

Закрытое акционерное общество  
"Сибирский научно-исследовательский  
институт транспортного строительства"  
ЗАО «СИБЦНИИТС»

630056, г. Новосибирск, 56, ул. Софийская, 18.

Тел. (3832) 45-55-87, 45-15-30

Факс (3832) 45-55-87

E-mail:sibcniits@mail.ru

Лицензии ГС-6-54-01-26-5408156170-003726-1,  
ГС-6-54-01-27-5408156170-003725-1  
от 2 августа 2004 г.

Свидетельство о государственной аккредитации  
научной организации № 5286 от 10.12.2003 г.



«УТВЕРЖДАЮ»  
Генеральный директор  
ЗАО «СИБЦНИИТС»  
E.O. Гадилев  
2004 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ**  
цементобетонных образцов с составом КАЛЬМАТРОН в соляной кислоте  
(отчет)

Испытания проведены в лаборатории метрополитенов ЗАО «СИБЦНИИТС» в соответствии с рабочей «Программой испытаний защитных составов проникающего действия КАЛЬМАТРОН в агрессивной среде» и календарным планом в период с 16.03 по 09.07.2004 г.

### 1. УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

Для проведения испытаний согласно «Программе» составлен план четырехфакторного эксперимента, включающий

- выбор и варьирование параметров факторов (Таблица 1.1);
- построение комбинационного квадрата (Таблица 1.2);
- определение комбинаций факторов (серий образцов) (Таблица 1.3).

#### Наименование и варианты параметров факторов

Таблица 1.1

№ пп	Наименование параметров	Изм.	Обозначение параметров	№, значение вариантов		
				1	2	3
1	Продолжительность испытаний	Мес.	Т	1	2	3
2	Концентрация кислоты	НР (ph)	К	0,01 (4)	0,05 (3)	0,1 (1)
3	Содержание ХАЧ от Ц по массе	,	Х	2	6	10
4	Содержание цемента в сухой смеси по массе		Ц	30	40	50

Комбинационный квадрат четырехфакторного эксперимента

Таблица 1.2

К	Т	1			2			3		
		X	1	2	3	1	2	3	1	2
Ц										
1	1							4		
	2								7	
	3	1								
2	1							8		
	2			2						
	3					5				
3	1		3							
	2				6					
	3									9

Комбинации вариантов факторов (серии образцов согласно табл. 1.1 и 1.2.)

Таблица 1.3

№ Серии	Шифр, ТКХЦ	Т, мес.	K, н.р. (pH)	X, % От Ц	Ц, %
1.	1113	1	0,01 (4)	2	50
2.	1232	1	0,05 (3)	10	40
3.	1321	1	0,1 (1)	6	30
4.	2131	2	0,01 (4)	10	30
5.	2223	2	0,05 (3)	6	50
6.	2312	2	0,1 (1)	2	40
7.	3122	3	0,001 (4)	6	40
8.	3211	3	0,05 (3)	2	30
9.	3333	3	0,1 (1)	10	50

## 2. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

Для проведения испытаний в соляной кислоте изготовлено 9 серий образцов – призм 40x40x160 и цилиндров Ø 150x30. В каждой серии содержится 12 призм (6 – основных, 6 – контрольных), 6 цилиндров (3 – основных, 3 – контрольных).

Материалы, использованные для изготовления образцов:

- Портландцемент марки 400 Искитимского цементного завода.
- КАЛЬМАТРОН (состав цементный защитный проникающего действия) фирмы ООО «КАЛЬМАТРОН-Н».
- Песок речной фракцией 0... 0,63 мм.
- Сульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ).

При изготовлении 9 серий образцов определены составы и физические показатели смесей (табл. 2.1).

Таблица 2.1

№	Наименование показателей	Измеритель	Номер серии, дата изготовления, 2004 г.								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
			14.04	07.04	31.03	08.04	01.04	25.03	30.03	23.03	16.03
1	Состав смеси:										
	КАЛЬМАТРОН	кг/м <sup>3</sup>	361	1492	696	1162	1060	304	900	231	1833
	Цемент	кг/м <sup>3</sup>	724	-	232	-	354	608	300	462	-
	Песок	кг/м <sup>3</sup>	723	373	1007	776	354	989	675	1231	-
	Вода	кг/м <sup>3</sup>	361	336	262	262	398	303	338	260	367
	Водоцементное отношение		0,4	0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,45	0,45	0,4
2	Насыпная масса	кг/м <sup>3</sup>	1360	1385	1512	1470	1377	1497	1464	1550	1320
3	Плотность	кг/м <sup>3</sup>	2169	2201	2196	2200	2166	2204	2213	2184	2200
4	Подвижность	См	14,6	11,3	3,2	3,9	5,8	6,15	9,9	2,5	1,9
5	Удобоукладываемость	-	Хор.	Хор.	Уд.	Уд.	Уд.	Уд.	Уд.	Уд.	Уд.
6	Водоотделение	%						н е т			
7	Начало и конец схватывания смеси	час.-мин.	2-45 4-50	0-07 1-25	0-05 0-20	0-30 01-10	0-07 1-05	2-10 4-10	0-10 0-40	2-15 3-55	0-55 1-15

В процессе испытаний определяли четыре показателя образцов (приложение, Табл. 1...18):

- глубина разрушения (по потери массы)  $h$ , мм;
- потери прочности на растяжение при изгибе  $\delta R_u$ , %;
- потери прочности на сжатие  $\delta R_c$ , %;
- потери водонепроницаемости  $\delta W$ , %.

