

## РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫБОРУ ФАКТОРОВ ПЛАНИРУЕМОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СЦЕПЛЕНИЯ КОРРОЗИОННО-ПОВРЕЖДЕННОЙ АРМАТУРЫ С БЕТОНОМ

В статье обосновывается выбор факторов и их уровней при проведении полного факторного эксперимента, направленного на изучение сцепления бетона и арматуры, подвергшейся коррозии при помощи источника постоянного тока.

Коррозия арматуры осуществляется путём её структурного преобразования на границе с бетоном. Продукты коррозии арматуры создают дополнительные растягивающие напряжения в её окрестности. Изменяются условия сцепления арматуры с бетоном, что приводит к истощению несущей способности железобетонных конструкций.

Для изучения показателей сцепления арматуры с бетоном, их качественного изменения при воздействии агрессивных сред, предлагается выполнить планируемый эксперимент с пятью факторами на 3-х уровнях.

По имеющимся данным результатов исследований, наиболее существенными факторами, характеризующими степень коррозионного поражения арматуры и свойств сцепления с бетоном, следует считать:

- 1) вид профиля арматуры;
- 2) качественные характеристики бетона;
- 3) время коррозионного поражения арматуры (используется символ  $t$ );
- 4) диаметр арматуры (используется символ  $\phi$ );
- 5) защитный слой бетона (используется символ  $c$ ).

Разновидности профиля арматуры – качественный фактор, порядок уровней фактора произвольный. За нижний уровень фактора «←» следует принять гладкий вид профиля арматуры – класс А240, для верхнего «+» и промежуточного «0» уровней – например А500 и А300.

Качественные характеристики бетона определяются составом бетонной смеси, технологией приготовления и твердения. Наиболее рационально варьировать водоцементное отношение, количество вяжущего на метр кубический бетона, и коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя.

Для определения степени коррозионного поражения арматуры используется формула, основанная на законе Фарадея:

$$\Delta r = 11,6 \cdot I_{\text{сог}} \cdot t, \quad (1)$$

где  $\Delta r$  – приведённое изменение сечения арматуры,  $\text{м} \cdot 10^{-6}$ ;

11,6 – переводной коэффициент ( $\text{А} / \text{см}^2 \rightarrow \text{м} / \text{год}$ );

$I_{\text{сог}}$  – сила тока, приведенная к сечению арматуры  $\text{mA} / \text{см}^2$ ;

$t$  – время (годы).

Следует отметить, что в натуральных конструкциях максимальный уровень силы тока обычно не превышает  $10 \text{ mA} / \text{см}^2$ . Тогда расчетное время наступления значительного коррозионного повреждения арматуры ( $\Delta A = 10...20\%$  – степень коррозии по массе арматуры) составляет:

При  $\phi = 8 \text{ мм}$ ;  $I_{\text{сог}} = 10 \text{ mA} / \text{см}^2$ ;  $\Delta A = 10\%$ ;  $t = 1,77 \text{ лет}$ ;

при  $\phi = 12 \text{ мм}$ ;  $I_{\text{сог}} = 10 \text{ mA} / \text{см}^2$ ;  $\Delta A = 20\%$ ;  $t = 5,46 \text{ лет}$ .

Время, которым обладает исследователь, как правило, много меньше, и выражается в неделях и месяцах. Однако необходимо учитывать, что при увеличении силы тока, уменьшается количество диффузии продуктов коррозии в поры бетона, что увеличивает давление в околоарматурной зоне, и приводит к более раннему трещинообразованию. Согласно [2], наиболее часто в экспериментальных исследованиях используются значения силы тока от 100–200 до 2000–3000  $\text{mA} / \text{см}^2$ .

Использование небольших диаметров арматуры для уровня «–» планируемого эксперимента, позволяет ограничиваться минимальными значениями силы тока и/или времени проведения эксперимента.

Выбор большого диаметра «+» ограничен условием минимальной коррозии арматуры. Нетрудно заметить, что при выполнении условий большого разброса уровней фактора диаметра арматуры  $n = \varphi_{\max} / \varphi_{\min}$ , область экспериментальных значений степени коррозии при  $\varphi_{\max}$  смещается в сторону нулевого значения и поле точек сгущается. Данный факт иллюстрирует таблица 1.

