

## Список литературы

- 1 Новикова, О. К. Отведение и очистка поверхностных сточных вод : [монография] / О. К. Новикова – Гомель : БелГУТ, 2019. – 179 с.
- 2 Рекомендации по расчёту систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с сельтебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. – М. : НИИ ВОДГЕО, 2014. – 88 с.
- 3 СН 4.01.02–2019. Канализация. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 68 с.

### **SURFACE WASTEWATER TREATMENT OF MECHANICAL ENGINEERING ENTERPRISES**

*K. A. SLEPTSOVA*

*Belarusian State University of Transport, Gomel*

УДК 624.012.35

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*М. И. ТКАЧЕВА, А. А. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель  
ritko4ka@gmail.com, alex.vas.62@mail.ru*

**Актуальность.** В настоящее время существует проблема частичного или полного износа структурных составляющих комплекса очистных сооружений [3]. Это связано с тем, что железобетонные элементы (ЖБЭ) и конструкции (ЖБК), входящие в систему процесса очистки бытовых и промышленных стоков, подвержены быстрому разрушению. Окружающая среда вызывает интенсивное протекание коррозионных процессов, способствуя снижению несущей способности и возникновению аварий.

Согласно данным исследования [4], железобетонные резервуары очистных сооружений канализации являются одними из наиболее уязвимых, так как они подвержены ускоренному износу под действием агрессивности среды: климатическое воздействие снаружи и реагенты, ил, сточные воды – изнутри. Для предотвращения появления аварийных ситуаций, влекущих за собой повышение риска возникновения жертв, а также значительные траты на проведение ремонтных работ или замену сегментов, существует необходимость совершенствования методов прогнозирования технического состояния железобетонных элементов и конструкций очистных сооружений, а также изучения процесса развития коррозионных повреждений в условиях открытой атмосферы.

**Цель работы** – получение математической зависимости развития коррозии стальной арматуры во времени в условиях открытой атмосферы.

**Основные результаты.** В условиях открытой атмосферы карбонизация является основным видом коррозии бетона ЖБЭ и ЖБК. При совместном воздействии изменчивой агрессивной среды (условия открытой атмосферы) и карбонизации бетона развивается коррозия стальной арматуры, которая является основной причиной снижения несущей способности ЖБЭ и ЖБК, уменьшения срока их эксплуатации.

В процессе проектирования величина защитного слоя устанавливается для обеспечения защиты стальной арматуры от воздействия окружающей среды [1]. Однако если защитный слой в процессе эксплуатации ЖБЭ (ЖБК) не подвергался мероприятиям по увеличению толщины, то происходит непрерывное изменение химических свойств цементного камня, влекущее за собой уменьшение щелочности поверхности вглубь бетона.

Первоначальные изменения происходят без видимых признаков, коррозионные повреждения на поверхности стальной арматуры начинаются внутри бетона. Коррозия стальной арматуры сопровождается образованием ее продуктов, объем которых в 2–2,5 раза превышает величину прокорродированного металла. Таким образом, объем продуктов коррозии и металла, еще не подвергшегося коррозионным процессам, значительно меньше того объема, который занимает стержень стальной арматуры сразу после изготовления ЖБЭ (ЖБК). Разница этих объемов и ее увеличение способствуют развитию растягивающих напряжений в бетоне, пока они не превысят его прочность, затем происходит образование трещин в защитном слое бетона, расположенных вдоль арматурных стержней, подвергшихся коррозии.

Основываясь на влиянии карбонизации бетона на развитие коррозии стальной арматуры появилась возможность получения зависимости глубины и скорости коррозионного повреждения.

Многолетние исследования карбонизации бетона позволили предложить регрессионную зависимость скорости повреждения стальной арматуры для фиксированных значений толщины защитного слоя бетона [2]:

$$h(t) = \alpha_0 (1 - \exp(-\alpha_1 t)), \quad (1)$$

где  $h$  – глубина коррозии стальной арматуры, мм;  $t$  – срок эксплуатации, лет;  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  – коэффициенты, определяющие максимальную скорость коррозии при  $t = \infty$  и скорость развития процесса коррозии, соответственно.

Анализируя диаграммы рассеяния  $\alpha_0(s)$  и  $\alpha_1(s)$  методами регрессионного анализа, получены аппроксимирующие уравнения гипербол [2]:

$$\alpha_0(s) = b_0 + b_1 / s; \quad (2)$$

$$\alpha_1(s) = c_0 + c_1 / s, \quad (3)$$

где  $s$  – толщина защитного слоя бетона, мм;  $b_0, b_1, c_0, c_1$  – коэффициенты.

Таким образом регрессионная зависимость (1) будет иметь вид:

$$h(t) = \left( b_0 + \frac{b_1}{s} \right) \left( 1 - \exp \left( - \left( c_0 + \frac{c_1}{s} \right) t \right) \right). \quad (4)$$

Используя зависимости (1)–(4), получены значения коэффициентов  $b_0, b_1, c_0, c_1$ , основываясь на данных исследований [2] (таблица 1).

Коэффициенты (таблица 1), полученные на основе практических данных [2], дают возможность получить зависимость между ними для дальнейшего прогнозирования показателей  $b_0, b_1, c_0, c_1$  для бетонов классов по прочности на сжатие выше  $C^{12/15} - C^{40/50}$ . Путем математической обработки полученных коэффициентов от гарантированной прочности на сжатие бетона  $f_{c,cube}^G$ .

