

Изучение сравнительной степени адсорбции многоатомных спиртов на различных силикатах показало, что введение в состав вяжущего гидравлических добавок адсорбция на цементном камне уменьшается, вследствие чего коррозионная стойкость бетонов повышается. Это связано с изменением заряда поверхности адсорбента за счет уменьшения содержания

ионов кальция и адсорбционной активности молекул многоатомных спиртов (глицерин и этиленгликоль).

По результатам экспериментальных данных получены уравнения зависимости прочности образцов от концентрации растворов спиртов и количества вводимых в состав бетонов минеральных добавок.

Результаты планирования эксперимента показали, что наибольшей агрессивностью обладают растворы глицерина и этиленгликоля при их концентрации в воде 2...2,5 %, а оптимальное содержание гидравлических добавок при концентрации раствора глицерина 2,5 % составляет для опоки 15 % массы портландцемента; а доменного гранулированного шлака — 30 %.

Ключевые слова: строительные конструкции; многоатомные спирты; концентрация растворов; коррозия; математическое планирование; факторная зависимость; гидравлические добавки; оптимизация состава

Введение

Строительные конструкции, эксплуатируемые на предприятиях по производству многоатомных спиртов, подвержены разрушительному воздействию этих сред, когда имеет место непосредственное соприкосновение бетона и железобетона с их водными растворами [1; 2]. Исследования, проведенные нами на цементно-песчаных образцах с различными добавками, показали, что с введением в состав вяжущего гидравлических добавок (опока, шлак), несущих на своей поверхности отрицательный заряд, происходит снижение удельного содержания ионов кальция на поверхности цементного камня и соответственно происходит изменение ее заряда. При выборе наиболее вероятной ориентации адсорбированных молекул спирта учитывалось, что атомы углеродных радикалов будут размещаться возможно ближе к уже отрицательно заряженной поверхности цементного камня, а ионогенные функциональные группы будут втягиваться вглубь водных слоев и образовывать с молекулами воды Н-связи. Вследствие того, что углеводородный радикал имеет слабую энергетическую активность, молекулы спирта либо не адсорбируются, либо адсорбируются крайне слабо [3; 4]. Изложенное позволило высказать предположение, что введением в структуру вяжущего гидравлических добавок можно повысить коррозионную стойкость бетона при воздействии на него растворов многоатомных спиртов.

Постановка задачи

Изучение сравнительной степени адсорбции многоатомных спиртов на различных силикатах подтвердило ранее выдвинутую гипотезу о влиянии гидравлических добавок на адсорбционную активность многоатомных спиртов. При введении в состав вяжущего гидравлических добавок адсорбция на цементном камне снижается, что связано с изменением заряда поверхности адсорбента за счет уменьшения как содержания ионов кальция, так и адсорбционной активности молекул многоатомных спиртов (глицерин и этиленгликоль). В связи с этим была поставлена задача изучить способы возможного повышения стойкости бетонов в водных растворах многоатомных спиртов путем модификации внутренней поверхности цементного камня. С этой целью возникла необходимость определения пределов активной концентрации агрессивности растворов многоатомных спиртов и оптимального количества минеральных гидравлических добавок (опока и доменный гранулированный шлак).

Методика расчета

Зависимость прочности цементно-песчаных образцов от концентрации водных растворов агрессивных сред определялась с применением метода математического планирования эксперимента [5; 6]. Предварительные исследования агрессивности многоатомных спиртов по отношению к мелкозернистым бездобавочным бетонам (однофакторные зависимости) показали целесообразность постановки плана второго порядка.

Эксперимент был поставлен по программе центрального композиционного ротатабельного равномерного планирования. Реализованные четыре опыта полного факторного эксперимента были дополнены четырьмя опытами в «звездных точках» и пятью — в центре (табл. 1). Уровни факторов и интервалы варьирования были выбраны по результатам предварительных поисковых экспериментов.

В качестве параметра оптимизации принят предел прочности при сжатии и изгибе образцов, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:2 с разным водоцементным отношением (В/Ц), после 10 циклов попеременного замораживания на воздухе и оттаивания в агрессивной среде при температуре +20...+25°C. Агрессивными средами служили растворы многоатомных спиртов (глицерин и этиленгликоль) низких концентраций [5].

Таблица 1

Условия планирования эксперимента

Уровень фактора	x_1 (в/ц)		x_2 (концентрация агрессивной среды)	
	натуральное значение	код	натуральное значение	код
Основной	0,40	0	2,5	0
Нижний	0,29	-	0,7	-
Верхний	0,51	+	4,3	+
Интервал варьирования Δx_i	0,11		1,8	

Разработано авторами

Матрица ротатабельного равномерного планирования экспериментов и результаты измерений для разных агрессивных сред представлены в таблице 2.

