

Влияние коррозии и методы защиты бетонных и железобетонных конструкций

А.А. Хорошев, Е.С. Есина, С.Е. Нархова, В.В. Кононенко

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Аннотация: В данной статье мы рассмотрели проницаемость бетона и влияние коррозионных процессов на долговечность и надежность железобетонных конструкций. Внимание уделяется не только причинам и механизмам коррозии, но и предоставляются современные методы и стратегии защиты от неё бетонных и железобетонных конструкций, направленные на продление их срока службы и обеспечение безопасности эксплуатации. Данные знания позволят инженерам и строителям более эффективно планировать и реализовывать проекты, снижая риски и экономические потери, связанные с коррозионными процессами.

Ключевые слова: коррозия бетона, коррозия стальной арматуры, проницаемость, железобетон, долговечность, прочность, надёжность.

На сегодняшний день возведение домов в основном происходит из бетона. Это могут быть дома в монолитном исполнении или сборном, но в любом случае применяется железобетон. Железобетонные конструкции на протяжении нескольких десятилетий оправдали себя своей долговечностью, прочностью и надёжностью по отношению к агрессивным средам. В современном строительстве существует много добавок, которые способствуют увеличению качества бетона. Каждая добавка влияет на проницаемость бетона, а также на его срок службы.

Исходя из многолетних опытов уже всем стало известно, что железобетонные сооружения постоянно набирают прочность, чем больше им лет, тем больше прочность бетонной конструкции. Давайте рассмотрим, что же такое проницаемость бетона.

Проницаемость бетона – это его способность пропускать через себя жидкости, растворы солей и газы под действием различных факторов, такие как давление или диффузия. Эта способность напрямую влияет на долговечность железобетонных конструкций, поскольку проникающие вещества могут вызывать коррозию арматуры, морозостойкость, снижение прочности бетона и появление различных дефектов. Высокая проницаемость,

как правило, свидетельствует о низком качестве бетона, связанном с недостаточным уплотнением бетонной смеси, в следствие открывает путь для проникновения агрессивных веществ, воды и воздуха, которые взаимодействуя с бетоном и арматурой, запускают разрушительные процессы.

В соответствии с СП 28.13330 бетоны по показателям проницаемости разделены на бетоны нормальной, пониженной и особо низкой проницаемости. В зависимости от степени агрессивности среды проницаемость бетона характеризуют прямыми показателями (маркой бетона по водонепроницаемости, коэффициентом фильтрации, диффузионной проницаемостью газа) и косвенными показателями (водопоглощением бетона и водоцементным отношением), которые должны использовать при подборе состава бетона (таблица 1).

Таблица № 1

Ориентировочные показатели проницаемости бетона

Условные обозначения показателя проницаемости и бетона	Показатели проницаемости бетона			
	Прямые		Косвенные	
	Марка бетона по водонепроницаемости	Коэффициент фильтрации, K_f , см/с (при равновесной влажности)	Водопоглощение, % по массе	Водоцементное отношение, В/Ц, не более
Н - бетон нормальной проницаемости	W4	св. $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$	св. 4,7 до 5,7	0,6
П - бетон пониженной проницаемости	W6	св. $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$	св. 4,2 до 4,7	0,55
О - бетон особо низкой проницаемости	W8	св. $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$	до 4,2	0,45

Бетонные и железобетонные конструкции в процессе эксплуатации подвергаются комплексному и многофакторному воздействию агрессивных сред [1], что существенно влияет на их долговечность, несущую способность и эксплуатационные характеристики. Агрессивность внешних воздействий определяется совокупностью химических, физических и механических факторов, которые способны инициировать деструктивные процессы в материале конструкций.

Твердые среды оказывают значительное механическое воздействие на бетонные поверхности через процессы истирания, абразивного. Особую опасность представляют абразивные частицы, острые кромки и высокие механические нагрузки, которые провоцируют постепенную деградацию структуры бетона. Минеральные включения, пылевые частицы и мелкодисперсные материалы способны проникать в микротрещины, расширяя их и усиливая разрушительные процессы.

Агрессивность газообразных сред характеризуется интенсивными химическими реакциями взаимодействия атмосферных компонентов с цементным камнем. Углекислый газ, сернистый ангидрид, хлор и другие химически активные газы вступают в химические реакции с материалом, вызывая его постепенную коррозию. Наиболее опасными являются кислотные и щелочные газы, которые приводят к глубокому разрушению поверхностного слоя и необратимым изменениям внутренней структуры бетона [2].

