

ВЛИЯНИЕ КОРРОЗИИ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРЕССИВНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СРЕД НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Дамиров Масил Махир оглу- докторант, кафедра Строительные конструкции, АзАСУ,
Jam-xxx@mail.ru

Аннотация. Применение железобетона в строительстве пользуется огромным спросом в современном мире. Несмотря на высокий темп технологического развития, железобетон все еще нуждается в более обширном исследовании различных его областей. Одним из наиболее актуальных проблем железобетонных конструкций - это повышение качества и длительности срока службы с учетом влияния агрессивной среды. Учитывая тесную взаимосвязь внутренних и внешних факторов в этих процессах, можно утверждать, что коррозия железобетона занимает значимое место при проектировании, расчете, строительстве и эксплуатации железобетонных зданий и сооружений различного назначения. В статье представлен обзорный анализ взаимосвязи коррозии с долговечностью железобетонных конструкций, в том числе влияние некоторых внутренних факторов в бетоне на сохранность стальной арматуры в железобетоне.

Ключевые слова: железобетон, конструкция, агрессивная среда, коррозия, надежность

INFLUENCE OF CORROSION FROM THE IMPACT OF AGGRESSIVE OPERATIONAL ENVIRONMENTS ON THE DURABILITY OF REINFORCED CONCRETE

Damirov Masil Makhir– PhD student, department of Building constructions, AzUAC, Jam-xxx@mail.ru

Abstract. The use of reinforced concrete in construction is in great demand in the modern world. Despite the high pace of technological development, reinforced concrete still needs more extensive research in its various areas. One of the most urgent problems of reinforced concrete structures is to improve the quality and duration of service life, taking into account the influence of an aggressive environment. Given the close interrelation of internal and external factors in these processes, it can be argued that the corrosion of reinforced concrete occupies a significant place in the design, calculation, construction and operation of reinforced concrete buildings and structures for various purposes. The article presents an overview analysis of the relationship between corrosion and the durability of reinforced concrete structures, including the influence of some internal factors in concrete on the safety of steel reinforcement in reinforced concrete.

Keywords: reinforced concrete, construction, aggressive environment, corrosion, reliability

Введение. Надежность железобетонных конструкций занимает значимое место в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Надежная эксплуатация железобетонных конструкций должна обеспечиваться еще на стадии проектирования, установленным периодом, в течении которого строительный объект эксплуатируется с сохранением своего функционального назначения. Несмотря на всю серьезность этого вопроса, в некоторых случаях происходит сокращение периода службы железобетонных конструкций из-за коррозионных повреждений бетона или арматуры. Причиной этому – влияние агрессивной среды. Наиболее активным, вызывающая повреждения бетона и железобетона, считается воздействие внешней агрессивной среды, содержащая кислоты, в виде водных растворов или кислые газы, образующие кислоты при растворении в воде. Этому способствует щелочность цементного камня. Деструкция бетона и железобетона, происходит также, от щелочей, растворов солей и некоторых органических соединений. Следовательно, механизм коррозионного действия многогранен.

На степень агрессивного воздействия влияет [7] не только химический состав агрессивной среды, влажность газо-воздушной среды, но и скорость напора и движения жидких сред, температура среды, напряженное состояние материалов конструкций и т.д.

В некоторых случаях степень агрессивности, при действии на бетоны с разными плотностями, имеет относительный характер. Среда может быть агрессивна по отношению к бетону на портландцементе и неагрессивной - к бетону такого же состава на шлакопортландцементе или же, к глинозёмистому бетону. Таким образом, степень агрессивности подразделяет среды на неагрессивные, слабо-, средне- и сильноагрессивные.

