

УДК 624.012.45.059.4:620.193

БАЛЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОРРОЗИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ И БЕТОНА

М.И. Ткачева, А.А. Васильев

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ),

г. Гомель, Республика Беларусь

e-mail: ritko4ka@gmail.com, alex.vas.62@mail.ru

Проанализированы результаты обследований эксплуатирующихся железобетонных элементов и конструкций. На основе полученных данных предложена балльная система оценки коррозионных показателей стальной арматуры и бетона, для оценки степени значимости поврежденности коррозионными процессами стальной арматуры даны предельные величины площади сечений и глубины коррозии для наиболее распространенных диаметров стержней стальной арматуры.

Ключевые слова: карбонизация бетона, коррозия стальной арматуры, оценка коррозии.

GRADE ASSESSMENT OF CORROSION INDICATORS OF STEEL REINFORCEMENT AND CONCRETE

M. Tkacheva, A. Vasiliev

Belarusian State University of Transport (BelGUT), Gomel, Republic of Belarus

e-mail: ritko4ka@gmail.com, alex.vas.62@mail.ru

The results of surveys of operating reinforced concrete elements and structures are analyzed. Based on the data obtained, a scoring system for assessing the corrosion characteristics of steel reinforcement and concrete is proposed. To assess the degree of significance of corrosion damage to steel reinforcement, the maximum values of the cross-sectional area and depth of corrosion for the most common diameters of steel reinforcement rods are given.

Keywords: carbonation of concrete, corrosion of steel reinforcement, assessment of corrosion.

Введение. При проектировании зданий и сооружений из железобетона одним из основных требований, предъявляемых к объекту, является требование долговечности [1]. Железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК) в течение установленного проектом срока эксплуатации должны сохранять свои свойства не ниже установленного уровня с учетом влияния условий окружающей среды и изменения свойств компонентов железобетона. Тип эксплуатационных условий и особенности его влияния на долговечность ЖБЭ (ЖБК) определяются на этапе проектирования.

В ходе проектирования ЖБЭ (ЖБК) важно учитывать, что изменение свойств бетона приводит к созданию условий для возникновения и дальнейшего развития коррозионных процессов в стальной арматуре, что влечет за собой ухудшение технического состояния эксплуатируемых зданий и сооружений, тем самым оказывая влияние на их долговечность.

Подавляющая масса проектируемых и возведенных ЖБЭ (ЖБК) эксплуатируется в воздушных средах, подвергаясь влиянию углекислого газа, содержащегося в атмосфере. Длительная во времени реакция между диоксидом углерода и гидроксидом кальция (основ-

ной компонент поровой жидкости бетона) оказывает значительное влияние на физико-механические характеристики бетона, снижая его защитные свойства по отношению к стали, заложенной в железобетон. Таким образом, возникновение и протекание карбонизации в эксплуатируемом сооружении является основной причиной появления и прогрессирования коррозии в основных компонентах железобетона (стальной арматуре и бетоне).

Проведено исследование влияния карбонизации бетона, расположенного в зоне стальной арматуры, на коррозионные процессы, протекающие в стальных стержнях, и пассивирующие свойства защитного слоя бетона в ЖБЭ(ЖБК).

Экспериментальная часть. В ходе обследований железобетонных элементов, эксплуатируемых в течение 10–40 лет в условиях открытой атмосферы и сельскохозяйственных зданий были отобраны пробы бетона. Полученные образцы использовались для определения показателя щелочности поровой жидкости и установления его связи с величиной коррозионных повреждений стальной арматуры. Для отбора проб бетона использовались экспресс-методы определения карбонатной составляющей и показателя щелочности поровой жидкости водной вытяжки цементного камня в цементно-песчаной фракции исследуемого образца бетона (рН), приведенные в [2].

Величина поврежденности коррозией стальной арматуры измерялась штангенциркулем по рабочему сечению стержня. Для дальнейшего анализа использовались данные трехсот образцов бетона с диапазоном величины показателя рН – 8,60–12,30.

В ходе соотнесения полученных величин показателя рН и глубины коррозионных повреждений стальных арматурных стержней получена диаграмма рассеивания (рисунке 1).