Климатические факторы, включая температуру, влажность и уровень осадков, оказывают заметное влияние на качество и долговечность бетонных конструкций. Важно подчеркнуть, что коррозия бетона, вызванная этими условиями, не получает должного внимания в нормативных документах, таких как СНиП 2.03.01—84. Хотя рекомендации по выбору марки бетона с учетом морозостойкости действительно имеют значение, этого недостаточно

для полной оценки. Существует множество дополнительных климатических факторов, таких как агрессивность атмосферы, количество циклов замораживания и оттаивания, а также влияние ультрафиолетового излучения, которые также могут негативно сказаться на долговечности бетонных конструкций. Климатические условия могут способствовать образованию трещин в бетоне, что, в свою очередь, создает условия для проникновения влаги и растворенных солей. Это может инициировать коррозионные процессы как в самом бетоне, так и в арматуре, что значительно ухудшает прочность и устойчивость конструкций. Особенно заметны такие процессы в регионах с континентальным климатом, характеризующимся резкими колебаниями температуры в течение года, что ведет к увеличению числа циклов замораживания и оттаивания.

Коррозия, её виды и методы защиты

Под коррозией принято понимать физико-химический процесс разрушения и утраты элемента своих свойств в результате воздействия окружающей среды.

Коррозионные повреждения бетона и железобетона могут быть классифицированы на три основных вида, каждый из которых характеризуется специфическими механизмами разрушения и последствиями для конструкций.

Коррозия I типа, вызванная физико-химическими процессами: данный вид коррозии возникает под воздействием химических веществ и физических условий. Например, может происходить карбонизация — процесс, в ходе которого углекислый газ из атмосферы проникает в бетон и вступает в реакцию с гидроксидом кальция. Это приводит к снижению уровня pH и тем самым уменьшает защиту арматуры от коррозии. Для защиты необходимо применение высококачественного цемента, уменьшение водоцементного

отношения, добавление водоотталкивающих добавок и увеличение толщины защитного слоя бетона вокруг арматуры.

Также возможна сульфатная коррозия, вызванная взаимодействием с сульфатами из грунта или воды, что ведет к образованию сульфатных солей и, как следствие, к расширению и появлению трещин. Защита включает использование сульфатостойких цементов, добавление минеральных добавок (например, пуццоланы), применение гидроизоляции

Возможно ещё длительное воздействие воды может инициировать выщелачивание, в результате чего происходит вымывание цементного вяжущего, что снижает прочность и долговечность конструкции.

Коррозия II типа, вызванная физическими процессами: физическая коррозия обусловлена механическими воздействиями и структурными изменениями в бетоне. Например, циклы замораживания и оттаивания могут вызывать значительные колебания температуры, в результате которых образуется лед в порах бетона. Это ведет к расширению материала и образованию трещин. Защита включает использование морозостойких цементов, уменьшение водоцементного отношения, добавление противоморозных добавок или термостойких и применение гидроизоляции.

Коррозия III типа, вызванная биологическими факторами: данный тип коррозии включает разрушение строительных материалов, таких как бетон и железобетон, под воздействием живых организмов, включая микроорганизмы, грибы и водоросли. Биологическая коррозия начинается, когда микроорганизмы проникают в поры материала, что может привести к его разрушению. Например, некоторые грибы могут метаболизировать компоненты бетона, способствуя его деградации. Определенные виды водорослей способны образовывать биопленки, задерживающие влагу и создающие идеальные условия для размножения бактерий и гниения. Все эти

процессы приводят к углублению трещин, снижению прочности и, следовательно, сокращению срока службы конструкций.

Защита в данном случае понимает под собой предотвращение повреждений конструкции растениями (прорастанием), появления бактерий и грибов на поверхности, что ведёт к дальнейшей коррозии элемента. Для защиты важно применять гидроизоляцию или добавки, которые включают в себя полимеры, создающие защитный барьер от проявления коррозионных явлений внешней среды [3]. Однако, в качестве альтернативы возможно использование биоцидных добавок в сам бетон при его замешивании. Также, хотелось бы отметить важность поверхностной очистки и специализированной антисептики для поверхности бетонных конструкций - данные методы защиты могут позволить заранее предотвратить процессы разрушения, что увеличит долговечность конструкции.

Классификация коррозионных повреждений бетона и железобетона, предложенная В.М. Москвиным [4], позволяет глубже понять механизмы разрушения и разработать эффективные методы защиты конструкций. Эффективная защита железобетонных конструкций требует комплексного подхода, учитывающего все три типа коррозии и специфические условия эксплуатации сооружения. Выбор методов защиты должен основываться на анализе факторов, вызывающих коррозию, и оценке их воздействия на бетон и арматуру.

Коррозия стальной арматуры

Одной из основных и наиболее распространённых причин снижения долговечности железобетонных конструкций и изделий является коррозия арматуры [5]. Этот процесс представляет собой разрушение металлических элементов, находящихся внутри железобетонных конструкций и происходит вследствие электрохимических реакций, что значительно влияет на физические свойства железобетонных конструкций и изделий.