Обзор литературы. Можно отметить труды В.М. Бондаренко, В.М. Борисенко, А.В. Боровских, Р.Б. Гарибова, Е.А. Гузеева, Н.С. Дядькина, С.В. Маркова, С.И.Мутина, И.Г. Овчинникова, Е.Г. Пахомовой, А.И. Попеско, Л.М. Пухонто, В.И. Римшина, Н.В. Савицкого, А.А. Серкулова, Г.А. Смоляго С.Н. Степанова, А.А. Тытюка и др. [3], посвященные проблеме расчета железобетонных конструкций с различными коррозионными повреждениями. Коррозия железобетона - это последствие отрицательного влияния агрессивной среды, которая включает в себя жидкую и газообразную фазы воздействия на железобетон, снижающие физико-механические свойства бетона и арматуры, причиной которых могут стать серьезные повреждения некоторых железобетонных элементов, повреждения которых со временем снизит срок службы всей конструкции.

Многолетний опыт исследования и эксплуатации железобетонных зданий и сооружений показывает, что стойкость бетона к агрессивной среде играет очень важную роль, так как бетон является одним из наиболее популярным материалом на сегодняшний день. Процессы коррозии бетона исследовались В.М. Москвиным, С.Н. Алексеевым, В.И. Бабушкиным, В.Г. Батраковым, Ф.М. Ивановым, В.В.Киндом, В.М. Латыповым, Г.В. Любарской, А.И.Минасом, Н.А. Мощанским, А.Ф.Полаком, В.Б. Ратиновым, Т.В. Рубецкой, В.Ф.Степановой, Г.В.Чехний, В.В. Яковлевым и другими, в том числе зарубежными учёными [10].

Принимая во внимание неоднородность бетона, как композитного материала, состоящего из воды, вяжущего, крупных и мелких заполнителей, под влиянием агрессивной среды происходит процесс деструкции этого материала в виде охрупчивания. Коррозия бетона приводит к отрицательным изменениям его положительных свойств, сокращая срок нормальной эксплуатации.

Стальная арматура в железобетонном элементе хоть и обеспечивает сопротивление растягивающим усилиям, она непосредственно нуждается в защите от воздействия окружающей среды. Помимо этого, следует отметить, что на износ стальной арматуры влияет не только внешняя среда, а также внутренняя среда.

Широкому кругу вопросов поведения армированных конструкций с учетом влияния различных агрессивных сред посвящены работы С.Н. Алексеева, В.М. Бондаренко, Е.А. Гузеева, Ф.М. Иванова, Н.И. Карпенко, В.М. Москвина, А.Ф. Полака, А.И. Попеско, В.Б. Ратинова, Н.В. Савицкого, N.S. Вегке, P.D. Cady, K.C. Clear, J . Jambor, CM. Hanson, S. Modry, S. Morinaga и других авторов[8].

Постановка задачи и методы решения. Востребованность решения проблем долговечности железобетонных конструкций растет с каждым годом. Огромные масштабы использования бетона и железобетона, а также ограничения сроков службы в различных средах обусловили нарастающие объемы работ по ремонту и восстановлению железобетонных конструкций. Исходя из этого, возникло требование гарантированного обеспечения сроков службы железобетона при проектировании и возведении зданий и сооружений. Задача прогноза и расчета железобетонных конструкций на заданный срок службы может быть решена только на основании исследований сложных процессов, протекающих между материалом конструкций и окружающей средой.

Придание необходимой долговечности конструкциям зданий и сооружений – не менее важная задача чем придание им прочности. Последствия неправильной или недостаточной оценки воздействий внешней среды могут выявиться во время эксплуатации зданий и

сооружений с пагубными последствиями.

Накопленный опыт по срокам службы железобетона пока что недостаточен и исследования действия агрессивных сред на элементы конструкций, подвергающихся одновременно, проводятся на основе кратковременных опытов, в то время как более надежный результат можно получить при длительных испытаниях.

Проектирование железобетонных конструкций, предназначенных для работы в агрессивных средах – это задача специального исследования.

Появление железобетона создал бум в строительной инженерии, подавая надежды на вечное использование этого материала. Но спустя несколько десятилетий эксплуатации железобетонных зданий и сооружений выяснилось, что взаимодействие железобетона с окружающей средой носит достаточно сложный характер. Первоначально это было обнаружено на морских сооружениях. Выявилась необходимость исследования процессов взаимодействия бетона и железобетона с окружающей средой как в природных условиях, так и в промышленных средах. На основании этих исследований в настоящее время созданы нормативы для проектирования, изготовления и применения железобетонных конструкций повышенной долговечности для различных и специальных условий эксплуатации.