Значения полученных при испытаниях показателей сведены в таблицу 3.1.1.

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ

3.1. В результате аппроксимации результатов испытаний (Таблица 3.1.1) путем математических преобразований с использованием расчетных схем методики математического планирования эксперимента (Табл. 3.2.1 и 3.2.2) получены графики и аналитические выражения частных и общих зависимостей исследуемых показателей от факторов Т, К, Х, Ц.

В качестве аппроксимирующей функции полученных эмпирических зависимостей по всем четырем факторам, ввиду минимального количества (трех) значений вариантов факторов, принято уравнение прямой вида  $y = ax + b$ . Параметры  $a$  и  $b$  этого линейного уравнения определяли по методу наименьших квадратов (1).

#### 3.2. Глубина разрушения образцов ( $h$ )

Результаты математической обработки материалов по методике планирования представлены в таблицах 3.2.1 и 3.2.2 и в виде графиков (рис. 3.2.1...3.2.5) и эмпирических зависимостей (3.2.1... 3.2.5).

Показатели по результатам испытаний образцов в соляной кислоте (HCl)

Таблица 3.1.1

№№ серий	Дата изготовления образцов	Продолж. испытаний образцов, мес.	Показатели образцов									
			Глубина разрушения, мм	Прочность						Водонепроницаемость		
				На растяжение при изгибе			На сжатие					
1	14.04.04	1	0,14	26,5	27,0	2	30,3	35,2	14	2,2	2,2	0
2	07.04.04		0,28	25,7	23,8	0	20,4	23,1	12	1,3	1,4	14
3	31.03.04		0,42	25,5	22,0	0	22,6	29,5	23	1,1	1,5	25
4	08.04.04	2	0	27,2	28,0	3	27,3	26,2	0	1,8	2,2	18
5	01.04.04		0,17	27,5	26,7	0	27,7	31,4	12	1,9	2,2	14
6	25.03.04		0,31	27,6	27,1	0	29,2	39,7	26	0,8	2,2	64
7	30.03.04	3	0	3,25	31,5	6	34,2	34,2	0	1,5	2,2	32
8	23.03.04		0,23	2,50	2,91	14	26,4	33,9	22	1,5	2,2	32
9	16.03.04		0,36	2,24	3,14	29	28,5	39,5	28	0,6	2,4	75

- По факторам Т и К

Расчетная схема

Таблица 3.2.1

T, мес. K, н.р.(pH)	1	2	3	$\Sigma$	ср
0,01 (4)	0,14 (1)	0 (4)	0 (7)	0,14	0,05
0,05 (3)	0,28 (2)	0,17 (5)	0,23 (8)	0,68	0,23
0,10 (1)	0,42 (3)	0,31 (6)	0,36 (9)	0,109	0,36
$\Sigma$	0,84	0,48	0,59	1,91	0,64
ср	0,28	0,16	0,20	0,64	0,212

Частные зависимости

$$h^T = 0,293 - 0,04T \quad (3.2.1)$$

$$h^K = 3,44K + 0,024 \quad (3.2.2)$$

- По факторам X и Ц

Расчетная схема

Таблица 3.2.2

X, % Ц, %	2	6	10	$\Sigma$	Ср.
30	0,23 (8)	0,42 (3)	0 (4)	0,65	0,22
40	0,31 (6)	0 (7)	0,28 (2)	0,59	0,20
50	0,14 (1)	0,17 (5)	0,36 (9)	0,67	0,22
$\Sigma$	0,68	0,59	0,64	0,191	0,64
Ср.	0,23	0,20	0,21	0,64	0,212

Частные зависимости

$$h^X = 0,225 - 0,0025X \quad (3.2.3);$$

$$h^U = 0,212 \quad (3.2.4).$$

Общая зависимость  $h = M(T, K, X, U)$

$$h = -0,04T + 3,44K - 0,0025X + 0,118 \quad (3.2.5)$$

С использованием (3.2.5) вычислены предельные значения

$$h_{\min} = 0,107 \text{ мм (при } \min T, K, X, U);$$

$$h_{\max} = 0,317 \text{ мм (при } \max T, K, X, U);$$

и получен совмещенный график  $h$  (рис. 3.2.5).

Анализируя полученные эмпирические зависимости, следует отметить, что по степени влияния на показатель  $h$  (при оценке в долях единицы) самым сильным является фактор К (0,76), затем, по убывающей, - фактор Т (0,20), далее фактор X (0,05) и фактор Ц (ноль), практически не оказывающий заметного влияния на величину разрушения образцов. Из этого следует, что степень коррозионного воздействия соляной кислоты в исследуемом диапазоне pH (4 ... 1) практически не зависит от состава смеси (Х и Ц), что не вполне объяснимо.

Абсолютная величина разрушения образцов согласно графику  $h$  (рис. 3.2.5) при воздействии всех факторов в исследуемом диапазоне варьирования изменяется (увеличивается) почти в 3 раза (0,107 ... 0,317 мм).

