

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 ее 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 ϕ);
- 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 Δr – 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 φ_{\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 ΔA_2 при $\Delta A_1 = 35\%$

I_{corr} mA/cm ²	I, mA	φ_{\max} / φ_{\min}	10	12	14	16	18	20
			651	184	6	8,20	4,79	3,03
869	437	8	18,86	11,15	7,10	4,79	3,37	2,46
1086	853	10	35,00	21,17	13,62	9,24	6,53	4,79
1303	1474	12		35,00	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 ΔA_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 φ_{\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%.

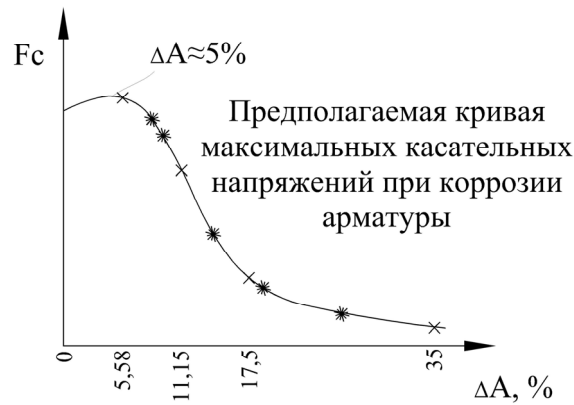


Рис. 1. Область значений ΔA_i , при выбранном уровне диаметра арматуры (8, 10 и 12 мм):
 * – обозначены значения ΔA_i при уровнях «0» факторов t и φ ,
 x – то же при уровнях «-» и «+».

Величину защитного слоя бетона (c) следует назначать в соответствии с нормами армирования конструкций, принимая значения $\varphi \leq c \leq 4\varphi$. Показательно соотношение c/φ . 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 (φ арматуры 8, 10, 12 мм), c/φ 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.