Таблица 2

Матрица планирования, результаты эксперимента и их статистический анализ

№ опыта	План эксперимента			Результаты эксперимента					
	x_0	x_1	x_2	глицерин			этиленгликоль		
				$y_э, \%$	$y_р, \%$	$(y_э - y_р)^2$	$y_э, \%$	$y_р, \%$	$(y_э - y_р)^2$
1	+	-	-	54	52,1	3,61	60	58,1	3,61
2	+	+	-	44	40,9	9,61	47	44,1	8,41
3	+	-	+	51	42,1	1,21	58	58,1	0,01
4	+	+	+	38	40,9	3,61	41	44,1	9,61
5	+	-1,414	0	48	48,1	0,01	53	51,0	4,00
6	+	+1,414	0	32	27,4	21,16	35	32,3	7,29
7	+	0	-1,414	53	52,8	0,04	58	57,9	0,01
8	+	0	+1,414	52	52,8	0,64	57	57,9	0,81
9	+	0	0	41	43,0	4,00	45	47,4	5,76
10	+	0	0	42	43,0	1,00	45	47,4	5,76
11	+	0	0	40	43,0	9,00	49	47,4	2,56
12	+	0	0	42	43,0	1,00	47	47,4	0,16
13	+	0	0	42	43,0	1,00	47	47,4	0,16

Разработано авторами

Прочность изгиба $R_{и}$ определялась по результатам трех параллельных опытов, рандомизированных во времени с использованием таблицы случайных чисел.

После подстановки значений коэффициентов уравнения регрессии принимают вид:

$$Y_{\text{гл.}} = 43 - 5,6x_1 - 1,25x_2 - 0,75x_1x_2 - 1,40x_1^2 + 2,90x_2^2;$$

$$Y_{\text{э-г.}} = 47,4 - 7x_1 - 1,13x_2 - x_1x_2 - 1,51x_1^2 + 3,24x_2^2.$$

После определения значений дисперсий параметра оптимизации и среднеквадратических ошибок, а также доверительных интервалов для коэффициентов уравнений регрессии была проверена адекватность полученных моделей [6].

Коэффициенты при x_1 и x_1x_2 в уравнениях по абсолютной величине меньше доверительного интервала. Считаем их статистически незначимыми и исключаем из уравнения регрессии, которые принимают вид:

$$\text{для глицерина — } y = 43 - 5,6x_1 - 1,4x_1^2 + 2,9x_2^2;$$

$$\text{для этиленгликоля — } y = 47,4 - 7x_1 - 1,51x_1^2 + 3,24x_2^2.$$

Дифференцируя уравнения и приравнявая нулю частные производные, находим координаты фигуры, образованной поверхностью отклика:

$$\text{для глицерина — } \frac{dy}{dx_1} = -5,6 - 2,8x_1 = 0; x_{1S} = -2; \frac{dy}{dx_2} = -9,8x_2 = 0; x_{2S} = 0;$$

$$\text{для этиленгликоля — } \frac{dy}{dx_1} = -7 - 3,02x_1 = 0; x_{1S} = -2,31; \frac{dy}{dx_2} = 10,4x_2 = 0; x_{2S} = 0;$$

Подставляя значения x_{1S} и x_{2S} в полученные ранее уравнения регрессии, находим значение параметра оптимизации y_S в новом начале координат. Поскольку коэффициенты при x_1x_2 в обоих уравнениях незначимы, то угол поворота между старыми и новыми координатами равен нулю.

$$\text{Находим } Y_{\text{сгл}} = 48,6; Y_{\text{сэ-г}} = 55,5.$$

После параллельного переноса координатных осей уравнения принимают вид:

$$\text{для глицерина — } Y - 48,6 = -1,4X_1^2 + 2,9X_2^2;$$

$$\text{для этиленгликоля — } Y - 55,5 = -1,51X_1^2 + 3,24X_2^2.$$

Результаты и обсуждение

Контурные кривые, построенные на основании полученных уравнений, показывают, что наибольшей агрессивностью обладают растворы глицерина и этиленгликоля при их концентрации в воде, близкой к 2,5 % (рис. 1) во всех исследованных областях водоцементного фактора. При этом большее влияние агрессивности растворов многоатомных спиртов прослеживается в области низких значений В/Ц, а с увеличением В/Ц оно уменьшается.

Сравнивая относительное влияние растворов глицерина и этиленгликоля на цементно-песчаные образцы, можно отметить, что первые обладают большей агрессивностью. Это подтверждает высказанную ранее гипотезу о влиянии количества гидроксильных групп в молекулах многоатомных спиртов на степень их агрессивности и позволило предположить, что четырехатомный спирт проявит еще большую агрессивность, чем глицерин. Для подтверждения этого были проведены контрольные испытания коррозионной стойкости по наиболее жесткому режиму образцов, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:2 с В/Ц = 0.4. Исследования проводились в 2%-ном растворе пентаэритрита $(\text{CH}_2\text{OH})_4\text{C}$ — четырехатомного спирта с разветвленной углеводородной цепью, обладающего всеми свойствами полиатомных спиртов.

