

DOI: 10.12737/article_5c506209065dd6.02007715

¹Смоляго Г.А., ^{1,*}Фролов Н.В., ¹Дронов А.В.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*E-mail: frolov_pgs@mail.ru

АНАЛИЗ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Аннотация. Проблема обеспечения долговечности железобетонных конструкций является одной из приоритетных в строительстве. Отмечается, что ресурс силового сопротивления несущих конструкций может снижаться на всех этапах жизненного цикла до наступления отказа по предельным состояниям при эксплуатации. Распространенным видом повреждений изгибаемых железобетонных конструкций при агрессивных средовых воздействиях являются коррозионные повреждения. Изучение коррозионных повреждений эксплуатируемых железобетонных конструкций, а также причин их появления позволит сделать конкретные выводы для проектирования и строительства. В статье выполнен анализ наиболее характерных коррозионных повреждений бетона и арматуры изгибаемых железобетонных конструкций. В основу анализа положены отчетные материалы по обследованиям технического состояния такого вида конструкций. Установлено, что на практике у различных изгибаемых железобетонных конструкций чаще всего встречаются: коррозия стальной арматуры и возникающие при ее развитии трещины в бетоне, его отслоение; выщелачивание и выветривание бетона. При этом коррозионные повреждения бетона и арматуры практически всегда проявляются совместно. Не устраненные дефекты изготовления и монтажа железобетонных конструкций способствуют более интенсивному развитию коррозионных процессов. Отмечена необходимость разработки с последующим включением в нормы проектирования единых методик расчета железобетонных конструкций и определения остаточного ресурса при эксплуатации в агрессивных средах.

Ключевые слова: коррозионное повреждение, изгибаемая железобетонная конструкция, бетон, стальная арматура, агрессивная среда, дефект, эксплуатация.

Введение. В последнее время проблема снижения долговечности эксплуатируемых конструкций зданий и сооружений представляется одной из приоритетных в научных исследованиях и практике строительства. Большое количество строительных объектов остро нуждается в незапланированном ремонте, а некоторые и вовсе выходят из строя, не отработав нормативного срока службы.

Срок службы зданий и сооружений определяется продолжительностью работоспособного состояния основных несущих конструкций, физическому износу которых способствует проявление отдельных факторов или их сочетаний: ошибки, допущенные при проектировании; применение низкокачественных конструктивных материалов; дефекты, полученные в ходе изготовления, транспортировки, складирования, монтажа, бытовой и технической эксплуатации; форс-мажорные обстоятельства; повреждения вследствие различных средовых воздействий. Снижение ресурса силового сопротивления несущих строительных конструкций может происходить на всех этапах жизненного цикла до наступления отказа по предельным состояниям при эксплуатации [1].

Распространенными видами повреждений изгибаемых железобетонных конструкций выступают коррозионные повреждения цементного бетона и стальной арматуры в результате развития в них различных химических процессов деградации, вызванных длительным воздействием агрессивной окружающей среды [2–5]. Эти процессы могут протекать как совместно, так и независимо друг от друга.

Коррозия бетона зависит от его плотности, уровня и знака напряженного состояния, свойств цементного вяжущего и степени агрессивности среды [6]. Влияние агрессивной среды на бетон, рассматривается как фактор, изменяющий его деформативно-прочностные характеристики; количественной мерой коррозионного процесса является глубина нейтрализации композитного материала (глубинный показатель).

Коррозия арматуры вызывается недостаточным содержанием цемента или наличием в бетоне вредных примесей, чрезмерным раскрытием трещин, малой толщиной защитного слоя [7]. Обычно считается, что деформативно-прочностные характеристики ненапрягаемой стальной арматуры под влиянием агрессивной среды не из-

меняются, хотя такое возможно в связи с охрупчиванием и концентрацией напряжений в местах коррозионных каверн и межкристаллических трещин [8]. Количественной мерой коррозии стальной арматуры является потеря площади поперечного сечения продольных растянутых стержней (определяется через глубину коррозионного поражения). Увеличение в объеме продуктов коррозии арматурной стали создает внутреннее давление в бетоне, что при критических значениях может привести к образованию коррозионных трещин и отслоению защитного слоя, снижению сцепления арматуры с бетоном.

