

Определяющим фактором зависимости показателя прочности бетона на сжатие от конфигурации и типоразмера образцов-изделий является их высота или высота сжимаемого слоя бетона.

В этой связи, чтобы полностью исключить влияние конфигурации изделий в плане на показатель прочности бетона, определяемой с помощью пластин, следует однозначно устанавливать место их расположения (всегда одно и то же) при определении поправочного коэффициента по СТБ 1152–99 и в процессе дальнейших испытаний контролируемых изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плиты бетонные и железобетонные для тротуаров и дорог. Технические условия. СТБ 1071-2007. Введ. 18.07.2007. – Минск: Госстандарт, 2007. – 15 с.
2. СТБ ЕН 1339-2007 Плиты бетонные. Требования и методы испытаний.
3. СТБ ЕН 1340-2007 Камни бортовые бетонные. Требования и методы испытаний.

УДК 624.01/.04

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В КАРБОНИЗИРОВАННОМ БЕТОНЕ ДЛЯ АГРЕССИВНОЙ АТМОСФЕРНОЙ СРЕДЫ

ВАСИЛЬЕВ А. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Карбонизация бетона, нейтрализуя защитный слой, создает условия для возникновения и развития коррозии стальной арматуры. В процессе ее развития происходит уменьшение поперечного сечения стальной арматуры с одновременным снижением механических характеристик, поэтому одним из важнейших вопросов является установление зависимости скорости коррозии стальной арматуры при карбонизации защитного слоя бетона от его толщины,

класса бетона по прочности и условий эксплуатации железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК).

Существующие методики оценки карбонизации, основанные на фенолфталеиновом тесте (ФФТ), рассматривают только два состояния бетона – «здоровый», сохраняющий защитные свойства по отношению к стальной арматуре, и карбонизированный, способствующий возникновению и развитию коррозии, не позволяя оценивать скорость развития коррозии стальной арматуры по сечению карбонизированного бетона.

Так, скорость коррозии стальной арматуры в условиях открытой атмосферы в соответствии с [1]:

$$V_{corr} = V_{corr,a} \cdot \frac{N_w}{365}, \quad (1)$$

где $V_{corr,ar}$ – средняя скорость коррозии стальной арматуры, мм/год, определяемая условиями эксплуатации; в соответствии с [1] при эксплуатации на открытом воздухе $V_{corr,ar} = 0,005$ мм/год, в условиях помещений $V_{corr,ar} = 0,002$ мм/год; N_w – количество дней в году с осадками более 2,5 мм.

Предлагаемая зависимость, не учитывает такие важнейшие факторы, как класс бетона по прочности (состав бетона), толщина защитного слоя и др.

Для возможности определения скорости развития коррозии стальной арматуры в карбонизированном защитном слое бетона были использованы результаты многолетних исследований карбонизации бетона и ее влияния на изменение состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре и состояния стальной арматуры [2, 3] для различных эксплуатационных условий.

Из основных атмосферных условий, в которых эксплуатируются ЖБЭ и ЖБК (условий открытой атмосферы, общественных зданий и промышленных с неагрессивной эксплуатационной средой, сельскохозяйственных зданий), наибольшей агрессивностью по отношению к ЖБЭ (повышенной карбонизируемостью) обладают эксплуатационные условия сельскохозяйственных зданий. Агрессивность атмосферы в них для ЖБЭ и ЖБК определяется следующими основными эксплуатационными условиями: концентрация CO_2 – 0,1–1,0 %; относительная влажность – до 100 %; положительная температура в помещениях в течение всего года; наличие зон с по-

вышенным содержанием CO_2 и влажности длительные промежутки времени с учетом специфики вентиляции; постоянное длительное воздействие CO_2 и влажности в зимний период.

На основании выявленной зависимости коррозионного состояния стальной арматуры от степени карбонизации бетона в зоне ее расположения (таблица) и полученных регрессионных зависимостей изменения во времени по сечению степени карбонизации бетонов различных классов по прочности [3] был выполнен анализ времени наступления граничных значений степеней карбонизации для классов бетона по прочности $\text{C}^{12/15}$ – $\text{C}^{30/37}$ эксплуатационных условий сельскохозяйственных зданий.

