

3 История гидропоники [Электронный ресурс] // HydroponEast Magazine. – 2012. – № 3. – Режим доступа : <https://autogrow.ru/assets/images/tickets/1776/cba6ba0f04887c9b575327efc8bfc894d82bcd0c.pdf>. – Дата доступа : 14.09.2023.

4 Михайлова, А. Грядки растут вверх. Вертикальные фермы расширяют экспансию в регионы // Агроинвестор [Электронный ресурс] / А. Михайлова. – Режим доступа : <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/39141-gryadki-rastut-vverkh-vertikalnye-fermy-rasshiryayut-/>. – Дата доступа : 16.09.2023.

5 Тачилкина, А. В. Принципы проектирования гидропонных ферм / А. В. Тачилкина // Архитектура и строительство: традиции и инновации : материалы Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 22 декабря 2022 года / под общ. ред. А. А. Ерофеева. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 122–125.

УДК 624.012.35.001.18

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В КАРБОНИЗИРОВАННОМ БЕТОНЕ

М. И. ТКАЧЕВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В ходе эксплуатации на железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) воздействуют сложные по своему характеру внешние и внутренние факторы, к которым можно отнести постоянные и переменные нагрузки и воздействие окружающей среды (агрессивная среда или открытая атмосфера), влекущие за собой повышение вероятности отказа. Карбонизация бетона является наиболее важным из процессов, что влечет за собой возникновение коррозии стальной арматуры и ее дальнейшее развитие.

В ходе коррозии уменьшается диаметр стальной арматуры и, как следствие, площадь ее поперечного сечения, при этом также происходит снижение механических характеристик стали. Установление степени влияния карбонизации бетона на величину коррозии стальной арматуры является одной из проблем, которая исследуется в настоящее время [1, 2].

Согласно данным исследования [5], погодные условия являются ключевым фактором, определяющим скорость коррозии арматуры в карбонизированном бетоне, при этом температура и относительная влажность являются определяющими, что отображено в формуле

$$r = C_T r_0, \quad (1)$$

где C_T – температурный коэффициент; r_0 – скорость коррозии при температуре +20 °С.

В исследовании [4] представлены рекомендуемые в расчетах значения средней скорости коррозии при карбонизации бетона при относительной влажности воздуха (RH):

$$RH = 90 \dots 98 \% - r_0 = 510 \text{ мкм/год};$$

$$RH < 85 \% - r_0 \leq 2 \text{ мкм/год}.$$

Невозможно точно определить глубину поражения коррозией стальной арматуры и ее скорость при карбонизации бетона, опираясь только на условия эксплуатации, необходимо учитывать влияние конструктивных особенностей ЖБЭ (ЖБК): толщины защитного слоя бетона и его состава, класса арматуры и др.

Длительные исследования в области карбонизации бетона ЖБЭ (ЖБК) в различных условиях эксплуатации дали возможность получить регрессионные зависимости скорости коррозии стальной арматуры и ее глубины от толщины защитного слоя для бетонов классов по прочности на сжатие $C^{12/15} - C^{30/37}$ [1].

Скорость коррозии стальной арматуры для установленной толщины защитного слоя и времени эксплуатации

$$v_{t,s} = \left(b_0 + \frac{b_1}{s} \right) \left(c_0 + \frac{c_1}{s} \right) \cdot \exp \left[- \left(c_0 + \frac{c_1}{s} \right) t \right]. \quad (2)$$

Глубина коррозии стальной арматуры

$$h_{t,s} = \left(b_0 + \frac{b_1}{s} \right) \left\{ 1 - \exp \left[- \left(c_0 + \frac{c_1}{s} \right) t \right] \right\}, \quad (3)$$

где b_0 , мм/год; b_1 , мм²/год; c_0 , мм/мм; c_1 , мм – коэффициенты, определяемые классом по прочности на сжатие бетона $C^{12}/_{15}$ – $C^{30}/_{37}$; s – толщина защитного слоя бетона, мм; t – срок эксплуатации, лет.