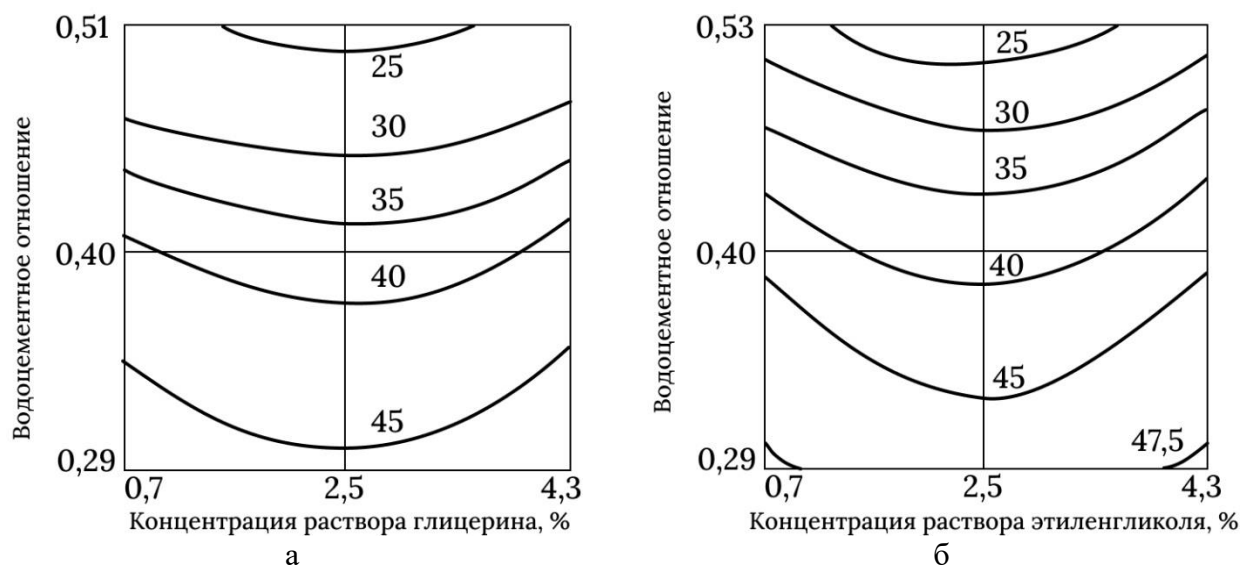


Рисунок 1. Зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения и концентрации водных растворов глицерина — а и этиленгликоля — б (разработано авторами)

Результаты проведенных испытаний показали, что при циклическом замораживании и оттаивании по режиму — насыщение 2%-ным водным раствором пентаэритрита в течение 24 ч, замораживание при температуре — 10 °С в течение 24 ч, образцы разрушились уже через два цикла, тогда как в 2%-ном растворе глицерина — через четыре-пять циклов [7].

Экспериментальное изучение сравнительной степени адсорбции многоатомных спиртов на различных силикатах показало, что с увеличением содержания минеральных гидравлических добавок в вяжущем адсорбция на цементном камне уменьшается, вследствие чего коррозионная стойкость бетонов повышается [8]. Для достижения максимального эффекта при введении добавок необходимо знать их оптимальное количество.

Следующий этап планирования включал в себя решение трехфакторных задач. В качестве третьего фактора была выбрана добавка минерального компонента с высоким содержанием кремнезема — опоки или доменного гранулированного шлака. Условия планирования эксперимента представлены в таблице 3, матрица планирования и результаты экспериментов — в таблицах 4–6. В качестве параметра оптимизации принималась относительная прочность образцов, изготовленных из цементно-песчаного раствора состава 1:2 разного В/Ц с различным содержанием опоки и доменного гранулированного шлака, после 10 циклов попеременного замораживания на воздухе и оттаивания в агрессивных средах при температуре +20...+25°С. В качестве агрессивных сред на основании предыдущих исследований были выбраны более агрессивные — растворы глицерина с концентрацией 0,5...4,5 %.