Таблица

Взаимосвязь состояния стальной арматуры, параметров рН и СК

Категория потери защитных свойств бетона	Граничные значения показателя рН	Степень карбонизации, СК	Граничные значения показателя СК, %	Глубина коррозионного повреждения стальной арматуры, мм
0	> 11,80	0	<13	–
I	11,80–10,80	I	13–26	До 0,20
II	< 10,80–10,30	II	> 26–36	“ “ 0,50
III	< 10,30–9,80	III	> 36–47	“ “ 0,90
IV	< 9,80–9,00	IV	> 47–74	“ “ 1,50
V	< 9,00	V	> 74	> 1,50

По его результатам были построены регрессионные зависимости изменения во времени коррозионного повреждения стальной арматуры для толщин защитного слоя бетона 10, 15, 20 и 25 мм для классов бетона по прочности $\text{C}^{12/15}$ – $\text{C}^{30/37}$ условий эксплуатации сельскохозяйственных зданий.

В качестве примера на рис. 1–3 приведены в графическом виде регрессионные зависимости глубины коррозионного повреждения стальной арматуры от толщины защитного слоя бетонов классов по

прочности $C^{12}/_{15}$, $C^{20}/_{25}$ и $C^{30}/_{37}$ для эксплуатационных условий сельскохозяйственных зданий. Регрессионные зависимости для остальных классов бетона по прочности получены аналогично.

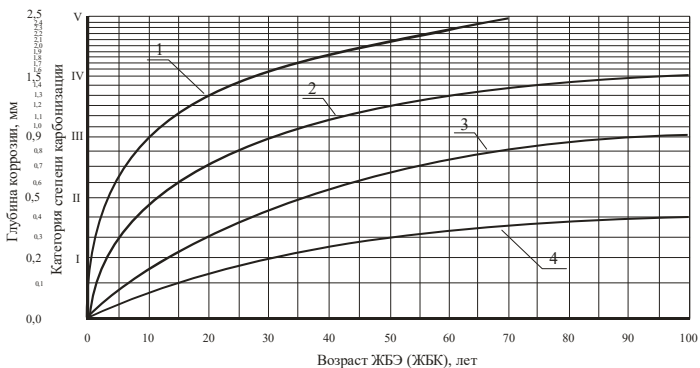


Рис. 1. Регрессионные зависимости глубины коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{12}/_{15}$ для условий сельскохозяйственных зданий:
толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25 мм

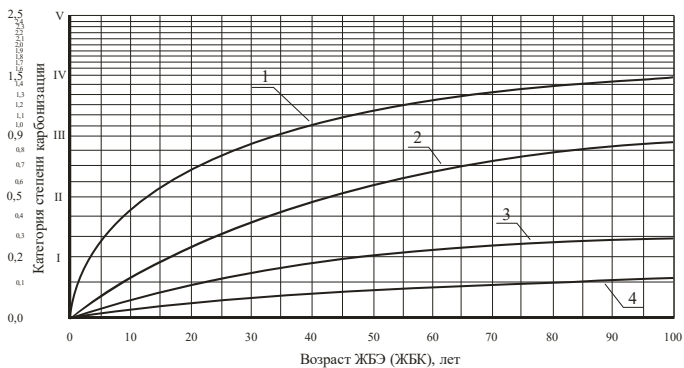


Рис. 2. Регрессионные зависимости глубины коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{20}/_{25}$ для условий сельскохозяйственных зданий:
толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25 мм

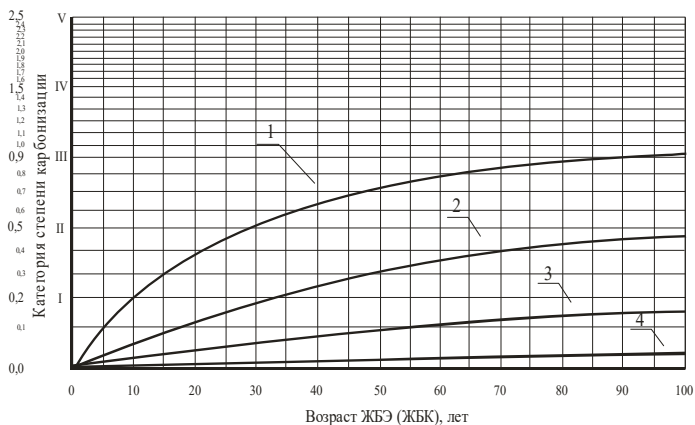


Рис. 3. Регрессионные зависимости глубины коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности С30/37 для условий сельскохозяйственных зданий:
толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 20; 4 – 25 мм

Результаты исследований показывают, что коррозионные повреждения стальной арматуры развиваются по сложной экспоненциальной зависимости и их скорость зависит от толщины защитного слоя бетона и класса бетона по прочности.

Приняв, что потеря 25 % площади поперечного сечения стальной арматуры является ее критическим повреждением [4], и коррозия развивается по всей поверхности стержня, получены значения критической глубины коррозии для различных диаметров стальной арматуры (табл. 2).

