

О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ОСТАТОЧНОГО СРОКА СЛУЖБЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПРИ КОРРОЗИИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

М. И. ТКАЧЕВА

*Научный руководитель – А. А. Васильев (канд. техн. наук, доцент)
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В ходе эксплуатации различных элементов и конструкций из железобетона происходит неизбежное накопление различных дефектов и повреждений. С течением времени неизбежно встает вопрос о возможности дальнейшей безопасной эксплуатации тех или иных железобетонных элементов (ЖБЭ) и конструкций (ЖБК). Решение этого вопроса требует проведения обследования конкретного сооружения с последующим расчетом прогнозируемого остаточного срока службы с учетом прогрессирующего уже протекающих деградационных процессов в железобетоне.

Расчет прогнозируемого остаточного срока службы ЖБЭ (ЖБК) производится при условии прекращения совместной работы бетона и стальной арматуры. Предельным сроком эксплуатации можно считать момент выхода рабочей арматуры из зацепления с бетоном.

В ходе развития коррозионных процессов стальной арматуры в ЖБЭ (ЖБК) происходит уменьшение рабочего сечения стержня с увеличением объема отходов коррозионных процессов в месте соприкосновения поверхностей бетона и стали. Увеличение объема отходов коррозии происходит с уменьшением величины зацепления между стальным стержнем и бетоном. При этом важно упомянуть, что отходы коррозионных процессов занимают больший объем, чем подвергшийся разрушению участок стального стержня, это приводит к образованию дополнительного напряжения в зоне арматуры и влечет за собой разрушение защитного слоя бетона.

Расчет прогнозируемого остаточного срока службы ЖБЭ происходит по следующему алгоритму:

1 Определение момента начала развития коррозионных процессов в стальной арматуре.

Основной причиной возникновения и прогрессирующего развития коррозионных процессов в стальной арматуре является карбонизация защитного слоя бетона. Ее протекание в бетоне, расположенном в непосредственной близости от стальных стержней, снижает его защитные свойства по отношению к арматуре.

Развитие коррозионных процессов будет начинаться с прогрессирующим карбонизацией защитного слоя бетона. Так, в [1] было установлено, что

развитие поверхностных повреждений коррозией стальных стержней (рабочих и конструктивных) происходит, когда степень фактической карбонизации бетона достигает 13 % при показателе щелочности поровой жидкости бетона $pH \approx 11,8$.

2 Оценивание скорости карбонизации защитного слоя бетона обследуемого ЖБЭ. Данная величина напрямую зависит от условий эксплуатации, класса бетона по прочности на сжатие и толщины защитного слоя бетона, расположенного в непосредственной близости от стальной арматуры [1, 2].

3 Установление зависимости изменения глубины коррозионных повреждений во времени, а также скорость их развития с учетом деградации защитного слоя бетона из-за карбонизации.

4 Оценивание текущей глубины коррозионных повреждений стальных стержней в ЖБЭ. В зависимости от условий обследования оно может выполняться следующими способами:

4.1 При наличии практически оголенных арматурных стержней производится очистка арматуры от отходов коррозии, затем выполняется замер с использованием штангенциркуля. Глубина коррозионных повреждений вычисляется разностью между установленным диаметром стержня и измеренным.

4.2 При наличии трещин по защитному слою бетона вблизи стальной арматуры, требуемую величину вычисляют на основе данных о толщине защитного слоя, диаметре арматурного стержня и конструктивных особенностях элемента (количество и схема расположения стержней) [3].

4.3 При необходимости предварительной оценки глубины коррозионных повреждений можно использовать расчетные методы оценки на основе регрессионных зависимостей, приведенных в [4, 5]. Для выполнения расчетов требуются данные об условиях и времени эксплуатации, толщине защитного слоя бетона и классе бетона по прочности на сжатие. При получении критических значений искомой величины, рекомендуется провести обследования в соответствии с пунктами 4.1 или 4.2 для объективации полученных данных.

5 Установление скорости развития коррозии стальной арматуры для обследуемого элемента. Существуют различные методы оценки данного параметра, основанные на температурных коэффициентах, относительной влажности воздуха среды эксплуатации или толщине защитного слоя бетона, его классе по прочности на сжатие и сроке эксплуатации [4].

6 Вычисление величины зацепления стальной арматуры за бетон в месте их соприкосновения. Определяется путем вычитания толщины отходов коррозии стали из глубины зацепа стальной арматуры до начала развития коррозионных процессов.

7 Оценивание остаточного срока службы обследуемого ЖБЭ.