Таблица 3

Условия планирования эксперимента

Уровень фактора	x ₁ (В/Ц)		x ₂ (концентрация глицерина)		x ₃ (содержание опоки)		x ₄ (содержание шлака)	
	натур.	код	натур.	код	натур.	код	натур.	код
Основной	0,40	0	2,5	0	15	0	30	0
Нижний	0,29	-	0,5	-	0	-	0	-
Верхний	0,51	+	4,5	+	30	+	60	+
Интервал варьирования Δx _i	0,11		2,0		15		30	

Разработано авторами

Таблица 4

Матрица планирования и результаты экспериментов

№ опыта	x ₀	x ₁	x ₂	Значения функции отклика при введении добавок R _{изг} , %	
				у (опока)	у (шлак)
1	-	-	-	54	60
2	+	-	-	44	47
3	-	+	-	51	58
4	+	+	-	38	41
5	-	-	+	52	57
6	+	-	+	38	43
7	-	+	+	66	70
8	+	+	+	56	60
9	-	0	0	60	64
10	+	0	0	50	56
11	0	-	0	76	82
12	0	+	0	78	87
13	0	0	-	20	20
14	0	0	+	40	48

Разработано авторами

После определения коэффициентов уравнений регрессии и среднеквадратических ошибок полные уравнения принимают вид:

для опоки — $y = 57,2 - 5,1x_1 + 1,5x_2 + 3,9x_3 - 2,2x_1^2 + 19,8x_2^2 - 6,4x_2x_3 - 25x_3^2$;

для шлака — $y = 67 - 6,2x_1 + 2,4x_2 + 2,8x_3 - 3,5x_1^2 + 13,5x_2^2 - 5,6x_2x_3 - 23,5x_3^2$.

Полученные уравнения регрессии позволяют определить оптимальное содержание гидравлических добавок в бетоне, обеспечивающих максимальную стойкость в растворах многоатомных спиртов, для чего было необходимо установить координаты центра поверхности, образованной функцией отклика (стационарная точка).

Таблица 5

Результаты эксперимента и их статистический анализ (опока)

№ опыта	y ₁	y ₂	y ₃	\bar{y}	S _y ²	f _u	γ _u	У _{расч.}	(y-y _p) ²	γ (y-y _p) ²
1	50	58	54	54	32	2	3	55,67	2,78	8,37
2	42	46	44	44	8	2	3	45,47	2,16	6,48
3	54	49	50	51	14	2	3	48,90	4,41	13,23
4	34	41	39	38	26	2	3	35,70	5,29	15,87
5	51	53	-	52	2	1	2	50,70	1,63	13,26
6	37	39	-	38	2	1	2	40,50	6,25	12,50
7	64	68	-	66	8	1	2	66,50	0,25	0,50
8	54	58	-	56	8	1	2	56,30	0,09	0,18
9	60	-	-	60	0	0	1	60,10	0,01	0,01
10	50	-	-	50	0	0	1	49,90	0,01	0,01
11	76	-	-	76	0	0	1	75,50	0,25	0,25
12	78	-	-	78	0	0	1	78,50	0,25	0,25
13	20	-	-	20	0	0	1	19,10	0,81	0,81
14	40	-	-	40	0	0	1	35,90	16,81	16,81
						12				78,53

Разработано авторами

Таблица 6

Результаты эксперимента и их статистический анализ (шлак)

№ опыта	y_1	y_2	y_3	\bar{y}	S_y^2	f_u	γ_u	Урасч.	$(y-y_p)^2$	$\gamma(y-y_p)^2$
1	57	64	59	60	26	2	3	60,10	0,01	0,03
2	50	43	46	47	26	2	3	47,70	0,49	1,47
3	62	58	54	58	32	2	3	53,70	18,49	55,47
4	43	42	38	41	14	2	3	40,30	0,49	1,47
5	60	54	-	57	18	1	2	54,50	6,25	12,50
6	40	46	-	43	18	1	2	42,10	0,81	1,62
7	67	73	-	70	18	1	2	70,50	0,25	0,50
8	57	63	-	60	18	1	2	58,10	3,61	7,22
9	64	-	-	64	0	0	1	69,70	32,49	32,49
10	56	-	-	56	0	0	1	57,30	1,69	1,69
11	82	-	-	82	0	0	1	78,10	15,21	15,21
12	84	-	-	84	0	0	1	82,90	1,21	1,21
13	20	-	-	20	0	0	1	23,70	5,29	5,29
14	48	-	-	48	0	0	1	46,30	2,89	2,89
						12				139,10

Разработано авторами

Поскольку наибольший интерес представляет оптимальное содержание гидравлической добавки в бетонах X_3 , находящихся в растворах многоатомных спиртов разных концентраций X_2 , то стабилизируем фактор X_1 (В/Ц) на различных уровнях (-1, 0, +1). Выявляем влияние только двух факторов X_2 и X_3 на выход процесса.