В связи с вышесказанным, большое значение приобретают исследования реально имеющихся случаев повреждения и разрушения конструктивных материалов из-за коррозии. Изучение коррозионных повреждений эксплуатируемых железобетонных конструкций, а также причин их появления позволит сделать конкретные выводы для проектирования и строительства.

Основная цель данной статьи: на основании экспертных отчетов по обследованиям технического состояния изгибаемых железобетонных конструкций провести анализ наиболее характерных коррозионных повреждений бетона и арматуры данного вида конструкций.

Методика. При написании работы использовались общенаучные методы исследования, основными из которых являются анализ и обобщение результатов обследований изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений.

Основная часть. Согласно экспертным отчетам, обследования технического состояния несущих железобетонных конструкций проводились на территории Белгородской обл. в период с 1989 г. по 2014 г. под общим руководством проф. Смоляго Г.А. и доц. Дронова В.И. и затрагивали 78 строительных объектов, из которых 27 гражданских и 51 промышленных зданий и сооружений, имеющих фактический срок службы соответственно 3-107 лет и 7-66 лет. Установлено, что на практике у изгибаемых железобетонных конструкций больше всего распространены следующие коррозионные повреждения: коррозия стальной арматуры и возникающие при ее развитии трещины в бетоне, его отслоение; выщелачивание и выветривание бетона. Выявленные случаи повреждений сведены в табл. 1, где учтено, что в каждой конструкции из-за коррозии возможно проявление нескольких видов повреждений. Кроме того, в одном здании или сооружении могут встречаться несколько видов изгибаемых железобетонных конструкций.

Развитию коррозионных процессов способствует наличие у изгибаемых железобетонных конструкций дефектов, полученных в ходе изготовления и монтажа [9, 15].

Дефекты изготовления главным образом связаны с недостатками готового бетона. Применение некачественных составляющих бетона, нарушение технологии приготовления бетонной смеси, ее укладки, нарушение технологии ухода за бетоном приводят к снижению заданной прочности и плотности композита. Также следует отметить, что при тепловых режимах пропарки в свежееотформованном бетоне сборных железобетонных конструкций образуется множество сквозных капилляров. В результате всего этого бетон имеет повышенную проницаемость, что облегчает перенос агрессивных реагентов в структуру бетона, тем самым нейтрализуя его защитные свойства по отношению к стальной арматуре за более короткое время. В части технологии армирования значимым дефектом при изготовлении является нарушение проектного пространственного положения арматурных стержней, каркасов и сеток, приводящее к уменьшению величины защитного слоя бетона. Материалы обследований показывают, что на максимальную глубину арматурные стержни прокорродировали в местах конструкций, где защитный слой был меньше допустимого строительными нормами. В таких случаях фиксаторы арматуры либо устанавливались в недостаточном количестве (арматура провисала между ними), либо вообще отсутствовали, арматурные стержни соприкасались с поверхностями опалубки.

Дефектами монтажа изгибаемых железобетонных конструкций являются различные сколы и разрушения бетона, трещины. Они появляются при нарушении технологии строительномонтажных работ, при не бережном обращении с конструкциями. Материалы обследований показывают, что такие дефекты впоследствии практически не устраняются, арматура зачастую оголена и контактирует с агрессивной средой.

В плитах перекрытий и покрытий устройство технологических отверстий сопровождается появлением концентраторов напряжений и трещинообразованием в бетоне. В окрестностях отверстий стальная арматура подвержена коррозии более интенсивно.

В связи со сложившейся в последние годы экономической ситуацией наметилась тенденция приостановки строительства объектов из-за отсутствия у инвесторов возможности финансирования работ. Если длительное время внешний контур зданий и сооружений не закрыт, не выполнены работы по консервации объекта, то железобетонные конструкции, как правило, подвержены широкому спектру атмосферно-климатических воздействий (осадки, циклическое замораживание-оттаивание и др.), что, в свою очередь, приводит к коррозионным повреждениям бетона и арматуры.