Зависимости дают возможность прогнозировать изменение во времени величины коррозионного повреждения стальной арматуры и оценивать ее среднюю скорость, учитывая особенности эксплуатируемого (проектируемого) ЖБЭ (ЖБК) [1].

При карбонизации бетона изменение коррозии стальной арматуры во времени имеет вид сложной экспоненциальной зависимости (уменьшается по сечению с поверхности вглубь), зависит от состава бетона и ее характер идентичен для всех классов бетона по прочности на сжатие, что показывает анализ полученных зависимостей.

С использованием выражения (3) построена регрессионная зависимость площади поперечного сечения стальной арматуры ($\varnothing 20$ S500) от толщины защитного слоя для бетона класса по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5}$ при эксплуатации в открытой атмосфере и карбонизации бетона (рисунок 1).

Для иллюстрации продолжительности срока службы ЖБЭ за критический порог принята $A = 235,5$ мм² (соответствует потере 25 % площади сечения), а также что поверхностная коррозия развивается равномерно по всей поверхности стержня [2, 3].

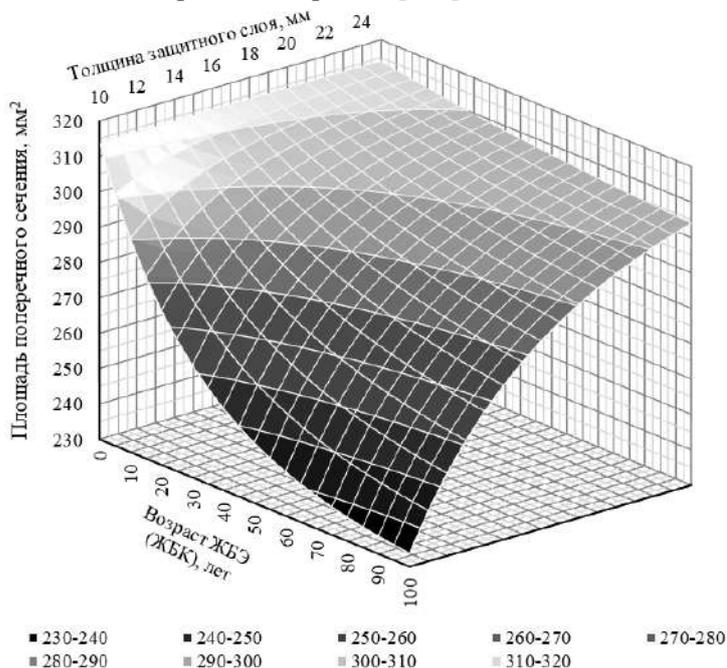


Рисунок 1 – Зависимость изменения во времени площади поперечного сечения стальной арматуры ($\varnothing 20$ S500) для бетона класса по прочности на сжатие $C^{18}/_{22,5}$ для условий открытой атмосферы

Использованные зависимости (2) и (3) являются основой для получения выражений, определяющих время появления и развития трещин до предельных значений. Эти зависимости позволяют при обследовании ЖБЭ (ЖБК) установить время наступления критического поражения коррозией рабочей арматуры, что может быть использовано также в расчете несущей способности, и повысить объективность и качество оценки технического состояния ЖБЭ (ЖБК).

Список литературы

- 1 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
- 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: сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 9. – С. 148–167.
- 3 Железобетон в XXI веке : Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М. : Готика, 2001. – 684 с.
- 4 The practical assessment of damage due to corrosion / C. Andrade [et al.] // Proceedings of Int. Conf. Concrete across Borders / Danish Concrete Association. – Odense, 1994. – P. 337–350.
- 5 **Siemens, A.** Durability of buildings : a reliability analysis / A. Siemens, A. Vrouwenvelder, A. van den Beukel // Heron. – 1985. – № 30 (3). – P. 3–48.