В результате получаем:

$$\text{для опоки — } X_1 = -1 \quad Y = 60,1 + 1,5x_2 + 3,9x_3 + 19,8x_2^2 - 6,4x_2x_3 - 25,2x_3^2;$$

$$X_1 = 0 \quad Y = 57,2 + 1,5x_2 + 3,9x_3 + 19,8x_2^2 - 6,4x_2x_3 - 25,2x_3^2;$$

$$X_1 = +1 \quad Y = 49,9 + 1,5x_2 + 3,9x_3 + 19,8x_2^2 - 6,4x_2x_3 - 25,2x_3^2;$$

$$\text{для шлака — } X_1 = -1 \quad Y = 69,7 + 2,4x_2 + 2,8x_3 + 13,5x_2^2 - 5,6x_2x_3 - 23,5x_3^2;$$

$$X_1 = 0 \quad Y = 67,0 + 2,4x_2 + 2,8x_3 + 13,5x_2^2 - 5,6x_2x_3 - 23,5x_3^2;$$

$$X_1 = +1 \quad Y = 57,3 + 2,4x_2 + 2,8x_3 + 13,5x_2^2 - 5,6x_2x_3 - 23,5x_3^2.$$

После параллельного переноса и поворота координатных осей и переноса свободного члена в левую часть уравнения регрессии принимают вид:

$$\text{для опоки — } X_1 = -1 \quad Y - 60,2 = 19,8x_2^2 - 25,2x_3^2;$$

$$X_1 = 0 \quad Y - 57,3 = 19,8x_2^2 - 25,2x_3^2;$$

$$X_1 = +1 \quad Y - 50,0 = 19,8x_2^2 - 25,2x_3^2;$$

$$\text{для шлака — } X_1 = -1 \quad Y - 69,7 = 13,5x_2^2 - 23,5x_3^2;$$

$$X_1 = 0 \quad Y - 67,0 = 13,5x_2^2 - 23,5x_3^2;$$

$$X_1 = +1 \quad Y - 57,3 = 13,5x_2^2 - 23,5x_3^2.$$

Полученные уравнения описывают собой гиперболические параболоиды с центром в пределах плана. Построенные контурные кривые позволили выявить зависимость влияния количества добавок (опоки и шлака) на изменение прочности бетона в агрессивных растворах глицерина (рис. 2, 3).