Таблица 1

Коррозионные повреждения эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений

Вид изгибаемых железобетонных конструкций (срок эксплуатации на момент обследования)		Количество случаев					
		Всего с данным видом конструкций	В том числе с конструкциями, имеющими коррозионные повреждения				
			Коррозия рабочей и конструктивной арматуры (max. глубина коррозии, мм)	Коррозионные трещины в бетоне (max. ширина раскрытия, мм)	Отслоение защитного слоя бетона (min. толщина, мм)	Следы выщелачивания бетона	Выветривание бетона
Сборные	Ребристые плиты перекрытия (3-41)	24	24 (0.2-3.0)	24 (1-5)	24 (0-25)	22	1
	Ребристые плиты покрытия (7-107)	20	18 (0.2-5.0)	18 (1-8)	18 (0-25)	18	1
	Многopустотные плиты перекрытия (17-107)	19	19 (0.1-1.5)	18 (2)	18 (0-20)	16	-
	Многopустотные плиты покрытия (16-26)	6	5 (0.1-1.0)	5	5 (0-15)	6	1
	Перекрытия (23-52)	9	9 (0.2-3.0)	9 (2)	8 (0-5)	6	1
	Балки покрытия (7-33)	5	5 (0.2-1.5)	5 (3-5)	5 (0-10)	4	1
	Ригели, прогоны (15-28)	5	5 (0.5-3.0)	5 (2-10)	5 (5)	5	1
	Карнизные плиты (27, 37)	2	2 (0.5)	2	2 (0-5)	2	1
	Стеновые панели (9, 21)	2	2 (0.1-0.2)	2	1	2	1
	Мелкогабаритные ребристые плиты перекрытия (49, 56)	2	2(0.3)	1	1	1	-
	Мелкогабаритные плиты покрытия (24)	1	1 (0.5)	1	1	1	1
	Балконные плиты (47)	1	1 (1.5)	1	1	1	1
	Безбалочные перекрытия (39)	1	1 (0.3)	1	1 (0-5)	1	-
	Фермы (21)	1	1 (2.0)	1 (1)	1 (0-5)	1	-
	Всего	98	95	93	91	86	10
Монолитные	Безбалочные перекрытия (22-96)	10	10 (0.2-3.0)	9 (3-5)	9 (0-15)	6	-
	Ребристые перекрытия (46-66)	4	3 (1.5-3.0)	2	2 (3-50)	2	-
	Балки перекрытия (45-70)	4	4 (0.1-3.0)	2 (3)	2 (5-10)	2	-
	Перекрытия по стальным балкам (50, 107)	2	2 (0.5-2.0)	2	2 (0-5)	2	-
	Безбалочные покрытия (27)	1	1 (3.0)	1	1 (2-10)	1	-
	Лестничные площадки (23)	1	1 (0.4)	1	1	1	-

	Балконные плиты (57)	1	1 (0.6)	1	1	1	-
	Всего	23	22	18	18	15	0
ИТОГО		121	117	111	109	101	10

Практически во всех случаях в местах обнаружения серьезных коррозионных повреждений стальной арматуры происходило длительное увлажнение железобетонных конструкций. Когда влага не подступала к поверхностям конструкций, даже при наличии дефектов бетона и малой толщины защитного слоя коррозия арматуры отсутствовала или была незначительной.

Выщелачивание является коррозией первого вида, возникающей в бетоне при действии жидких сред, способных растворять и выносить компоненты цементного камня из структуры бетона [10]. Особенно интенсивно эти процессы протекают при фильтрации мягкой воды через толщу бетона. В результате этого прочность бетона уменьшается, бетон становится более пористым, что способствует снижению сопротивления коррозии арматуры. Повреждения бетона при коррозии выщелачивании в рассматриваемых обследованиях устанавливались по наличию на поверхностях железобетонных конструкций разводов вынесенной из цементного камня извести.

Одним из основных факторов, негативно влияющих на исходные свойства бетона, является действие низких температур и особенно попеременное замораживание-оттаивание воды в капиллярах [11, 14]. Давление замерзшей воды передается на стенки пор, микротрещин, создавая в них высокие растягивающие напряжения. Под влиянием этих внутренних напряжений происходит постепенное разупрочнение бетона, превращение его в рыхлую массу и осыпание (выветривание бетона). Таким образом, создаются условия для коррозии арматуры.

Выводы. Характерными коррозионными повреждениями эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций являются: коррозия стальной арматуры и возникающие при ее развитии коррозионные трещины, разрушение и отслоение защитного слоя бетона; коррозия фильтрационного выщелачивания (коррозия первого вида) и выветривание бетона.

