

УДК 624.011.2:692.46(476.2)

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ В КАРБОНИЗИРОВАННОМ БЕТОНЕ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ ОТКРЫТОЙ АТМОСФЕРЫ

ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ,

к.т.н., доцент,

ТКАЧЕВА МАРГАРИТА ИГОРЕВНА

магистр т.н.

УО «Белорусский государственный университет транспорта»,

г. Гомель

**Аннотация:** по результатам многолетних исследований карбонизации бетона, и ее влияния на изменение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре, получена зависимость глубины коррозионного повреждения и скорости коррозии стальной арматуры для бетонов классов по прочности  $C^{12/15}$ – $C^{30/37}$  эксплуатационных условий открытой атмосферы. Выполнен анализ времени наступления критического повреждения стальной арматуры в карбонизированных бетонах различных классов по прочности на сжатие.

**Ключевые слова:** карбонизация бетона, стальная арматура, скорость коррозии, предельная глубина коррозии.

## CORROSION PREDICTION STEEL REINFORCEMENT IN CARBONIZED CONCRETE FOR OPEN ATMOSPHERE OPERATING CONDITIONS

Vasiljev Alexander Anatoljevich,  
Tkacheva Margarita Igorevna

**Abstract:** Based on the results of long-term studies of concrete carbonation and its influence on the change in the protective properties of concrete in relation to steel reinforcement, the dependence of the depth of corrosion damage and the corrosion rate of steel reinforcement for concrete strength classes  $C^{12/15}$ – $C^{30/37}$  operating conditions of the open atmosphere was obtained. The time of occurrence of critical damage of steel reinforcement in carbonized concrete of various classes of compression strength was analyzed.

**Key words:** concrete carbonization, steel reinforcement, corrosion rate, maximum corrosion depth.

Железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) в процессе длительной эксплуатации подвергаются воздействию сложных по своему характеру нагрузок, температурно-влажностных деформаций, агрессивных сред, других внешних и внутренних по отношению к ЖБЭ (ЖБК) факторов, влекущих за собой снижение их несущей способности.

Карбонизация – основной вид коррозии бетона, нейтрализующий бетон в ЖБЭ и ЖБК, эксплуати-

руемых в условиях открытой атмосферы [1–3]. Снижая защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре, она создает условия для начала ее коррозии. Развиваясь во времени, она соответственно, определяет скорость и интенсивность коррозии, как бетона защитного слоя, так и стальной арматуры.

Коррозия бетона и стальной арматуры ЖБЭ (ЖБК) приводит к изменению механических характеристик материалов, нарушению совместной работы бетона и стальной арматуры, перераспределению усилий в сечениях конструкций и, как следствие – изменению расчетных схем, другим последствиям, являясь, в первую очередь, основными факторами, определяющими снижение несущей способности ЖБЭ (ЖБК) вплоть до создания аварийной ситуации.

Таким образом, сегодня, с учетом огромного количества эксплуатируемых и проектируемых ЖБЭ (ЖБК), одним из самых актуальных вопросов является нахождение зависимости скорости коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне от его толщины, класса бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации ЖБЭ (ЖБК) [3].

В ходе многолетних исследований карбонизации бетона и ее влияния на состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре были получены регрессионные зависимости скорости коррозии стальной арматуры от толщины защитного слоя (10–25 мм) для бетонов классов по прочности на сжатие  $C^{12/15}$ – $C^{30/37}$  и различных эксплуатационных условий [1]. Были использованы регрессионные зависимости степени карбонизации для колонн (как наиболее массивных элементов) и зависимость коррозионного состояния стальной арматуры от степени карбонизации бетона в зоне ее расположения. Полученные зависимости позволяют прогнозировать изменение глубины коррозионного повреждения стальной арматуры во времени и оценивать среднюю скорость ее коррозии в зависимости от толщины защитного слоя бетонов различных классов по прочности на сжатие и условий эксплуатации.

Глубина коррозии стальной арматуры для любой толщины защитного слоя:

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

где  $b_0$ , мм/год;  $b_1$ , мм<sup>2</sup>/год;  $s$ , мм;  $c_0$ , мм/мм;  $c_1$ , мм – коэффициенты;  $s$  – толщина защитного слоя бетона, мм;  $t$  – срок эксплуатации, лет.