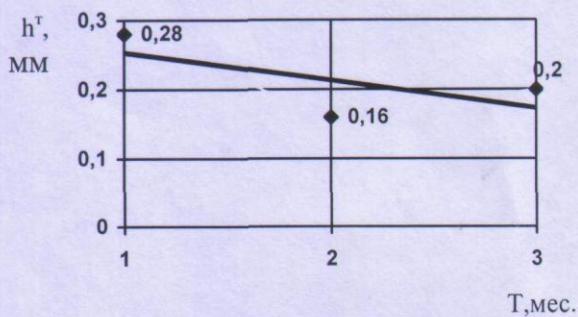


Рис. 3.2.1

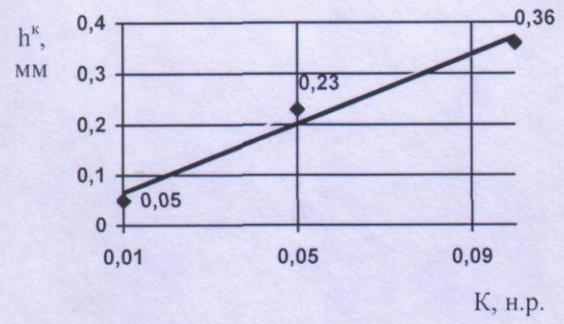


Рис. 3.2.2

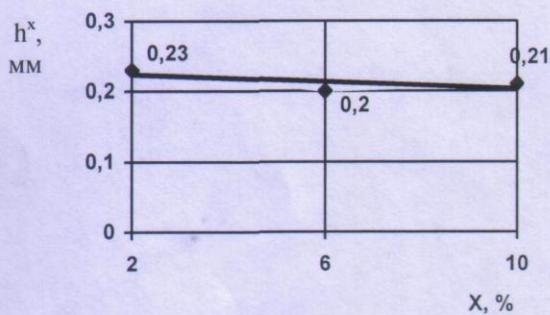


Рис. 3.2.3

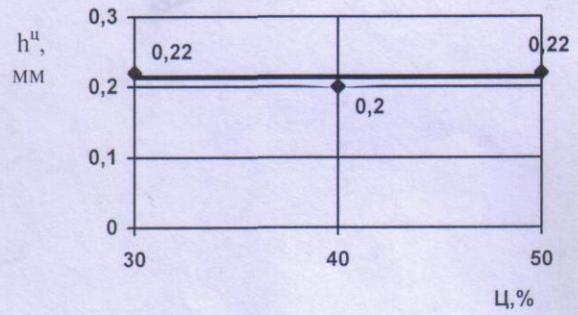


Рис. 3.2.4

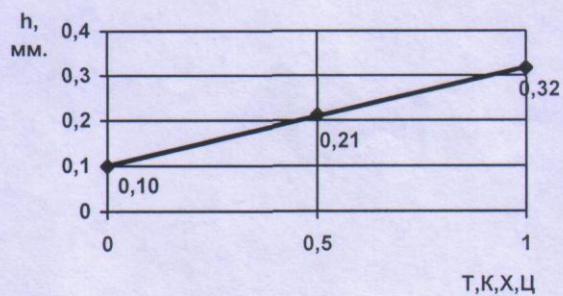


Рис. 3.2.5

Прогнозирование (экстраполяция) величины разрушения по факторам Т и К с использованием полученной зависимости  $h$  (3.2.5) не представляется возможным ввиду ограниченности объема экспериментальных данных (как отмечалось в п. 3.1). Этую задачу можно реализовать только в результате проведения более углубленных испытаний, позволяющих получать параметры экспериментальных зависимостей с необходимой точностью и надежностью.

### 3.2. Потери прочности образцов

#### - прочность на растяжение при изгибе ( $\delta R_u$ )

Результаты обработки приведены в таблицах 3.3.1 и 3.3.2, на рис. 3.3.1 ... 3.3.5 и формулах 3.3.1 ... 3.3.5.

- по факторам Т и К

Расчетная схема

Таблица 3.3.1

T, мес. K, нр (pH)	1	2	3	$\Sigma$	Cр.
0,01 (4)	2 (1)	3 (4)	6 (7)	11	4
0,05 (3)	0 (2)	0 (5)	14 (8)	14	5
0,10 (1)	0 (3)	0 (6)	29 (9)	29	10
$\Sigma$	2	3	49	54	18
Cр.	1	1	16	18	6

Частные зависимости

$$\delta R_u^T = 6T - 6 \quad (3.3.1);$$

$$\delta R_u^K = 67K + 2,3 \quad (3.3.2).$$

- по факторам X и Ц

Расчетная схема

Таблица 3.3.2

X, % Ц, %	2	6	10	$\Sigma$	Cр.
30	14 (8)	0 (3)	3 (4)	17	6
40	0 (6)	6 (7)	0 (2)	6	2
50	2 (1)	0 (5)	29 (9)	31	10
$\Sigma$	16	6	32	54	18
Cр.	5	2	11	18	6