Таким образом, коэффициент  $b_0$  описывается полиномом второй степени:

$$b_0 = 0,0007283 \left( f_{c,cube}^G \right)^2 - 0,02366008 f_{c,cube}^G - 0,65573736, \quad (5)$$

где  $f_{c,cube}^G$  – гарантированная прочность на сжатие бетона.

Коэффициент  $b_1$  имеет вид экспоненциальной зависимости:

$$b_1 = 53,7008579784 \cdot \exp(-0,0354776425 f_{c,cube}^G). \quad (6)$$

Коэффициент  $c_0$  описывается полиномом второй степени, зависящий от прочности бетона:

$$c_0 = 0,00000208163 \left( f_{c,cube}^G \right)^2 - 0,0004942373 f_{c,cube}^G + 0,010872. \quad (7)$$

Коэффициент  $c_1$  имеет вид логарифмической зависимости:

$$c_1 = -0,098656692 \cdot \ln(f_{c,cube}^G) + 0,5768134416. \quad (8)$$

Таблица 1 – Коэффициенты  $b_0, b_1, c_0, c_1$

Класс бетона по прочности на сжатие	Коэффициент			
	$b_0$	$b_1$	$c_0$	$c_1$
$C^{12/15}$	-0,8467711	31,5402447	0,0039268	0,3096462
$C^{16/20}$	-0,8376190	26,4135234	0,0018199	0,2812644
$C^{18/22,5}$	-0,8193873	24,1716878	0,0008055	0,2696443
$C^{20/25}$	-0,7920519	22,1201270	-0,0001829	0,2592498
$C^{22/27,5}$	-0,7556127	20,2426914	-0,0011453	0,2498468
$C^{25/30}$	-0,7100698	18,5246023	-0,0020817	0,2412626
$C^{28/35}$	-0,5916727	15,5135136	-0,0038763	0,2260546

Окончание таблицы 1

Класс бетона по прочности на сжатие	Коэффициент			
	$b_0$	$b_1$	$c_0$	$c_1$
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	-0,5341176	14,4508929	-0,0045650	0,2205722
C <sup>32</sup> / <sub>40</sub>	-0,4368606	12,9918635	-0,0055669	0,2128808
C <sup>35</sup> / <sub>45</sub>	-0,2456335	10,8800960	-0,0071534	0,2012607
C <sup>40</sup> / <sub>50</sub>	-0,0179914	9,1115866	-0,0086358	0,1908662

Зависимости (5)–(8) дают возможность получить коэффициенты  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $c_0$ ,  $c_1$  для бетонов классов по прочности на сжатие C<sup>12</sup>/<sub>15</sub> – C<sup>40</sup>/<sub>50</sub>, затем, используя формулу (4), вычислить глубину коррозионного повреждения стальной арматуры и заданной толщины защитного слоя.

В качестве примера на рисунке 1 приведены регрессионные зависимости глубины коррозии стальной арматуры с течением времени для толщины защитного слоя  $s = 10$  мм для бетонов классов по прочности на сжатие C<sup>12</sup>/<sub>15</sub> – C<sup>40</sup>/<sub>50</sub>.

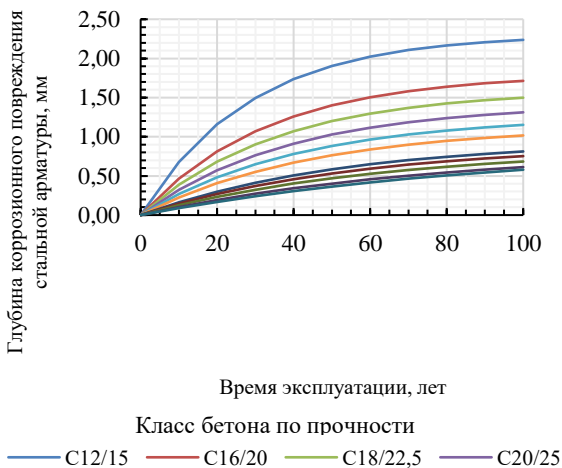


Рисунок 1 – Регрессионные зависимости глубины коррозии стальной арматуры с течением времени для толщины защитного слоя  $s = 10$  мм для бетонов классов по прочности на сжатие C<sup>12</sup>/<sub>15</sub> – C<sup>30</sup>/<sub>37</sub>

**Выводы.** Использование полученных зависимостей (4)–(8) дает возможность повысить объективность оценки и прогнозирования технического состояния ЖБЭ (ЖБК) очистных сооружений, в которых с учетом агрессивности эксплуатационных условий именно коррозия стальной арматуры определяет их долговечность.

## Список литературы

1 СП 5.03.01–2020. Бетонные и железобетонные конструкции. – Введ. 16.09.2020 (с отменой СНиП 2.03.01–84 и СНБ 5.03.01–02). – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 245 с.

2 **Васильев, А. А.** Оценка и прогнозирование технического состояния железобетонных конструкций с учетом карбонизации бетона : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 215 с.

3 Ремонтно-защитные покрытия для бетонных и железобетонных элементов очистных сооружений / М. М. Косухин [и др.] // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9-9. – С. 1942–1945.

4 Об эксплуатационной надежности железобетона в системах водоснабжения и водоотведения селитебных территорий / Т. В. Латыпова [и др.] // *Строительные материалы*. – 2016. – № 10. – С. 50–54.

## **FORECASTING OF CORROSION DAMAGE TO STEEL REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF SEWAGE TREATMENT PLANTS**

*M. I. TKACHEVA, A. A. VASILIEV*

*Belarusian State University of Transport, Gomel*