Степень коррозионного повреждения можно выразить из формулы изменения приведённого сечения образца:

$$\Delta A = 4 \cdot \Delta r \cdot \frac{\varphi - \Delta r}{\varphi^2} \quad (2)$$

Степень коррозионного повреждения образца с диаметром  $\varphi_2 = n \cdot \varphi_1$ , и, соответственно при идентичных условиях проведения испытаний  $\Delta r_2 = \frac{\Delta r_1}{n^2}$ ; где

$\Delta r_1 = \frac{\varphi_1}{2} - \frac{\varphi_1}{2} \sqrt{1 - \Delta A_1}$ , предлагается оценить по формуле:

$$\Delta A_2 = \Delta A_1 \cdot \frac{n^3 \varphi_1 - \Delta r_1}{n^3 (\varphi_1 - \Delta r_1)} \quad (3)$$

В большом количестве работ кривая «сцепление арматуры с бетоном – степень коррозии» описывается функцией с максимумом в значении последнего около 5%. Данное предположение иллюстрирует рисунок 1. То есть, искомую функцию правильно описывать для значений степени коррозии 5...30%. Для определения основного уровня и варьирования диаметра арматуры, составлена табл. 1.

Таблица 1

Определение степени коррозии  $\Delta A_2$  при  $\Delta A_1 = 35\%$

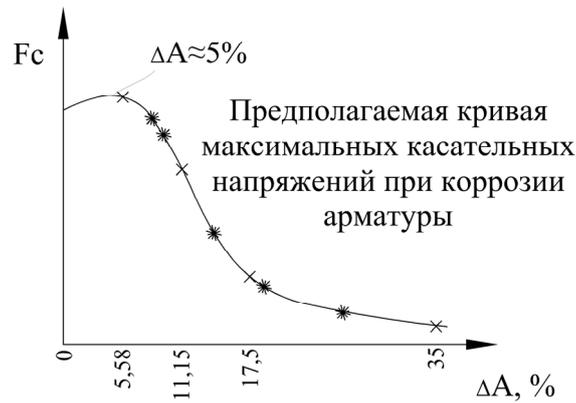
$I_{\text{corr}}$ mA/cm <sup>2</sup>	I, mA	$\varphi_{\max}$ / $\varphi_{\min}$	10	12	14	16	18	20
			651	184	6	8,20	4,79	3,03
869	437	8	<del>18,86</del>	11,15	7,10	4,79	<del>3,37</del>	2,46
1086	853	10	<del>35,00</del>	21,17	13,62	9,24	6,53	4,79
1303	1474	12		<del>35,00</del>	22,92	15,68	11,15	8,20

\* Зачеркнутые значения в таблице исключаются по причине отсутствия уровня “0” соответствующего диаметра арматуры.

\*\* Серым отмечены значения степени коррозии  $\Delta A_2$ , находящиеся в малозначимой области экспериментальных значений (оптимальный уровень  $\Delta A_2 \approx \Delta A_1 / 3$ ).

\*\*\* В левой части таблицы приведены значения силы тока в цепи для соответствующих диаметров  $\varphi_{\min}$  при  $t = 4$  нед. (4/52).

Наиболее рациональные уровни диаметра арматуры по таблице 1 – 8, 10 и 12 мм. Значения степени коррозии при  $t = 2, 3, 4$  нед. для диаметра 8 мм – 35%, 26,25%, 17,5%; для диаметра 10 мм – 18,86%, 14,15%, 9,43%; для диаметра 12 мм – 11,15%, 8,36%, 5,58%.



**Рис. 1.** Область значений  $\Delta A_i$ , при выбранном уровне диаметра арматуры (8, 10 и 12 мм):  
 \* – обозначены значения  $\Delta A_i$  при уровнях «0» факторов  $t$  и  $\varphi$ ,  
 x – то же при уровнях «-» и «+».

Величину защитного слоя бетона ( $c$ ) следует назначать в соответствии с нормами армирования конструкций, принимая значения  $\varphi \leq c \leq 4\varphi$ . Показательно соотношение  $c/\varphi$ . Значение  $c$  предлагается заменить в эксперименте более удобным фактором – расстоянием от центра тяжести арматуры до поверхности бетона. При назначении уровней последнего 18, 27 и 36 мм ( $\varphi$  арматуры 8, 10, 12 мм),  $c/\varphi$  составляет 1, 1,3, 1,75, 1,75, 2,2, 2,5, 2,875, 3,1, 4.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.
2. Denglei Tang B. Influence of chloride-induced corrosion cracks on the strength of reinforced concrete.