Частные зависимости

$$\delta R_u^X = 0,75X + 1,5 \quad (3.3.3);$$

$$\delta R_u^Ц = 0,2Ц - 2 \quad (3.3.4).$$

Общая зависимость  $\delta R_u = M(T, K, X, Ц)$

$$\delta R_u = 6T + 67K + 0,75X + 0,2Ц - 22,2 \quad (3.3.5)$$

$$\delta R_u \min = -8\% \text{ (при } \min T, K, X, Ц)$$

$$\delta R_u \max = 20\% \text{ (при } \max T, K, X, Ц)$$

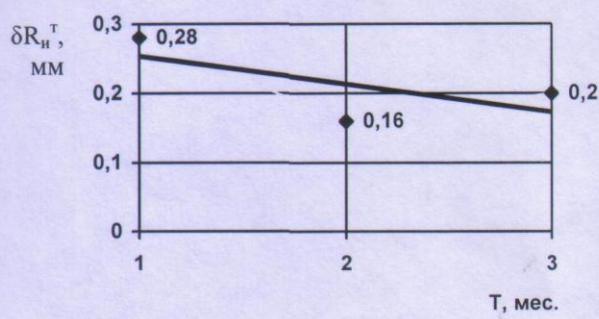


Рис. 3.3.1

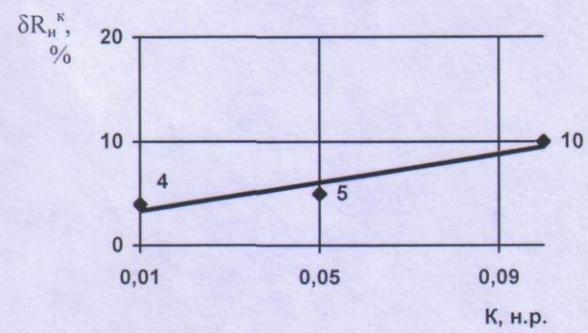


Рис. 3.3.2

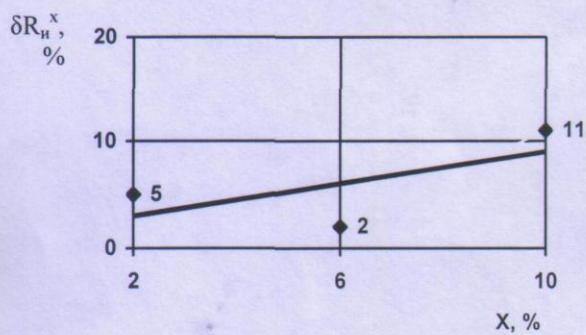


Рис. 3.3.3

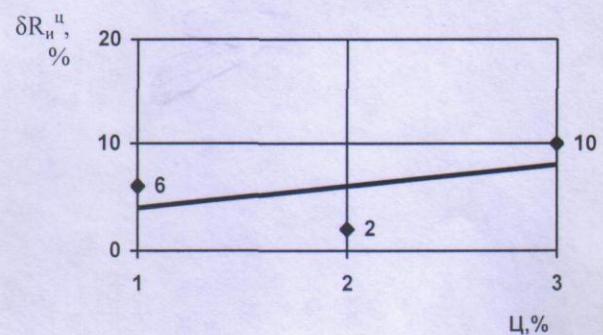


Рис. 3.3.4

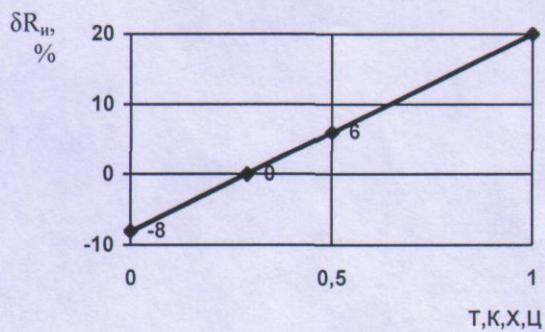


Рис. 3.3.5

По степени влияния факторов на показатель  $\delta R_i$  доля (по убывающей) самого сильного фактора Т составляет 0,47, К и Х – 0,20, Ц – 0,13. Эти данные свидетельствуют о том, что определяющим величину снижения прочности на растяжение  $\delta R_i$  является фактор времени Т. Более сильное влияние фактора Х по сравнению с Ц свидетельствует о том, что увеличение содержания ХАЧ в составе влияет в большей степени на разрушение материала, создавая растягивающие напряжения в результате проникновения (прорастания) КАЛЬМАТРОНА в тело образца. В этом случае следует отметить, что достоверный прогноз по изменению  $R_i$  может быть осуществлен только в результате накопления в достаточном объеме экспериментального материала.

- прочность на сжатие ( $\delta R_c$ )

Результаты обработки материалов испытаний приведены в таблицах 3.3.3 и 3.3.4, на рис. 3.3.6 ... 3.3.10 и формулах 3.3.6 ... 3.3.10.

- по факторам Т и К

Расчетная схема

Таблица 3.3.3

T,мес. K,нр (pH)	1	2	3	$\Sigma$	Cр.
0,01 (4)	14 (1)	0 (4)	0 (7)	14	5
0,05 (3)	12 (2)	12 (5)	22 (8)	46	15
0,10 (1)	23 (3)	26 (6)	28 (9)	77	26
$\Sigma$	49	38	50	137	46
Cр.	16	13	17	46	15,2

Частные зависимости

$$\delta R_c^T = 0,5T + 14,2 \quad (3.3.6);$$

$$\delta R_c^K = 233K + 2,4 \quad (3.3.7).$$

- по факторам Х и Ц

Расчетная схема

Таблица 3.3.4

X, % Ц, %	2	6	10	$\Sigma$	Cр.
30	22 (8)	23 (3)	0 (4)	45	15
40	26 (6)	0 (7)	12 (2)	38	13
50	14 (1)	12 (5)	28 (9)	54	18
$\Sigma$	62	35	40	137	46
Cр.	21	12	13	46	15,2