Обследуемый ЖБЭ считается пригодным к эксплуатации в течение срока, при котором совместная работа стальной арматуры и бетона считается обеспеченной, т. е. величина, полученная в пункте 6, больше нуля. Отрезок

времени от момента проведения обследования до момента времени, при котором величина зацепления стальной арматуры за бетон будет равна нулю, принимается за остаточный срок службы ЖБЭ.

На основе расчетов прогнозируемых остаточных сроков службы обследуемых элементов ЖБК производится вычисление прогнозируемого расчетного срока службы самой конструкции.

Расчет прогнозируемого остаточного срока службы эксплуатируемой ЖБК выполняют по следующему алгоритму:

1 Анализируя выполненные исследования технического состояния элементов, производят выбор расчетных моделей развития коррозионных процессов (в зависимости от уровня поврежденности коррозией или степени значимости элемента).

2 Используя полученный диапазон величин глубины коррозионных повреждений от минимального (вплоть до нуля) до критического, выполняют расчет несущей способности ЖБЭ по второй группе предельных состояний с учетом выбранной ранее модели коррозии. Для конкретных величин глубины коррозии вычисляются значения ширины раскрытия трещин и прогибов от проектной нагрузки.

3 Устанавливают зависимость регрессионного вида между расчетными деформациями и величиной глубины коррозионных повреждений вида $f = f(h)$. Затем необходимо преобразовать полученные уравнения в зависимости вида $f = f(t)$, используя выражения, приведенные в [5]. Полученные выражения позволяют прогнозировать остаточный срок службы железобетонных конструкций.

Приведенные алгоритмы оценки остаточного срока службы ЖБЭ (ЖБК) при коррозии стальной арматуры позволяют достаточно объективно оценивать техническое состояние эксплуатируемых зданий и сооружений. Ввиду того, что объем продуктов коррозии оказывает критическое влияние на возможность зацепления стержней стальной арматуры за бетон в местах их соприкосновения, можно говорить, что «разрыв» зацепа может привести к обрушению конструкции. Следовательно, момент прекращения зацепления арматуры в бетоне соответствует прекращению эксплуатации 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. – EDN PPYMDN.

2 **Васильев, А. А.** Расчетно-экспериментальная модель карбонизации бетона : монография / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 262 с.

3 **Бенин А. В.** Оценка коррозионного износа рабочей арматуры в железобетонных элементах по величине раскрытия трещины в защитном слое бетона / А. В. Бенин, Н. И. Невзоров // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2007. – № 3. – С. 48–52.

4 **Ткачева, М. И.** Анализ методов определения скорости коррозии стальной арматуры в карбонизированном бетоне / М. И. Ткачева, А. А. Васильев // Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа, Гомель, 16–17 нояб. 2023 г. – Гомель : БелГУТ, 2023. – С. 46–47. – EDN NQXCVY.

5 **Ткачева, М. И.** Прогнозирование коррозионных повреждений стальной арматуры для эксплуатационных условий повышенной агрессивности среды / М. И. Ткачева, А. А. Васильев // Архитектурно-строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : материалы VI Междунар. науч. конф., Новополоцк, 30–31 окт. 2024 г. – Новополоцк : Полоцкий государственный университет им. Евфросинии Полоцкой, 2025. – С. 159–165. – EDN RNQIYO.

УДК 692.2:72.04

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДЕКОРЕ ФАСАДОВ

В. С. ФЕДОРЕНКО, Д. Е. ЛОГИНОВА

*Научный руководитель – О. Н. Коновалова (магистр техн. наук, ст. преп.)
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Архитектурный облик здания во многом определяется фасадом, где каждая деталь играет свою роль. Декоративные элементы становятся не просто украшением, но и важнейшим средством художественного выражения. Они превращают плоскость стены в живописное полотно, придавая строению индивидуальность и неповторимость. В эпоху стремительного развития строительных технологий искусство фасадного декора занимает особое место. Современные материалы открывают перед архитекторами возможность воплощать самые дерзкие замыслы, сочетая эстетику с практичностью. При этом неизменным остаётся главный принцип – гармония красоты и долговечности. Правильно выбранный фасадный декор не только формирует художественный образ здания, но и выполняет защитную функцию: предохраняет конструкции от воздействия внешней среды, продлевает срок их службы и повышает ценность недвижимости. Таким образом, фасад становится не просто внешней оболочкой, а выразительным языком архитектуры, соединяющим утилитарное и художественное начало [1].

Декор позволяет не только изменить стиль здания и эстетическое восприятие, но и привлечь внимание к частям фасада, выделить важные детали. Традиционный классический декор представлен на рисунке 1. Декор способен визуально изменить размеры здания, сделать его более пропорциональным или, наоборот, акцентировать внимание на отдельных частях, чтобы зрительно уменьшить или увеличить его габариты.