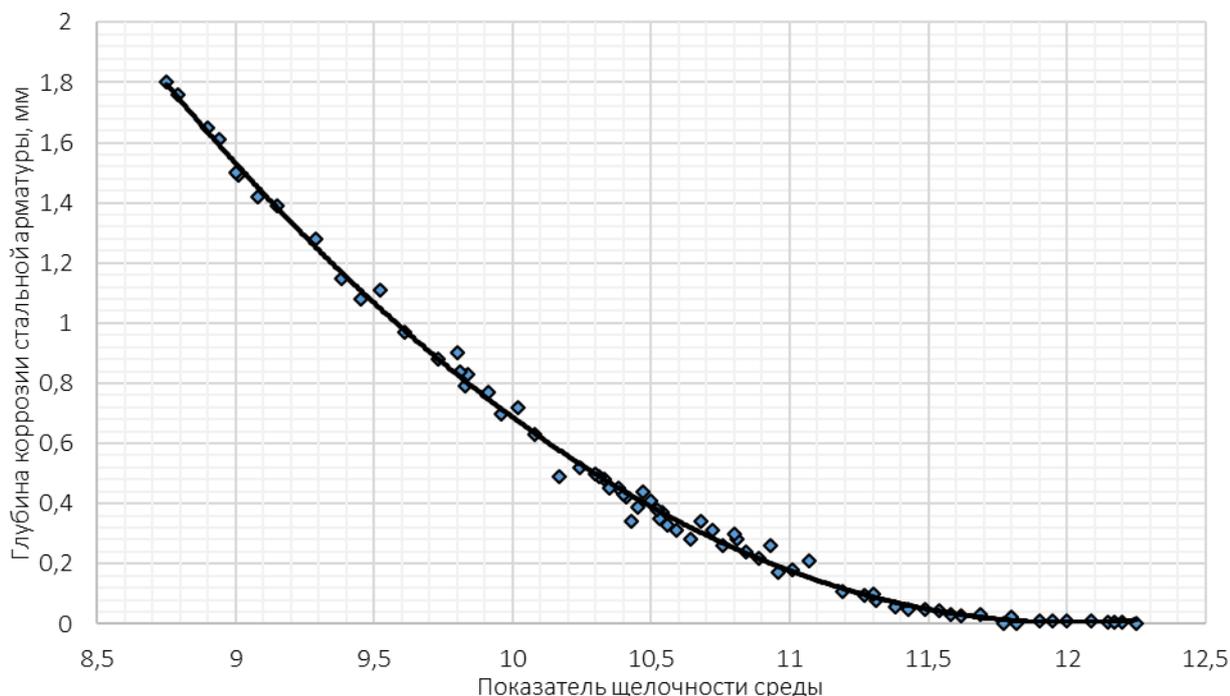


Рисунок 1. – Область значений показателей рН и h

Диаграмма рассеивания, приведенная на рисунке 1, описывается уравнением регрессионного вида (1), подобранным с помощью пакета MS “Excel”. Для оценки адекватности полученного выражения использовался коэффициент детерминации, который составляет

$R^2 = 0,9916$. Полученное значение статистически значимо отличается от нуля при уровне значимости 0,01, что отображает адекватность полученной модели.

$$h(pH)=0,1731pH^2 - 4,1456pH + 24,818, \quad (1)$$

где h – глубина коррозионных повреждений стального арматурного стержня, мм;
 pH – показатель щелочности поровой жидкости бетона.

Полученные данные показывают, что стальная арматура не корродирует при показателе pH более 11,80, что соответствует общепринятым представлениям [4]. При снижении показателя pH ниже принятого значения отмечается начало коррозионных процессов с последующим их развитием в условиях переменной влажности.

При оценивании способности бетона защищать стальную арматуру от воздействий окружающей среды показатель pH является определяющим. По ключевым значениям данного показателя, полученным по результатам исследований и общепринятым представлениям [2], предложены категории поврежденности коррозией стальной арматуры (таблица 1).

Таблица 1. – Категории поврежденности коррозией стержней стальной арматуры в зависимости от показателя pH

Диапазон величин показателя pH	Вид коррозионных повреждений стальной арматуры	Предельная величина глубины коррозии, мм
> 11,80	Коррозионные повреждения не выявлены	–
11,80–11,30	Начало развития коррозионных повреждений на отдельно взятых участках	0,10
11,30–10,80	Поверхностные коррозионные повреждения	0,20
10,80–10,50	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня. Уровень поврежденности – малый	0,30
10,50–10,30	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня. Уровень поврежденности – малый	0,50
10,30–9,80	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня. Уровень поврежденности – средний	0,90
9,80–9,00	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня. Уровень поврежденности – высокий	1,50
< 9,00	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня. Уровень поврежденности – повышенный	> 1,50

Анализируя вышеприведенные данные предложена бальная система оценки коррозионного состояния стальной арматуры (таблица 2).