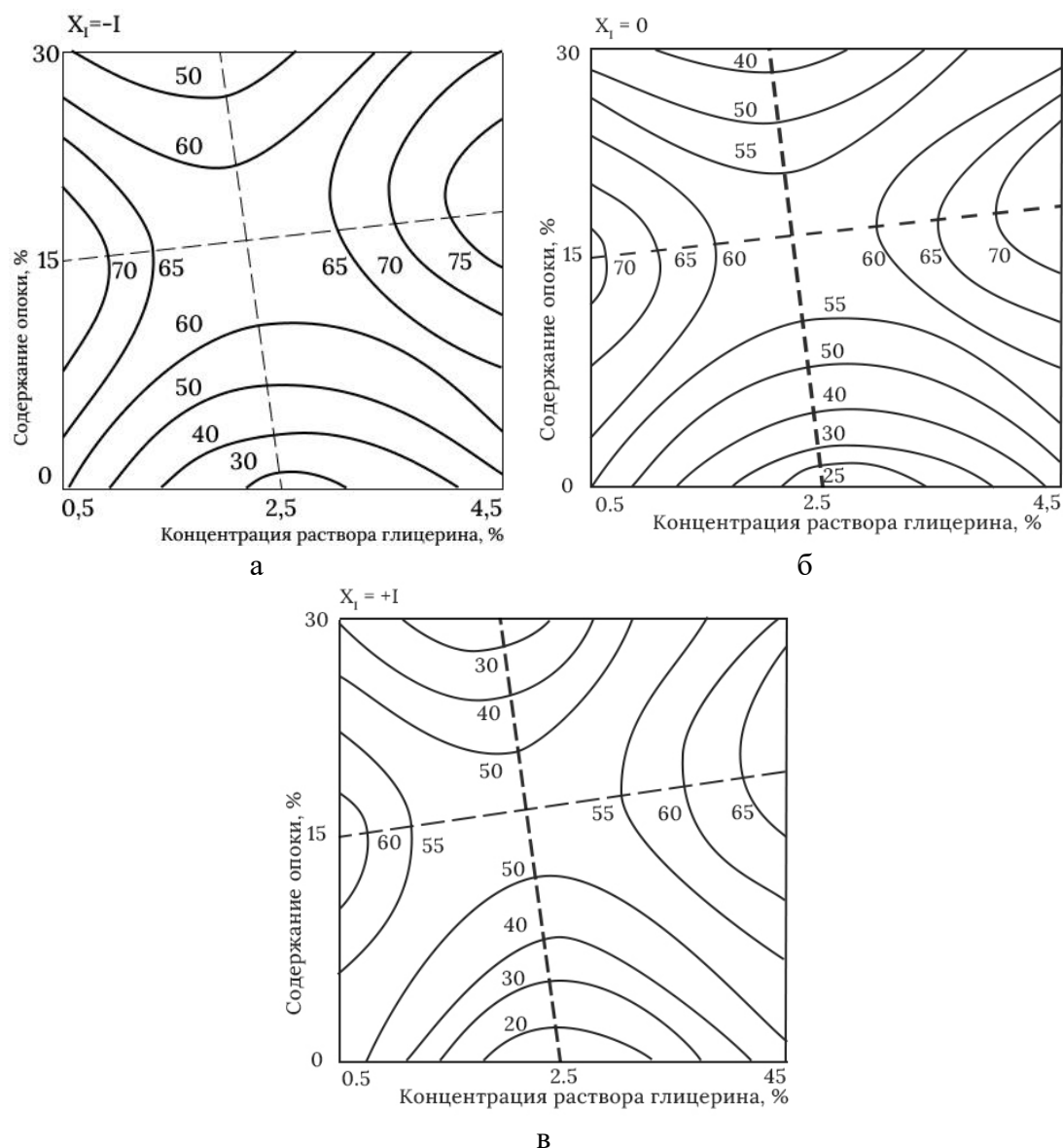


Рисунок 2. Зависимость прочности бетона от содержания опоки и концентрации глицерина при В/Ц = 0,29 (а), 0,4 (б) и 0,51 (в) (разработано авторами)

При всех исследованиях значения В/Ц фактора лучшие показатели свойств бетона наблюдались при содержании опоки, близком к 15 %, шлака — 30 %. Выявлено также, что наибольшей агрессивностью обладают растворы глицерина при концентрации в воде 2...2,5 %.

Предварительные лабораторные испытания при воздействии отрицательных температур и их обработка с применением метода математического планирования позволили определить необходимую концентрацию растворов многоатомных спиртов и оптимальное количество минеральных гидравлических добавок для коррозионных испытаний при таком режиме [8; 9].

Исследования проводились на образцах из мелкозернистых бетонов класса В25 после 28-суточного нормального твердения. Были изготовлены образцы на чистом портландцементе, а также с добавками 15 % опоки и 30 % доменного гранулированного шлака (табл. 4, 5).

В качестве агрессивных сред были приняты водные растворы глицерина и этиленгликоля 1–2%-ных концентраций. Параллельно проводились испытания образцов, хранившихся в воде.