Частные зависимости

$$\delta R_c^X = 21,2 - X \quad (3.3.8);$$

$$\delta R_c^Ц = 0,15Ц + 9,2 \quad (3.3.9).$$

Общая зависимость  $\delta R_c = M(T, K, X, Ц)$

$$\delta R_c = 0,5 T + 233K - X + 0,15Ц + 1,4 \quad (3.3.10)$$

$$\delta R_c \min = 6,7 \% \text{ (при } \min T, K, X, Ц)$$

$$\delta R_c \max = 23,7 \% \text{ (при } \max T, K, X, Ц)$$

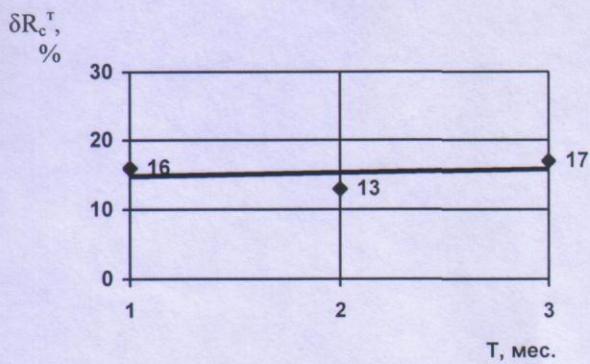


Рис. 3.3.6

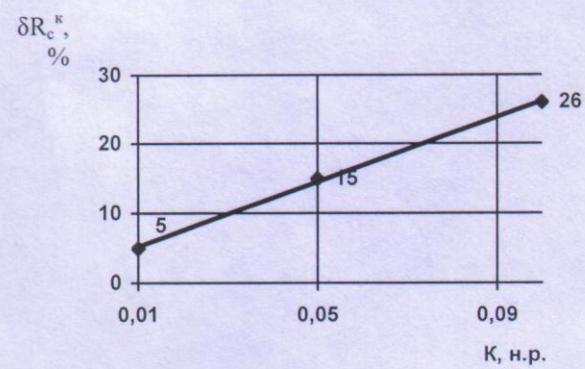


Рис. 3.3.7

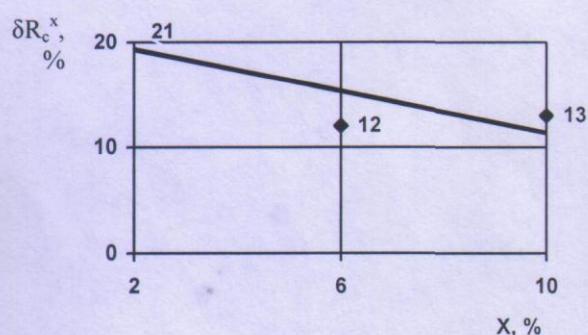


Рис. 3.3.8

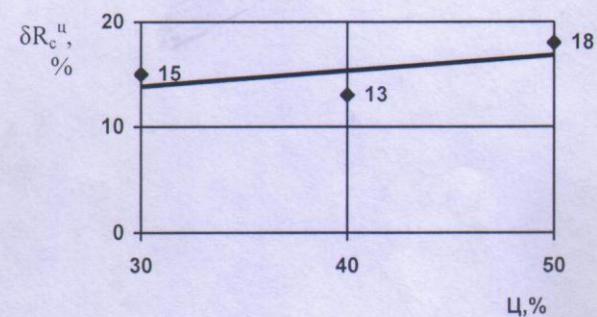


Рис. 3.3.9

Совмещенный график  $\delta R_c$

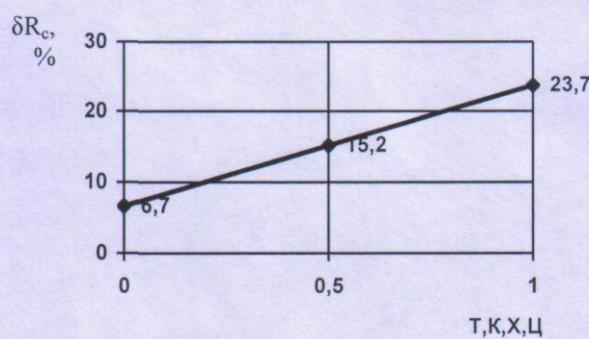


Рис. 3.3.10

Анализ влияния факторов с помощью графиков (рис. 3.3.1 ... 3.3.10) показал, что по сравнению с показателем  $\delta R_i$  для  $\delta R_c$  наблюдается обратная картина: фактор К – является самым сильным (определяющим) – доля его составляет 0,64, самым слабым – Т (0,03), промежуточными: Х (0,24) и Ц (0,09).

Первостепенное влияние фактора К также можно объяснить, предполагая иной по сравнению с показателем  $\delta R_i$  характер (механизм) разрушения образцов при сжатии, когда разрыхление их структуры происходит интенсивнее при увеличении концентрации соляной кислоты, чем при увеличении времени воздействия.

Как и для показателя  $\delta R_i$  роль фактора Х для  $\delta R_c$  аналогична: увеличение содержания ХАЧ в составах способствует развитию деструктивных процессов в образцах.

### 3.2. Потери водонепроницаемости образцов ( $\delta W$ )

Обработка приведенных в таблице 3.1.1 результатов выполнена аналогично предыдущим показателям и представлена в таблицах 3.4.1, 3.4.2 и на рисунках 3.4.1 ... 3.4.5.