Коррозия металлов, как правило, происходит по электрохимическому механизму, который требует выполнения определенных условий [6]. Вот основные из них:

- Разность потенциалов на поверхности металла, которая создает электрическое поле;
- Электролитическая связь между участками поверхности с различными потенциалами, что позволяет образовывать замкнутую цепь;
- Активное состояние поверхности на анодных участках, где металл подвержен растворению в результате реакции: $n\text{H}_2\text{O} + \text{Me} \rightarrow \text{Me} + n\text{H}_2\text{O} \cdot \bar{e}$;
- Наличие достаточного количества деполяризатора, такого как кислород, который необходим для утилизации избыточных электронов на катодных участках поверхности металла: $4e + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4(\text{OH})^-$.

Разрушение железобетонных элементов, вызванное коррозией стальной арматуры, проходит несколько характерных стадий. На рис.1 показан процесс действия коррозии. Данный процесс начинается незаметно: на поверхности бетона появляются белые пятна – следствие реакции атмосферного углекислого газа с гидроксидом кальция цементного камня, образующего карбонат кальция и осаждающегося на поверхности в виде белого налета.

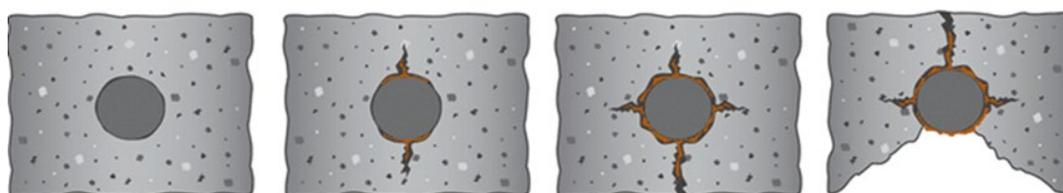


Рис. 1. – Процесс действия коррозии

Затем, по мере развития коррозии стальных стержней, вдоль арматуры проявляются коричневые пятна – это оксид железа, продукты коррозии, проникающие на поверхность бетона вместе с влагой. Нарастание объема продуктов коррозии приводит к возникновению трещин в бетоне: они

сначала тонкие, но по мере прогрессирования коррозии становятся все шире и глубже, свидетельствуя о нарастающем внутреннем давлении.

Следующая фаза – отслаивание бетонного покрытия. Потеря сцепления между бетоном и сталью приводит к образованию множества чешуек и отслоений, обнажая корродирующую арматуру, диаметр которой постепенно уменьшается. В конечном итоге, истонченные коррозией стальные стержни разрушаются, теряя несущую способность.

Завершающая стадия – выпучивание арматуры. Разрушение бетона и обломки корродирующих стержней выталкивают остатки покрытия наружу, деформируя бетонную конструкцию и приводя к её полному разрушению.

Коррозия арматуры – серьезная проблема, приводящая к разрушению железобетонных конструкций. Однако, принимая меры предосторожности на стадии проектирования и строительства, можно значительно отсрочить или предотвратить этот процесс [7]. Например, у арматуры должно быть обеспечено достаточное бетонное покрытие. Это не только механически защищает её, но и сохраняет щелочную среду внутри бетона, необходимую для пассивности стали. Правильная установка арматуры – важный фактор.

Также стоит обращать внимание на то, какой бетон используется. Использование бетона высокого качества необходимо для поддержания оптимальной щелочной среды. Важно контролировать соотношение воды и цемента (не более 0,4), так как избыток влаги может отрицательно сказаться на свойствах стали.

Стоит надлежаще уплотнять бетон. Компактный бетон без воздушных включений – ключевой момент для предотвращения проникновения агрессивных веществ и минимизации коррозионных рисков.

Современные технологии защиты:

Наплавляемые эпоксидные покрытия: это эффективное решение для защиты арматуры [8]. Специальный эпоксидный порошок, наносимый

электростатическим методом, при нагревании плавится и образует прочную, защитную оболочку вокруг стальных стержней. Такая технология подходит для арматуры и других металлических элементов, в том числе трубопроводов.

Полимеры на основе цемента: внедрение полимеров в бетонную смесь улучшает его защитные свойства, повышает долговечность и прочность.

Анализ проницаемости хлоридов: этот метод, оценивающий проницаемость бетона для хлоридов, позволяет своевременно выявить возможные риски коррозии и принять корректирующие меры на ранних этапах. Измерение электрического тока прохождения через образец бетона за определённый период позволяет получить количественную оценку проницаемости.