Скорость коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне:

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

Полученные зависимости показывают, что скорость коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне носит схожий характер для любых классов бетона по прочности на сжатие (уменьшается по сечению с поверхности вглубь по сложной экспоненциальной зависимости), и зависит от класса бетона по прочности на сжатие (чем выше класс бетона по прочности на сжатие, тем ниже скорость коррозии).

Регрессионные зависимости изменения во времени площади поперечного сечения стальной арматуры в карбонизированном бетоне от толщины защитного слоя для эксплуатационных условий открытой атмосферы, построенные на основе выражения (1) являются поверхностями 2-го рода (рисунки 1 и 2). При их построении за критическое повреждение стальной арматуры принята [4, 5], потеря 25 % площади поперечного сечения стальной арматуры, и что, поверхностная коррозия развивается равномерно по всей поверхности стержня.

Приняв нормативные значения диаметров стальной рабочей арматуры и класса бетона по прочности на сжатие, а также задавшись граничными значениями толщины защитного слоя бетона и сроков эксплуатации, получены регрессионные зависимости предельных коррозионных повреждений стальной арматуры ( $\varnothing 20$  S500) от толщины защитного слоя различных бетонов класса по прочности на сжатие ( $C^{18/22,5}$  и  $C^{20/25}$ ) условий открытой атмосферы, приведенные в графическом виде на рисунках 3 и 4, соответственно.

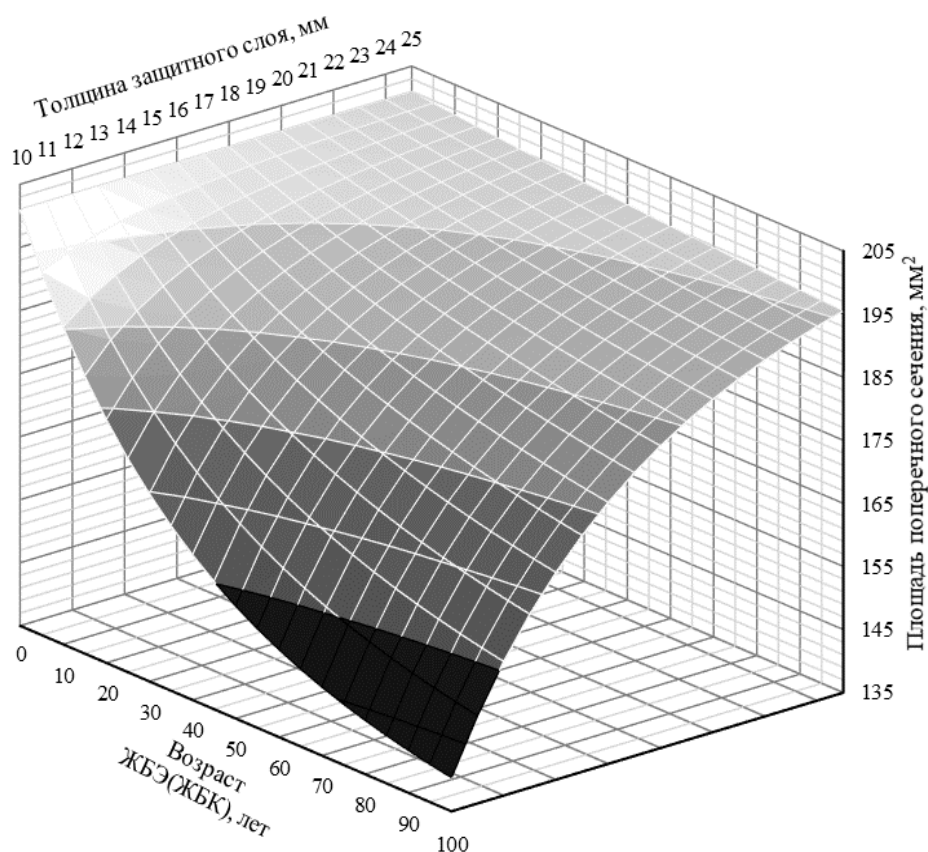


Рис. 1. Зависимость изменения во времени площади поперечного сечения стальной арматуры (Ø16 S500) для бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20/25}$  для условий открытой атмосферы