Ввиду того, что в процессе испытаний не было возможности получить предельные значения водонепроницаемости образцов (выше марки W22), поэтому приведенные ниже зависимости данного показателя от всех факторов (Т,К,Х,Ц) носят несколько тенденциозный характер, однако, качественная картина процесса выявлена достаточно достоверно.

- зависимости по факторам Т и К

Расчетная схема

Таблица 3.4.1

T,мес. K,np (pH)	1	2	3	$\Sigma$	Cр.
0,01 (4)	0 (1)	8 (4)	32 (7)	50	17
0,05 (3)	14 (2)	14 (5)	32 (8)	60	20
0,10 (1)	25 (3)	64 (6)	75 (9)	164	55
$\Sigma$	39	96	139	274	92
Cр.	13	32	46	92	30,7

Частные зависимости

$$\delta W^T = 16,5T + 2,3 \quad (3.4.1);$$

$$\delta W^K = 433K + 7,5 \quad (3.4.2).$$

- по факторам Х и Ц

Расчетная схема

Таблица 3.4.2

X, %	2	6	10	$\Sigma$	Cр.
30	32 (8)	25 (3)	18 (4)	75	25
40	64 (6)	32 (7)	14 (2)	110	37
50	0 (1)	14 (5)	75 (9)	89	30
$\Sigma$	96	71	107	274	92
Cр.	32	24	36	92	30,7

Частные зависимости

$$\delta W^X = 0,5X + 27,7 \quad (3.4.3);$$

$$\delta W^U = 0,25U + 20,7 \quad (3.4.4).$$

Общая зависимость  $W = M(T, K, X, Ц)$   
 $\delta W = 16,5 T + 422K + 0,5X + 0,25Ц - 38,5 \quad (3.4.5)$   
 $\delta W_{\min} = -9,3\% \text{ (при } \min T, K, X, Ц)$   
 $\delta W_{\max} = 70,7\% \text{ (при } \max T, K, X, Ц)$

Самыми сильными для этого показателя являются факторы К и Т, слабыми – Ц и Х. Последовательно, при долевой оценке: К (0,48), Т (0,41), Ц (0,06), Х (0,05).

Следует отметить, что степень влияния всех факторов на снижение водонепроницаемости во всем диапазоне варьирования является более значительной по сравнению с другими показателями и при долевой оценке составляет более 70 %.

Зависимости, полученные для показателя  $\delta W$ , способствуют раскрытию характера коррозионного воздействия агрессивной среды: значительное снижение водонепроницаемости по фактору К свидетельствует о значительной глубине проникновения кислоты, создающем микротрешиноватую зону в поверхностном слое образцов.

#### 4. ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для сравнительной оценки степени влияния факторов Т, К, Х, Ц в таблице приведены максимальные изменения значений исследуемых показателей  $h$ ,  $\delta R_i$ ,  $\delta R_c$ ,  $\delta W$ , полученные с использованием зависимостей по п. 3.

Таблица 4.1

Факторы	Показатели			
	$h$ , мм	$\delta R_i$ , %	$\delta R_c$ , %	$\delta W$ , %
Т	0,08	15	1	33
К	0,31	6	21	38
Х	0,02	6	8	4
Ц	0	4	3	5
$\Sigma (T, K, X, Ц)$	0,21	20	17	70,7
$\max (T, K, X, Ц)$	0,317	20	23,7	70,7

Данные, приведенные в таблице 4.1, показывают, что факторы Т, К, Х, Ц в разной степени влияют на изменение значений показателей. В большей степени изменение показателей зависит от продолжительности испытаний (Т) и агрессивности среды (К).

Глубина разрушения образцов, в основном, зависит от фактора К. Факторы Х и Ц (состав бетонной смеси: содержание ХАЧ и цемента) фактически не оказывают существенного влияния на величину разрушения образцов.

При анализе влияния факторов Т и К на изменение прочности образцов ( $\delta R_i$  и  $\delta R_c$ ) можно отметить выявленную особенность. Фактор Т значительно влияет на  $\delta R_i$  и незначительно (1%) на  $\delta R_c$ , а фактор К, наоборот, значительно влияет на  $\delta R_c$  и несущественно (~6%) – на  $\delta R_i$ . Можно предположить, что особенности воздействия этих факторов на изменение показателей  $\delta R_i$  и  $\delta R_c$  можно объяснить разным характером разрушения поверхностного слоя образцов при увеличении продолжительности испытаний и при повышении степени агрессивности среды, влияющих на одинаково на растягивающие усилия при испытаниях образцов на изгиб и сжатие.

Факторы Х и Ц значительно меньше (8% и 3%) влияют на изменение показателей  $\delta R_i$  и  $\delta R_c$ .

Влияние факторов Т и К в большей мере (33% и 38%) сказываются на снижении водонепроницаемости образцов.