Коррозионные повреждения бетона и арматуры практически всегда проявляются совместно.

Определяющим факторами при развитии коррозионных процессов в конструкционных материалах являются степень агрессивности среды и длительность средового воздействия.

Не устраненные дефекты изгибаемых железобетонных конструкций способствуют разви-

тию коррозионных процессов. Необходимо повышение контроля качества изготовления и операционного контроля качества монтажа конструкций.

Своевременная экспертная оценка технического состояния железобетонных конструкций позволяет вовремя провести их ремонт и усиление и тем самым обеспечить долговечность при эксплуатации.

Учитывая все возрастающие случаи преждевременной потери несущей способности конструкций вследствие накопления коррозионных повреждений, назрела необходимость разработки с последующим включением в нормы проектирования единых методик расчета железобетонных конструкций и определения остаточного ресурса при эксплуатации в агрессивных средах [12, 13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 28–31.
2. Доркин В.В., Ягупов Б.А. Некоторые вопросы комплексной оценки силового сопротивления железобетонных конструкций при интенсивных коррозионных воздействиях // Вестник Московского государственного открытого университета. Москва. Серия: Техника и технология. 2011. № 2. С. 36–40.
3. Меркулов С.И., Пахомова Е.Г., Гордеев А.В., Маяков А.С. Исследование работоспособности изгибаемых железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений // Известия Курского государственного технического университета. 2009. № 4 (29). С. 74–78.
4. Алексеев С.Н., Иванов Ф.М., Модры Н., Шисль П.М. Долговечность железобетона в агрессивных средах. М.: Стройиздат, 1990. 320 с.
5. Селяев В.П. Расчет долговечности железобетонных конструкций // Вестник Мордовского университета. 2008. № 4. С. 140–149.
6. Ключева Н.В., Дорофеев А.А. К оценке предельной глубины повреждения нагруженного и корродирующего бетона // Строительство и реконструкция. 2011. № 2 (34). С. 25–29.

7. Берлинов М.В. Оценка напряженного состояния поврежденных коррозией железобетонных конструкций перед усилением // Научное обозрение. 2016. № 7. С. 11–14.

8. Смоляго Г.А., Дронов А.В. Исследование и анализ процессов коррозии стальной арматуры железобетонных конструкций под действием агрессивной среды // Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону: в 7 томах. 2014. С. 415–420.

9. Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И. Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.

10. Анваров Б.Р., Латыпова Т.В., Латыпов В.М., Крамар Л.Я. К вопросу о механизме повреждения железобетона при коррозии выщелачивания // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 2 (674). С. 12–26.

11. Овчинникова Т.С., Маринин А.Н., Овчинников И.Г. Коррозия и антикоррозионная защита железобетонных мостовых конструкций // Интернет-журнал Науковедение. 2014. № 5 (24). С. 11.

12. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–102.

13. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений. Монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 424 с.

14. Folic R., Zenunovic D. Durability design of concrete structures - Part 2: modeling and structural assessment // Architecture and Civil Engineering. 2010. Vol. 8. No. 1. pp. 45–66.

15. Stewart M.G. Reliability Safety Assessment of Corroding Reinforced Concrete Structures Based on Visual Inspection Information // ACI Structural Journal. 2010. No. 107. Pp. 671–679.

Информация об авторах

Смоляго Геннадий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: trk-psv@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Фролов Николай Викторович, аспирант кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: frolov_pgs@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дронов Андрей Васильевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теоретической механики и сопротивления материалов. E-mail: dronov.andrey.1989@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в декабре 2018 г.

© Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В., 2019

¹Smolyago G.A., ^{1,*}Frolov N.V., ¹Dronov A.V.

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46

*E-mail: frolov_pgs@mail.ru

ANALYSIS OF CORROSION DAMAGES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN OPERATION

Abstract. The priority issue in construction is durability of reinforced concrete structures. Loadbearing capacity of structures can be decreased on each stage of their service life until ultimate limit state. Corrosion damages are widespread ones of bending reinforced concrete structures under aggressive environment. The study of the reasons of corrosion damages of reinforced concrete structures in operation allows to draw conclusion for the design and construction. The analysis of the most typical corrosion damages of concrete and steel is carried out in the article. It is based on the results of the technical condition assessments of such structures. It is found, that different bending reinforced concrete structures are suffered mostly from corrosion of steel reinforcement and following cracks in concrete, leaching and erosion of concrete. Corrosion damages of concrete and reinforcement always appear jointly. The defects of construction of the reinforced concrete structures accelerate corrosion processes. The necessity of methods for calculation such structures to determine remaining service life under aggressive environment is mentioned in the article.