Таблица 2. – Бальная оценка состояния стальной арматуры

Уровень поврежденности коррозией стальной арматуры (балл)	Внешние признаки коррозионных повреждений стальной арматуры
0	Поверхность стального стержня чистая (без видимых признаков коррозии)
I	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня глубиной до 0,20 мм
II	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня глубиной до 0,50 мм (уровень поврежденности – малый)
III	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня глубиной до 0,90 мм (уровень поврежденности – средний)
IV	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня глубиной до 1,50 мм (уровень поврежденности – высокий)
V	Сплошные коррозионные повреждения поверхности стального стержня глубиной более 1,50 мм (уровень поврежденности – повышенный)

При оценке долговечности различных ЖБЭ отдельное внимание следует уделить степени значимости величины глубины коррозионных повреждений для различных по сечению стержней стальной арматуры, ввиду того что для небольших диаметров даже малая величина коррозии может стать критической, тогда как для более крупных этот показатель будет незначителен. Для оценки принято, что потеря 25% площади сечения арматурного стержня является критической [3]. В ходе вычислений установлены предельные значения площади поперечного сечения стержня и глубины коррозионных повреждений для диаметров стальной арматуры 10–40 мм (таблица 3).

Таблица 3. – Предельные значения площади и коррозионных потерь для различных диаметров стальной арматуры

Диаметр арматуры, мм	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
Предельная площадь, мм ²	58,88	84,78	115,4	150,7	190,8	235,5	284,9	367,9	461,6	602,9	763,0	942,0
Предельная глубина коррозии, мм	0,670	0,804	0,938	1,07	1,21	1,34	1,47	1,68	1,88	2,14	2,41	2,68

В ходе обработки данных обследований наблюдалось, что на отдельных образцах рабочие и конструктивные стержни стальной арматуры диаметром до 12 мм были полностью разрушены при показателе $pH \leq 9,00$, что хорошо коррелирует с данными таблиц 1–3.

Приведенная ранее диаграмма рассеивания (рисунок 1) позволяет проанализировать каждый из уровней поврежденности коррозией стальной арматуры (таблица 2) в соотношении с показателем щелочности поровой жидкости бетона. В результате получены граничные значения показателя pH бетона, расположенного в непосредственной близости от стержней стальной арматуры (таблица 4).

Таблица 4. – Взаимосвязь степеней коррозионных повреждений стальной арматуры с показателем pH бетона

Уровень поврежденности коррозией стальной арматуры (балл)	Граничные значения показателя pH бетона	Уровень поврежденности коррозией стальной арматуры (балл)	Граничные значения показателя pH бетона
0	$> 11,80$	III	$< 10,30-9,80$
I	$< 11,80-10,80$	IV	$< 9,80-9,00$
II	$< 10,80-10,30$	V	$< 9,00$

Показатель щелочности поровой жидкости бетона является определяющим при рассмотрении защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре. Приведенные результаты исследований состояния стальной арматуры в зависимости от показателя pH бетона в зоне расположения арматуры, позволили предложить категории оценки потери защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре (таблица 5).

Таблица 5. – Категории потери защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре

Категория потери защитных свойств бетона	Граничные значения pH	Состояние бетона
0	$> 11,80$	Бетон полностью сохраняет пассивирующие свойства по отношению к стальной арматуре.
I	$11,80-10,80$	Начало деградации бетона. Начало потери пассивирующих свойств бетона по отношению к стальной арматуре
II	$< 10,80-10,30$	Деградация бетона (уровень поврежденности – малый)
III	$< 10,30-9,80$	Деградация бетона (уровень поврежденности – средний)
IV	$< 9,80-9,00$	Деградация бетона (уровень поврежденности – высокий)
V	$< 9,00$	Полная деградация бетона

Заключение. На основе проведенных обследований эксплуатирующийся ЖБЭ (ЖБК) получена область значений показателя щелочности поровой жидкости бетона и глубины коррозионных повреждений стальной арматуры. Полученные данные позволили предложить бальные системы оценки коррозионных показателей стальной арматуры и бетона. Предложенные категории оценки дают возможность более объективно оценивать надежность эксплуа-

тирующихся железобетонных зданий и сооружений, а также учитывать развитие деградационных процессов в железобетоне при проектировании новых зданий и сооружений или мероприятий усиления для существующих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы проектирования строительных конструкций = Основы праектавання будаўнічых канструкцый : СН 2.01.01-2022. – Взамен СН 2.01.01-2019 ; введ. 23.11.2022. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2022. – 65 с.
2. Васильев, А. А. Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона / А. А. Васильев. – Гомель : Учреждение образования "Белорусский государственный университет транспорта", 2019. – 215 с. – ISBN 978-985-554-825-7. – EDN PPYMDN.
3. Железобетон в XXI веке: Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России / Госстрой России; НИИЖБ. – М.: Готика, 2001. – 684 с.
4. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев [и др.]. // Совм. Изд. СССР – ЧССР – ФРГ. – М. : Стройиздат, 1990. – 320 с.