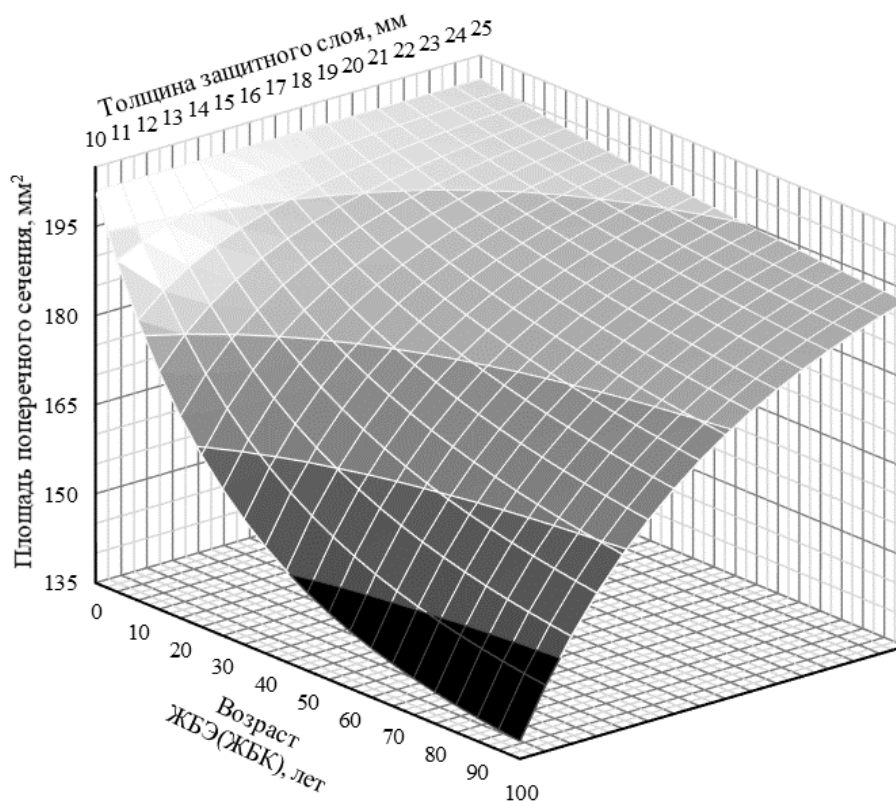
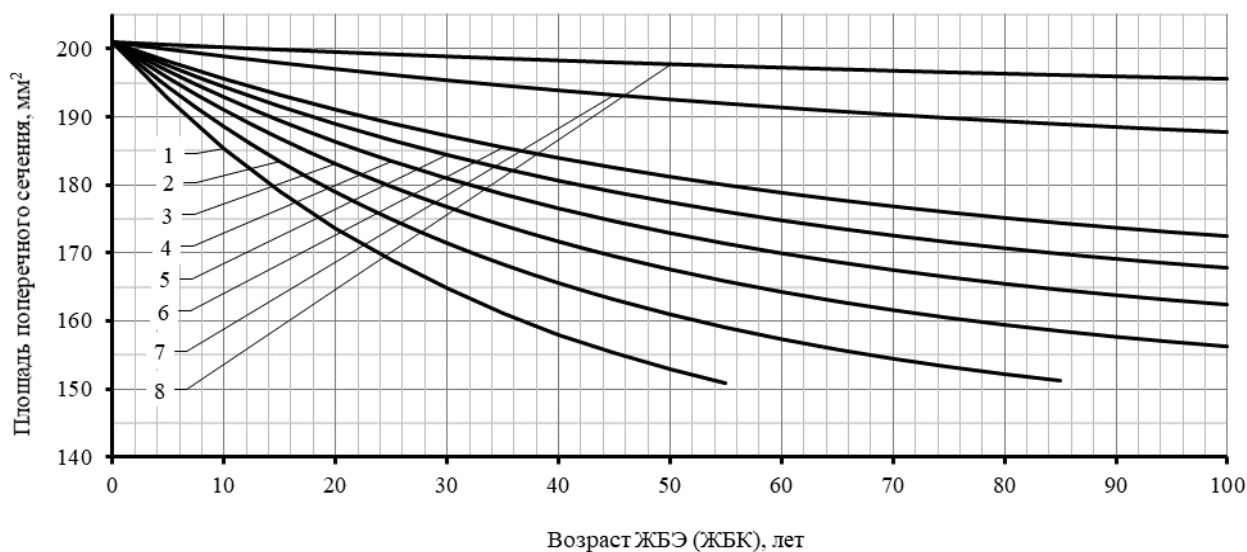
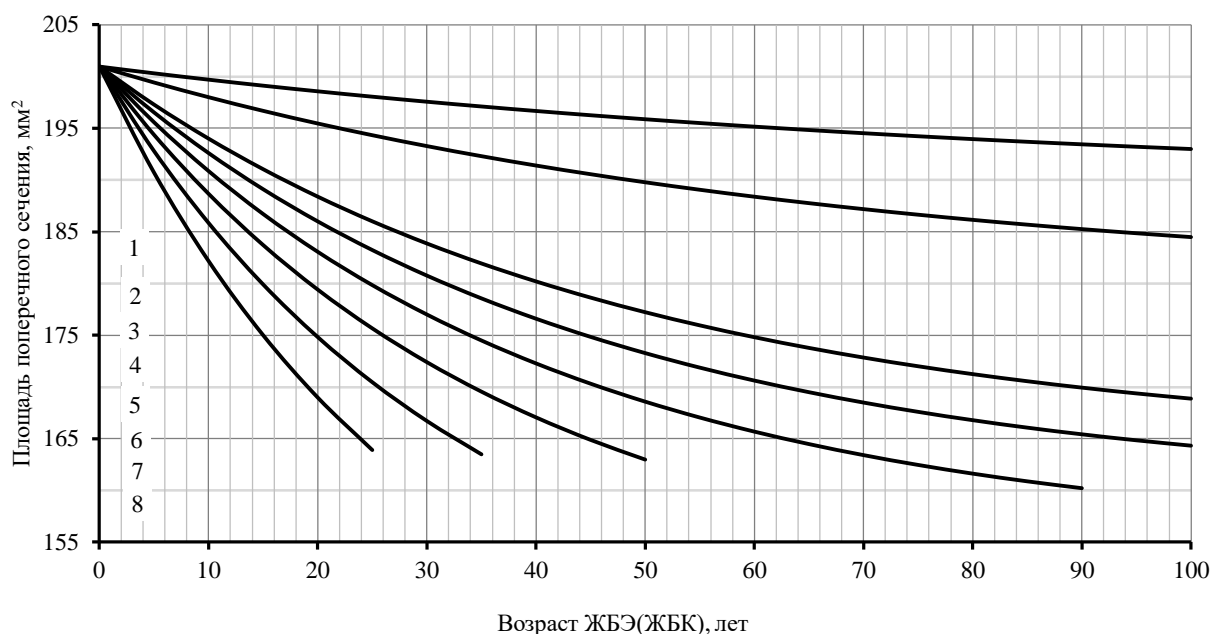