Таблица 2

Критическая глубина коррозии для различных диаметров арматуры

Диаметр стержня, мм	Критическая глубина коррозии, мм	Диаметр стержня, мм	Критическая глубина коррозии, мм
6	0,40	16	1,07
8	0,54	18	1,21
10	0,67	20	1,34
12	0,80	22	1,47
14	0,94	25	1,88

Используя полученные регрессионные зависимости коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона, определен возраст достижения стальной арматуры (различных диаметров) критической глубины коррозии для фиксированных значений толщины защитного слоя.

По полученным результатам построены регрессионные зависимости времени критического повреждения стальной арматуры диаметров $\varnothing 6 \div 25$ мм от

толщины защитного слоя для бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$, и $C^{20}/_{25}$ для эксплуатационных условий сельскохозяйственных зданий (рис. 4 и 5 соответственно).

Регрессионные зависимости для остальных классов бетона по прочности получены аналогично.

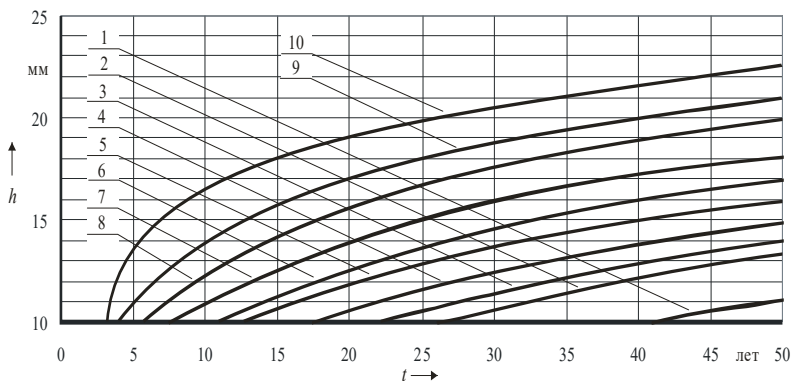


Рис. 4. Регрессионные зависимости критического коррозионного повреждения стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{12}/_{15}$ для условий сельскохозяйственных зданий: диаметры стальной арматуры (\varnothing): 1 – 25; 2 – 22; 3 – 20; 4 – 18; 5 – 16; 6 – 14; 7 – 12; 8 – 10; 9 – 8; 10 – 6 мм

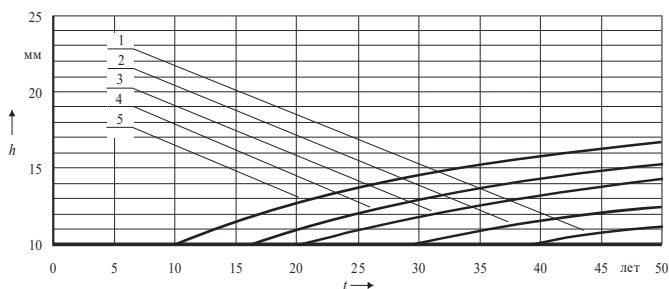


Рис. 5. Регрессионные зависимости критического коррозионного повреждения стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона класса по прочности $C^{20}/_{25}$ для условий сельскохозяйственных зданий: диаметры стальной арматуры (Ø): 1 – 6; 2 – 8; 3 – 10; 4 – 12; 5 – 16 мм

Полученные зависимости позволяют, задаваясь величиной критической потери диаметра (площади) стальной арматуры, прогнозировать время наступления критического повреждения стальной арматуры различных диаметров в ЖБЭ, изготовленных из бетонов классов по прочности $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$, эксплуатирующихся в атмосферных условиях сельскохозяйственных зданий в зависимости от толщины защитного слоя.

Использование полученных зависимостей позволяет прогнозировать глубину коррозионного повреждения стальной арматуры во времени и оценивать среднюю скорость ее коррозии в зависимости от толщины защитного слоя бетонов различных классов по прочности. Приняв, нормативный срок эксплуатации ЖБЭ сельскохозяйственных зданий 50 лет и фактический – 25, по полученным графическим регрессионным зависимостям глубины коррозионных повреждений стальной арматуры от толщины защитного слоя определили среднюю скорость коррозии стальной арматуры для граничных толщин защитного слоя бетонов различных классов по прочности и получили регрессионные зависимости скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя для бетонов различных классов по прочности, приведенные на рис. 6 и 7.

Они показывают, что средняя скорость коррозии стальной арматуры уменьшается по сечению бетона с поверхности вглубь по сложной экспоненциальной зависимости, причем с уменьшением толщины защитного слоя бетона (менее 20 мм) она значительно выше предлагаемой [1].