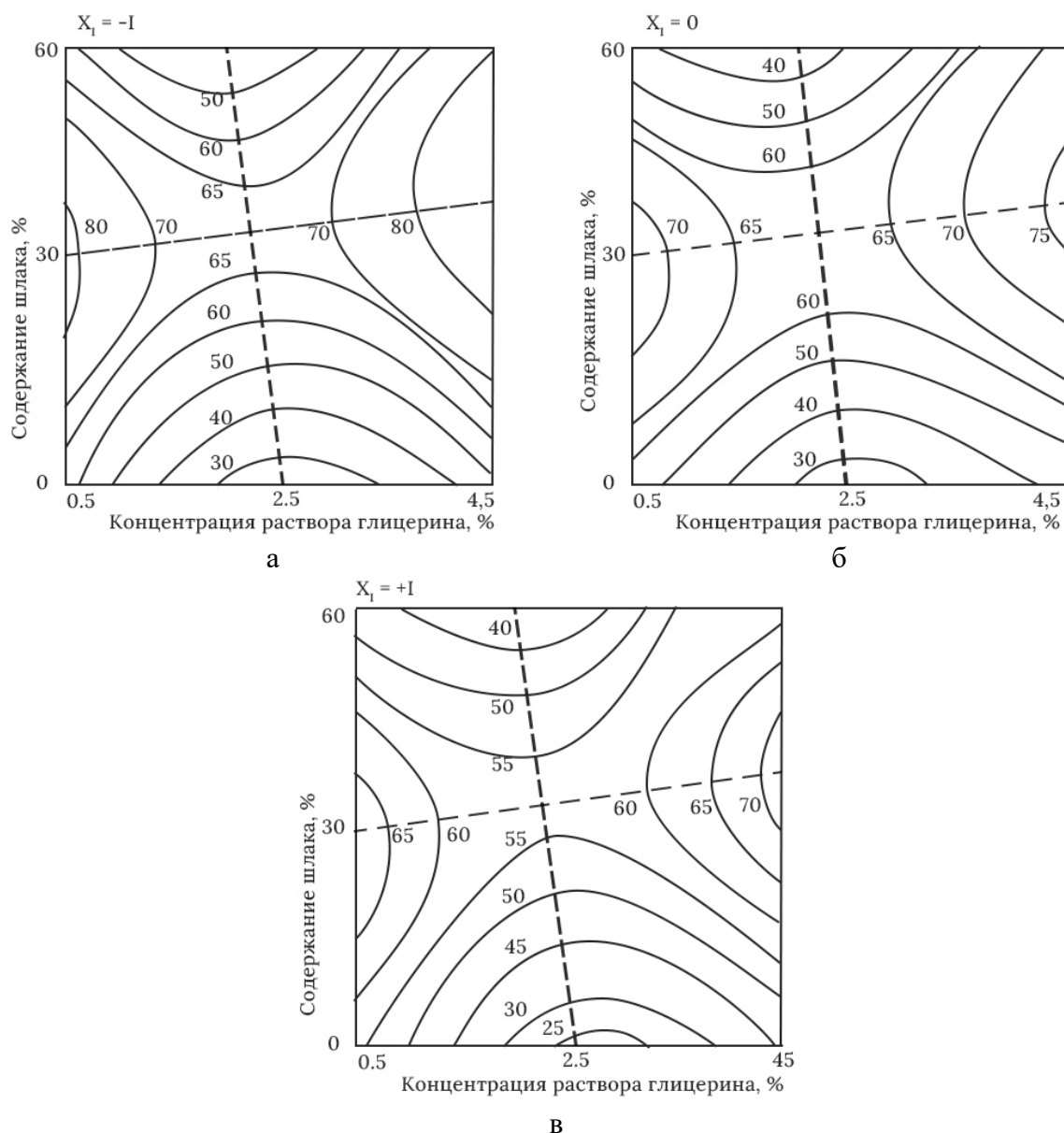


Рисунок 3. Зависимость прочности бетона от содержания шлака и концентрации водного раствора глицерина при $V/C = 0,29$ (а), $0,4$ (б) и $0,51$ (в) (разработано авторами)

Высушенные до постоянной массы образцы выдерживались в ваннах с агрессивной средой при положительной температуре в течение 48 ч и устанавливались так, чтобы каждый из них был покрыт слоем раствора не менее 20 мм, после чего образцы подвергались циклическому замораживанию и оттаиванию. Испытания велись по двум режимам: первый — циклическое замораживание — оттаивание по режиму — 24 ч замораживание в агрессивной среде при температуре в холодильной камере $-10...-12^{\circ}\text{C}$ и оттаивание 24 ч при температуре $+20...+25^{\circ}\text{C}$ в той же среде; второй — циклическое замораживание- оттаивание по режиму — 24 ч замораживание на воздухе насыщенных образцов при температуре $-10...-12^{\circ}\text{C}$ и 24 ч оттаивания в агрессивной среде при температуре $+20...+25^{\circ}\text{C}$. В процессе испытаний измерялись продольные деформации образцов и определялась прочность образцов при изгибе [10].

Результаты эксперимента подтвердили, что и при воздействии отрицательных температур оптимальное содержание гидравлических добавок при 2,5 % концентрации раствора глицерина составляет: опoки — 15 %, шлака — 30 %.

Поскольку синтетические спирты относятся к классу поверхностно-активных веществ, их воздействие на бетон приводит к изменению его физико-механических свойств. Образцы, находившиеся в адсорбционно-активных средах, также обнаружили большие деформации ползучести, чем образцы воздушного нагружения; с увеличением концентрации растворов многоатомных спиртов деформации образцов уменьшаются независимо от степени нагружения.

Заключение

Результаты планирования эксперимента и проведенных исследований показали, что механизм коррозионного действия и степень агрессивности многоатомных спиртов зависят от их адсорбционной способности по отношению к цементному камню, при этом наибольшей агрессивностью обладают растворы глицерина и этиленгликоля при их концентрации в воде 2...2,5 %, а оптимальное содержание гидравлической добавки (опока) при концентрации раствора глицерина 2,5 % составляет 15 % от массы портландцемента; доменного гранулированного шлака — 30 %.

Коррозионная активность многоатомных спиртов проявляется тем больше, чем выше их адсорбционная способность по отношению к бетону. Адсорбционный эффект приводит к гидрофилизации поверхности пор и капилляров цементного камня в результате своеобразного стерического расположения гидроксильных групп многоатомных спиртов.

При действии водных растворов многоатомных спиртов низких концентраций ослабление структуры бетона происходит в результате повышения растворимости гидроксида кальция в их присутствии. Однако эти процессы не являются определяющей причиной их коррозионного разрушения, так как при постоянном режиме испытаний в растворах спиртов изменение прочности и характер деформаций бетонных образцов примерно такой же, как и в воде. Это позволяет оценить степень агрессивности водных растворов многоатомных спиртов низких концентраций при положительных температурах по отношению к бетону как слабую. Воздействие многоатомных спиртов высоких концентраций на бетон приводит вначале к повышению его прочности, вероятно, за счет интенсификации продолжающихся процессов гидратации.