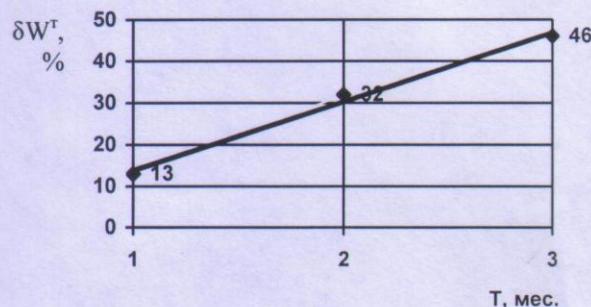


Рис. 3.4.1

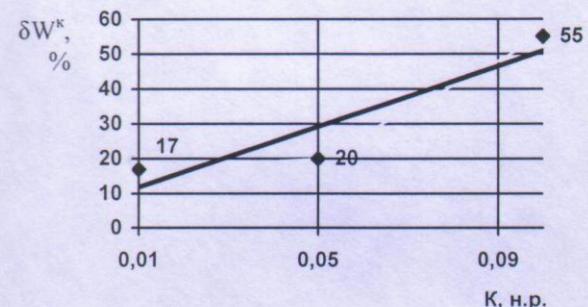


Рис. 3.4.2

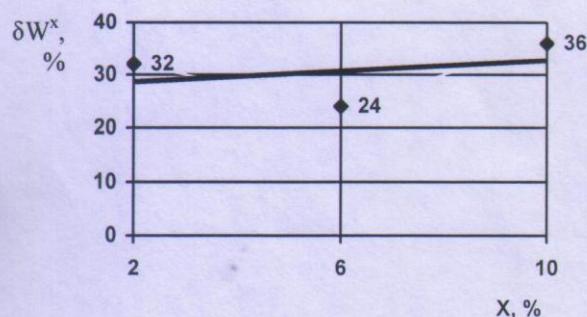


Рис. 3.4.3

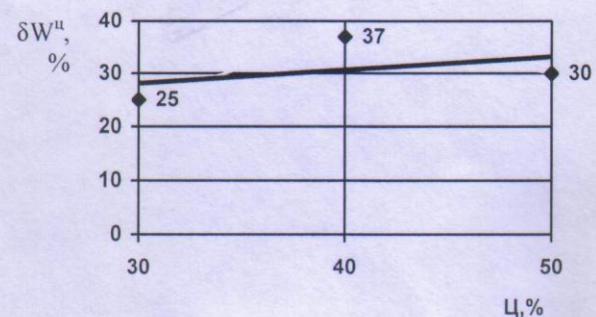


Рис. 3.4.4

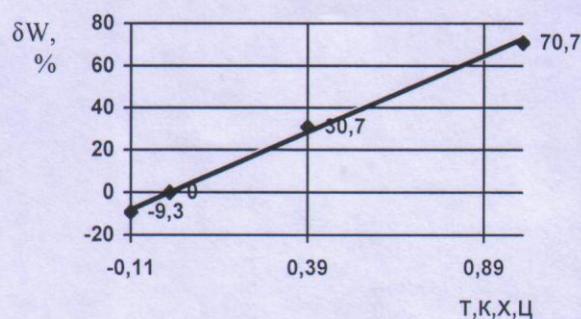


Рис. 3.4.5

Величина показателей при воздействии всех факторов (максимальные значения по табл. 4.1) почти одинаковая для  $\delta R_i$ ,  $\delta R_c$  (20% и 24%) и более, чем в 3 раза, выше для  $\delta W$  (71%).

С использованием зависимостей по п. 3 при определенных значениях факторов Т, К, Х, Ц вычислены минимальные и максимальные значения показателей  $h$ ,  $\delta R_i$ ,  $\delta R_c$ ,  $\delta W$  (Таблица 4.2).

Таблица 4.2

№ пп	Показатели	Изм.	Концентрация раствора (рН среды), н.р., рН			
			0,01 (4)		0,1 (1)	
			Миним.	Максим.	Миним.	Максим.
1	$h$	Мм	0,007	0,107	0,317	0,417
2	$\delta R_i$	%	0	14,0	2,0	20,0
3	$\delta R_c$	%	1,3	10,7	19,7	31,7
4	$\delta W$	%	0	32,7	28,7	70,7

Учитывая наличие линейной связи между показателями  $h$  и фактором времени в виде  $\sqrt{T}$  (согласно рекомендациям НИИЖБ), можно экстраполяцией полученных значений определять необходимую толщину покрытия ( $H$ ) составом КАЛЬМАТРОН, соответствующую расчетному сроку службы конструкции  $\tau$  и, наоборот, зная расчетную толщину покрытия, - прогнозировать его срок службы, т. е. решать задачи, связанные с долговечностью покрытия. При этом, варьируя параметрами Т, К, Х, Ц (составом и условиями работы покрытия), можно определять необходимую (расчетную) толщину покрытия. Таким образом, можно в определенной мере, управлять процессом коррозионного воздействия на конструкцию и рекомендовать этот метод для установления параметров покрытия на стадии разработки проектного решения при строительстве или ремонте сооружения. В этих целях можно пользоваться таблицей или графиком, составленными на основе материалов испытаний и полученными с их помощью выражениями для определения  $H$  и  $\tau$  с учетом конкретного сочетания факторов Т, К, Х, Ц:

$$H = h_{\max} \sqrt{\tau/T}; \quad (4.1)$$

$$\tau = T (H/h_{\max})^2, \quad (4.2)$$

где  $h_{\max} = 0,417$  мм – для  $k = 0,1$  н.р. (рН=1)

$h_{\max} = 0,107$  м для  $k = 0,01$  н.р. (рН=4)

$T = 2,8$  мес. – продолжительность испытаний.