Ингибиторы коррозии: ввод ингибиторов (например, на основе нитрита кальция) в бетонную смесь или последующее их нанесение на поверхность бетона – еще один действенный способ защиты арматуры [9]. Эти вещества поступают в бетон, достигая арматуры и защищая ее от коррозионного воздействия.

В заключение, рассмотренное нами влияние коррозии на бетонные и железобетонные конструкции подчеркивает необходимость комплексного подхода к оценке долговечности этих материалов. Коррозия, как один из основных факторов [10], способствующих ухудшению эксплуатационных характеристик, требует тщательного анализа механизмов ее возникновения и развития. Не стоит забывать, проницаемость бетона является критически важным параметром, определяющим его устойчивость к агрессивным воздействиям внешней среды, а также к коррозионным процессам, затрагивающим как сам бетон, так и стальную арматуру. Без должного внимания к этим аспектам можно столкнуться с внезапными серьезными

разрушениями, что повлечёт за собой значительными финансовыми затратами на восстановление и модернизацию объектов.

Литература

1. Бубенщикова Е. С., Чейметова А. С. Влияние различных агрессивных факторов на состояние арматуры железобетонных изделий // Молодой ученый. 2020. № 17 (307). С. 36-38.
2. Новоженин В.П., Карлина И.Н. К вопросу выбора защиты строительных конструкций на предприятиях с агрессивными средами // Инженерный вестник Дона 2012, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1248.
3. Зайцев А.А., Максимовских А.В., Калошина С.В. Вторичная защита бетона от коррозии // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. №1. С.266-272.
4. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты // Под общ. ред. Москвина В. М. Стройиздат, 1980. С. 536.
5. Чепкасова О. А., Селезнева А. А., Садилов А. И., Хмелев С. В. Коррозия металлов // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 260-261.
6. Mainier, F. V., Almeida, P. C. F., Nani, B., Fernandes, L. H. & Reis, M. F. Corrosion caused by sulfur dioxide in reinforced concrete. Open J. Civ. Eng. 05(04), 2015. pp. 379–389.
7. Niu, J. G., Wu, B., Zhu, C. & Yang, P. F. Corrosion rules for ordinary concrete exposed to sulfur dioxide-containing environments. Toxicol. Environ. Chem. 97(3–4), 2015. pp. 367–378.

8. Румянцева В.Е., Коновалова В.С., Виталова Н.М. Ингибирование коррозии железобетонных конструкций // Строительство и реконструкция. 2014. №4. С.65-71.

9. Бикбирдин А.Г., Галиуллина К.Р., Шарафутдинова Я.М. Развитие научных представлений по теории коррозии бетона и железобетона в трудах профессора Полака (к 105-летию со дня рождения) // Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». 2016. № 6. С. 62 - 65.

10. Карлина И.Н., Новоженин В.П. Технологические процессы и их влияние на долговечность строительных конструкций // Инженерный вестник Дона 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2060.

References

1. Bubenshnikova E. S., Chejmetova A. S. Molodoj ucheny`j. 2020. № 17 (307). pp. 36-38.

2. Novozhenin V.P., Karlina I.N. Inzhenernyj vestnik Dona 2012, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1248.

3. Zajcev A.A., Maksimovskix A.V., Kaloshina S.V. Sovremenny`e tehnologii v stroitel`stve. Teoriya i praktika. 2016. №1. pp.266-272.

4. Moskvina V. M., Ivanov F. M., Alekseev S. N., Guzeev E. A. Korroziya betona i zhelezobetona, metody` ix zashhity` [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Pod obshh. red. Moskvina V. M. Strojizdat, 1980. p. 536.

5. Chepkasova O. A., Selezneva A. A., Sadilov A. I., Xmelev S. V. Molodoj uchenyuj. 2015. № 23 (103). pp. 260-261.

6. Mainier, F. B., Almeida, P. C. F., Nani, B., Fernandes, L. H. & Reis, M. F. Corrosion caused by sulfur dioxide in reinforced concrete. Open J. Civ. Eng. 05(04), 2015. pp. 379–389.



7. Niu, J. G., Wu, B., Zhu, C. & Yang, P. F. Corrosion rules for ordinary concrete exposed to sulfur dioxide-containing environments. Toxicol. Environ. Chem. 97(3–4), 2015. pp. 367–378.

8. Rumyancheva V.E., Konovalova V.S., Vitalova N.M. Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2014. №4. pp.65-71.

9. Bikbirdin A.G., Galiullina K.R., Sharafutdinova Ya.M. E`lektronny`j nauchno-prakticheskij zhurnal «Sovremenny`e nauchny`e issledovaniya i innovacii». 2016. № 6. pp. 62 - 65.

10. Karlina I.N., Novozhenin V.P. Inzhenernyj vestnik Dona 2013, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2060.

Дата поступления: 6.01.2025

Дата публикации: 25.02.2025