Keywords: *corrosion damage, bending reinforced concrete structure, concrete, steel reinforcement, aggressive environment, defect, exploitation.*

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. The Concept and Directions of Development of the Theory of Structural Safety of Buildings and Structures under the Influence of Force and Environmental Factors. *Industrial and Civil Engineering*, 2013, no 2, pp. 28–31.
2. Dorkin V.V., Yagupov B.A. Some questions of a comprehensive assessment of the power of resistance of reinforced concrete structures under intense corrosive effects. *Bulletin of MGOU*, 2011, no. 2. pp. 36–40.
3. Merkulov S.I., Pahomova E.G., Gordeev A.V., Mayakov A.S. Research of working capacity of designs bent iron-concrete taking into account corrosion damages. *Bulletin of SWSU*, 2009, no 4 (29), pp. 74–78.
4. Alekseev S.N., Ivanov F.M., Modry N., SHissl' P.M. Durability of Reinforced Concrete in aggressive environment. M.: Strojizdat. 1990, 320 p.
5. Selyaev V.P. The Calculation of Durability of Reinforced Concrete Structures. *Bulletin of MRSU*, 2008, no 4, pp. 140–149.
6. Klyueva N.V., Dorofeev A.A. To the estimation of limiting damaging depth in loaded and corrosive concrete. *Building and Reconstruction*, 2011, no 2 (34), pp. 25–29.
7. Berlinov M.V. Evaluation of the stress state of corrosion-damaged reinforced concrete structures before strengthening. *Science Review*, 2016, no 7, pp. 11–14.
8. Smolyago G.A., Dronov A.V. Research and analysis of steel reinforcement corrosion processes in reinforced concrete structures in aggressive environment. *Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future*, Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), 2014, pp. 415–420.
9. Smolyago G.A., Dronov V.I., Dronov A.V., Merkulov S.I. Investigation of influence of defects of reinforced concrete structures on corrosion processes of steel reinforcement. *Industrial and Civil Engineering*, 2014, no 12. pp. 25–27.
10. Anvarov B.R., Latypova T.V., Latypov V.M., Kramar L.Y. To the question about the mechanism of damage of reinforced concrete with corrosion of the first kind. *Bulletin of Universities. Construction*, 2015, no. 2 (674), pp. 12–26.
11. Ovchinnikova T.S., Marinin A.N., Ovchinnikov I.G. Corrosion and corrosion protection of reinforced concrete bridge structures. *Naukovedenie*, 2014, no 5 (24), p. 11.
12. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskij V.N., Erofeev V.T. The Modern Methods for Ensuring of the Reinforced Concrete Structures Durability. *Academia. Architecture and Construction*. 2015, no. 1, pp. 93–102.
13. Puhonto L.M. Durability of Reinforced Concrete Structures. M.: ASV, 2004, 424 p.
14. Folic R., Zenunovic D. Durability design of concrete structures - Part 2: modeling and structural assessment. *Architecture and Civil Engineering*, 2010, vol. 8, no. 1, pp. 45–66.
15. Stewart M.G. Reliability Safety Assessment of Corroding Reinforced Concrete Structures Based on Visual Inspection Information. *ACI Structural Journal*, 2010, no. 107, pp. 671–679.

Information about the authors

Smolyago, Gennady A. DSc, Professor. E-mail: tpk-psv@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Frolov, Nikolay V. Postgraduate student. E-mail: frolov_pgs@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Dronov, Andrey V. PhD, Senior lecturer. E-mail: dronov.andrey.1989@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in December 2018

Для цитирования:

Смоляго Г.А., Фролов Н.В., Дронов А.В. Анализ коррозионных повреждений эксплуатируемых изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 52–57. DOI: 10.12737/article_5c506209065dd6.02007715

For citation:

Smolyago G.A., Frolov N.V., Dronov A.V. Analysis of corrosion damages of reinforced concrete structures in operation. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 1, pp. 52–57. DOI: 10.12737/article_5c506209065dd6.02007715