Таблица 4.3

№ пп	$\sqrt{T}$ , лет, (срок службы $\tau$ , лет)	Толщина покрытия $H$ , мм	
		Концентрация р-ра, н.р. (рН)	
		0,01 (4)	0,1 (1)
1	0,5 (0,25)	0,107	0,417
2	1,0 (1)	0,214	0,834
3	2,2 (5)	0,47	1,83
4	3,2 (10)	0,68	2,67
5	3,9 (10)	0,83	3,25
6	4,5 (20)	0,96	3,75
7	5,0 (25)	1,07	4,17
8	7,1 (50)	1,52	5,92

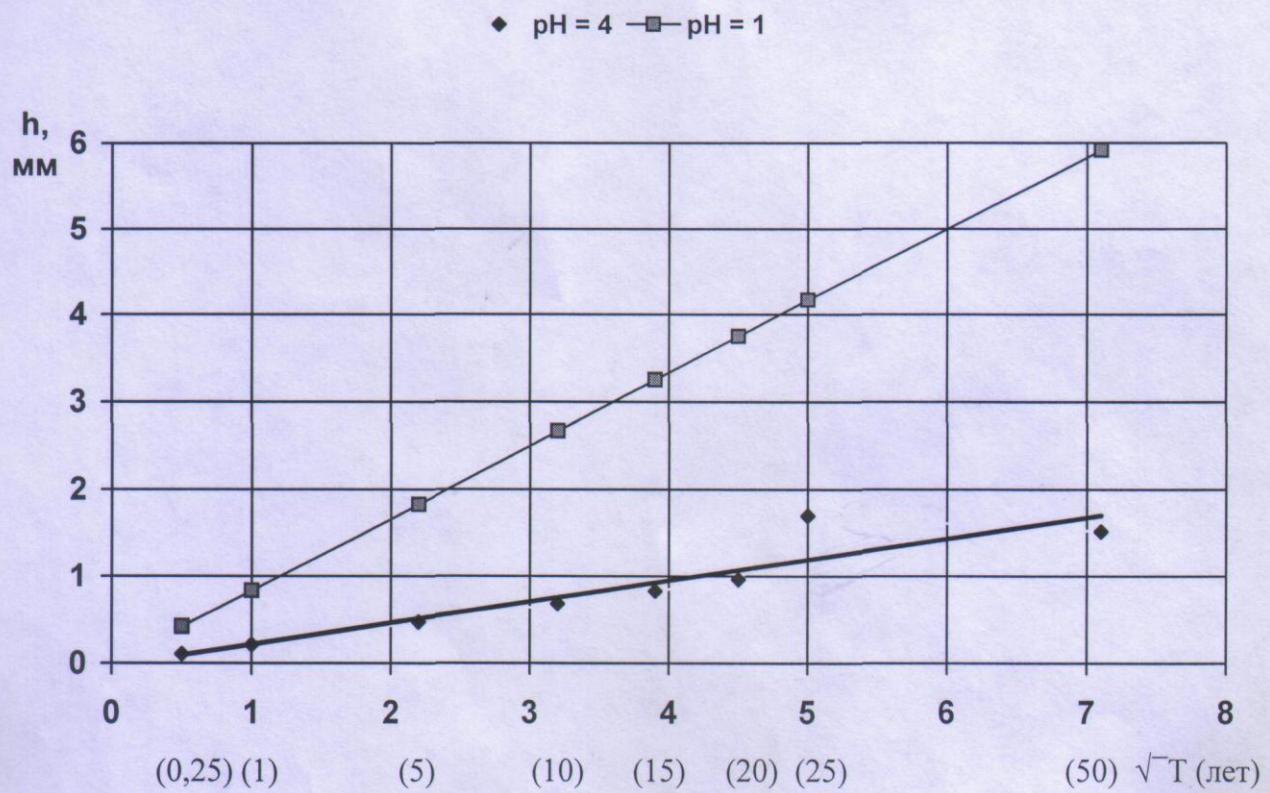
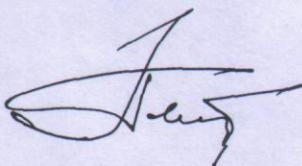


Рис. 4.1

## ВЫВОДЫ

1. Использование методики математического планирования эксперимента позволило получить при минимальном объеме испытаний аналитические зависимости, устанавливающие связи между исследуемыми показателями образцов и параметрами (факторами) испытаний.
2. Анализ полученных зависимостей позволил выявить характер проявления коррозионного воздействия агрессивной среды (HCl) на мелкозернистый бетон с защитным покрытием КАЛЬМАТРОН при варьировании факторами (T, K, X, Ц).
3. На основании обработки результатов испытаний образцов в растворе соляной кислоты концентрацией 0,01 ... 0,1 н.р. ( $\text{pH}=4 \dots 1$ ) установлено, что необходимая толщина защитного покрытия составом КАЛЬМАТРОН, обеспечивающая срок службы конструкции в этой агрессивной среде в течение 50 лет, составляет 1,5... 6 мм.
4. Фактические данные испытаний могут быть использованы в практических целях на стадии проектирования при назначении расчетной толщины защитного покрытия составом КАЛЬМАТРОН при строительстве или ремонте бетонных сооружений, работающих в агрессивной среде (соляной кислоте).
5. Проведенные испытания, являющиеся по существу начальным этапом работы, обосновывают необходимость планирования дальнейших исследований с целью решения конкретных задач (применение покрытия КАЛЬМАТРОН, увеличение длительности испытаний для получения нормативных значений показателей и т.д.).

Зав. лабораторией метрополитенов  
ЗАО «СИБЦНИИТС»



Г.Ф. Петров