Наиболее опасными по отношению к бетону при всех режимах испытаний являются растворы многоатомных спиртов низких концентраций (1...3 %), агрессивность которых резко возрастает при одновременном воздействии отрицательной температуры. В этом случае степень агрессивности многоатомных спиртов можно рассматривать как сильную.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bratoshevskaya, V. Study of the relationship between concrete and its reinforcement elastic-plastic characteristics / V. Bratoshevskaya // Materials Science Forum. — 2021. — Vol. 1043 MSF. — P. 109–114. — DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.1043.109. — EDN FNLIHQ.
2. Peresytkin, E.N. To determination of stresses in the stretched armature of extracredly compressed elements in the limit condition / E.N. Peresytkin, S.E. Peresytkin // Materials Science Forum. — 2019. — Vol. 974. — P. 556–563. — DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.974.556.

3. Братошевская, В.В. Исследование свойств бетонов при совместном действии механических нагрузок и адсорбционно-активных сред / В.В. Братошевская // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: Материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 06 апреля 2022 года / Отв. за выпуск А.Г. Кошаев. — Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. — С. 126–129. — EDNH.
4. Ярмаковский В.Н., Казиев Д.З. Физико-химические основы стойкости бетонов к воздействию отрицательных температур. Ж-нал «Строительство и реконструкция», № 4. 2020, с. 122–126.
5. Самарский А.А. Математическое моделирование Идеи. Методы. Примеры. / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. — 2-е изд. испр. — Н.: Физматлит, 2001. — 320 с. — Библиогр.: с. 313–316. ISBN 5-9221-0120-X.
6. Губарь Ю.В. Введение в математическое моделирование. — М.: Национальный Открытый университет «ИНТУИТ», 2016. — 178 с.
7. Case Studies in Operations Research: Applications of Optimal Decision Making / Ed. by K.G. Murty. New York: Springer, 2015. — 543 p.
8. Design and Control of Concrete Mixtures. Application, Methods, and Materials Eighth Canadian Edition. Ottawa: Cement Association of Canada, 2011.
9. European Code EN 206-1. Concrete. Part 1: Specification, performance, production and conformity. Brussel EN, 206-1-2000.
10. Братошевская, В.В. Исследование адсорбционных явлений на силикатах / В.В. Братошевская, В.Н. Мирсоянов // Энергосбережение и водоподготовка. — 2019. — № 3(119). — С. 64–66. — EDN ZSCKBF.

Bratoshevskaya Violetta Vital'evna

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

E-mail: violetta-architector@yandex.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=511325

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57215534758>

Modeling of concrete corrosion processes in aqueous solutions of polyatomic alcohols

Abstract. The limits of the active concentration of the aggressiveness of polyatomic alcohols were revealed, as well as the optimal amount of mineral hydraulic additives (Bakan flask, blast furnace granulated slag) introduced into the composition of fine-grained concrete to increase its durability. The research was carried out using the method of mathematical planning of the experiment.

Preliminary studies of the aggressiveness of polyatomic alcohols in relation to fine-grained additive-free concrete (single-factor dependencies) have shown the expediency of setting a second-order plan. The experiment was carried out according to the program of the central compositional rotatable uniform planning.

Two- and three-factor tasks were solved, as a result of which the optimal content of hydraulic additives in fine-grained concrete with different water-cement ratio was determined, providing maximum resistance in solutions of polyatomic alcohols.

When solving three-factor problems, the addition of a mineral component with a high silica content — flask or blast furnace granulated slag was chosen as the third factor. The optimization parameter was the strength of samples from cement-sand mortar with different water-cement ratio after their testing in aggressive solutions of polyatomic alcohols of low concentrations (alternate freezing and thawing).

The study of the comparative degree of adsorption of polyatomic alcohols on various silicates has shown that the introduction of hydraulic additives into the binder composition, adsorption on cement stone decreases, as a result of which the corrosion resistance of concrete increases. This is due to a change in the charge of the adsorbent surface due to a decrease in the content of calcium ions and the adsorption activity of polyatomic alcohol molecules (glycerin and ethylene glycol).

According to the results of experimental data, the equations of the dependence of the strength of samples on the concentration of alcohol solutions and the amount of mineral additives introduced into the composition of concrete were obtained.

The results of the experiment planning showed that solutions of glycerin and ethylene glycol have the greatest aggressiveness at their concentration in water of 2...2.5 %, and the optimal content of hydraulic additives at a concentration of glycerin solution of 2.5 % is 15 % of the weight of Portland cement for flask; and blast furnace granulated slag is 30 %.

Keywords: building structures; polyatomic alcohols; solution concentration; corrosion; mathematical planning; factor dependence; hydraulic additives; composition optimization