Рис. 2. Зависимость изменения во времени площади поперечного сечения стальной арматуры (Ø16 S500) для бетона класса по прочности на сжатие  $C^{18/22,5}$  для условий открытой атмосферы



Толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 11; 3 – 12; 4 – 13; 5 – 14; 6 – 15; 7 – 20; 8 – 25 мм

**Рис. 3. Зависимость предельных коррозионных повреждений стальной арматуры ( $\varnothing 16$  S500) от толщины защитного слоя бетона класса по прочности на сжатие  $C^{20/25}$  для условий открытой атмосферы**



Толщина защитного слоя бетона: 1 – 10; 2 – 11; 3 – 12; 4 – 13; 5 – 14; 6 – 15; 7 – 20; 8 – 25 мм

**Рис. 4. Зависимость предельных коррозионных повреждений стальной арматуры ( $\varnothing 16$  S500) от толщины защитного слоя бетона класса по прочности на сжатие  $C^{18/22,5}$  для условий открытой атмосферы**

Использование зависимостей (1) и (2) при детальном обследовании ЖБЭ (ЖБК), позволяет определить сроки критического повреждения стальной арматуры, что значительно повышает объективность оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК).

Результаты исследования дают возможность значительно повысить точность прогнозирования параметров коррозии стальной арматуры, времени начала и наступления предельных коррозионных повреждений. Зависимости (1) и (2) являются базовыми для получения выражений, определяющих время появления и развития трещин до предельных значений.

Включение в расчеты несущей способности и эксплуатационной пригодности полученных зави-

симостей позволяет повысить объективность оценки и прогнозирования физического износа, остаточного ресурса (долговечности) не только ЖБЭ (ЖБК), но и подавляющего большинства существующих (проектируемых) зданий и сооружений.

#### Список источников

1. Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.
2. Васильев, А. А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование) : [монография] / А. А. Васильев ; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 303 с.
3. Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев; Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.
4. 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.
5. Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М.: Готика, 2001. –684 с.