Использование предлагаемых зависимостей позволяет прогнозировать изменение средней скорости коррозионного повреждения стальной арматуры во времени в зависимости от толщины защитного слоя бетонов различных классов по прочности для условий эксплуатации сельскохозяйственных зданий.

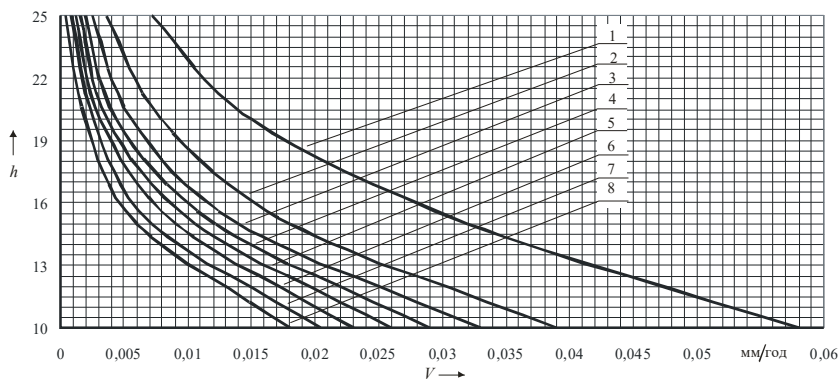


Рис. 6. Регрессионные зависимости средней скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона для условий сельскохозяйственных зданий для нормативного срока эксплуатации 25 лет Классы бетона по прочности: 1 – $C^{12}/15$; 2 – $C^{16}/20$; 3 – $C^{18}/22,5$; 4 – $C^{20}/25$; 5 – $C^{22}/27,5$; 6 – $C^{25}/30$; 7 – $C^{28}/35$; 8 – $C^{30}/37$

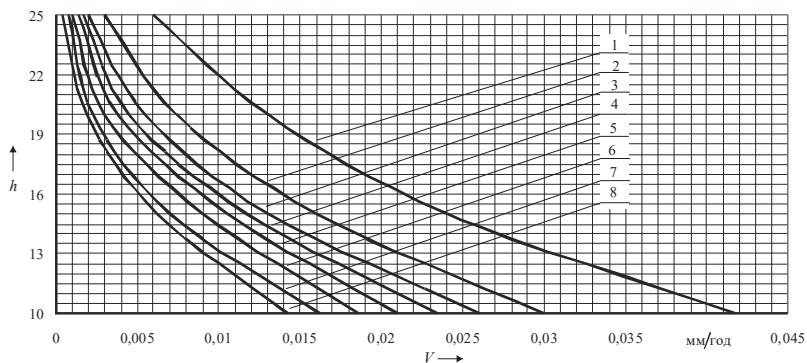


Рис. 7. Регрессионные зависимости средней скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя бетона для условий сельскохозяйственных зданий для нормативного срока эксплуатации 50 лет Классы бетона по прочности: 1 – $C^{12}/15$; 2 – $C^{16}/20$; 3 – $C^{18}/22,5$; 4 – $C^{20}/25$; 5 – $C^{22}/27,5$; 6 – $C^{25}/30$; 7 – $C^{28}/35$; 8 – $C^{30}/37$

Помимо вышеописанных, результаты исследований и предложенный алгоритм дают возможность получить систему регрессионных зависимостей оценки абсолютной скорости развития во времени коррозии стальной арматуры для различных классов бетона по прочности (в зависимости от количества использованного цемента) эксплуатационных условий сельскохозяйственных зданий.

Кроме того, задавшись величиной критического уменьшения площади поперечного сечения стальной арматуры (различных диаметров), прогнозировать время наступления ее критического повреждения для разных классов бетона по прочности (в зависимости от количества использованного цемента) эксплуатационных условий сельскохозяйственных зданий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. DuraCrete 7: General guidelines for durability design and redesign. The European Union – Brite EuRam III, Project No. BE95-1347, Probabilistic Performance-based Durability Design of Concrete Structures, Report No. T7-01-1, 1999.

2. Васильев, А. А. Совершенствование оценки и прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций, эксплуатирующихся в различных атмосферных условиях / А. А. Васильев // Проблемы современного бетона и железобетона. Сборник научных трудов. Вып. 9. – Минск, 2017. – С. 148–167.

3. Васильев, А. А., Оценка и прогнозирование степени карбонизации бетона / А.А. Васильев // Инновационное развитие: потенциал науки и современного образования: монография / Под общ. ред. Г.Ю. Гуляева – Пенза: МЦНС «Наука и просвещение – 2018. – С. 148–158.

4. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений. Порядок проведения: ТКП 45-1.04-37-2008 (02250). – Введ. 2008-21-29 – Минск, 2009. – 39 с.