Рассмотрение проблем повышения долговечности должно осуществляться в двух аспектах: изучение характеристик окружающей среды и выявление ведущих факторов воздействий среды на бетон и арматуру, особенно на железобетонные конструкции в целом; изучение механизма и кинетики коррозионных процессов и разработка на этой основе способов повышения стойкости бетона и железобетона в агрессивных средах. На основе этого можно сказать, что коррозия занимает значимое место в обеспечении долговечности железобетонных конструкций.

В мире, около 75% строительных конструкций эксплуатируются под разрушающим воздействием агрессивных сред, и увеличение срока эксплуатации всего лишь на 1 год, может обеспечить экономию финансовых затрат в пределах 110 млн. ман. ежегодно [4].

Решению проблемы и разработке теории надежности железобетонных конструкций, оценке их эксплуатационных параметров, методике проектирования усиления железобетонных конструкций посвящены работы Д.О. Астафьева, В.И. Бабушкина, В.В. Болотина, В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко, А.В. Боровских, А.И. Васильева, Г.А. Гениева, Е.А. Гузеева, Б.В. Гусева, В.А. Игнатьева, А.В. Забегаева, В.А. Клевцова, В.И. Колчунова, Д.Н. Лазовского, В.И. Майорова, СИ. Меркулова, А.П. Мельчакова, И.Г. Овчинникова, В.В. Петрова, А.И. Попеско, Н.Н. Попова, А.Р. Ржаницына, В.И. Римшина, Р.С. Санжаровского, Н.В. Савицкого, В.С. Федорова, С.Ф. Чернышева, В.П. Чиркова, А.Л. Шагина и др. [9].

Процессы комбинированных воздействий нагрузок и эксплуатационных агрессивных сред с последующим влиянием их результатов, стали основой для моделирования разработок деформирования и прогнозирования долговечности железобетонных элементов конструкций исследователями нескольких научных центров постсоветского пространства: в Москве под руководством В.М. Бондаренко, Ю.М. Баженова, А.И. Васильева, В.И. Римшина, Б.В. Гусева, В.Ф. Степановой, в Санкт-Петербурге под руководством Р.Б. Санжаровского, П.Г. Комохова, в Саратове под руководством И.Г. Овчинникова, В.В. Петрова, В.К. Иноземцева, в Волгограде под руководством В.А. Игнатьева, в Саранске под руководством В.П. Селяева, В.Д. Черкасова, В.Т. Ерофеева, в Пензе под руководством Т.И. Барановой, Е.В. Королева, Ю.П. Скачкова, в Казани под руководством Р.З. Рахимова и в других городах [5], Лантух-Лященко А.И., Королевым В.П., Почтманом Ю.М., Зеленцовым Д.Г., Савицким Н.В., Буселом АА., Леонович С.Н., П. О. Пшінько, В. В. Марочка, В. В. Ковальчук, I. В. Калашніков, А. В. Гуменюк [15].

Зарубежные исследования в этой области были проведены специалистами: MullekR.F., Wright James, Frohnsdorf G, Enright M.P., Frangopol D.M., Biondini, F., Bontempi, F., Frangopol, D. M., Malerba, P. G., Jung S. Kong, Ayman N., Dan M. Frangopol, Yunping Xi, Maarten-Jan Kallen, Jan M. van Noortwijk, Fabio Biondini, Franco Bontempi, Pier Giorgio Malerba, Andrade, C.; Garcés, P.; Martínez, I. и др. [15].

Результаты и анализ. Появление железобетона, а также актуальность применения его в различных областях строительства основывается на многочисленных факторах, одним из которых безусловно является длительная сохранность стальной арматуры в бетоне, а также стойкость самого бетона к различным видам агрессивного воздействия.

По физическому состоянию агрессивные среды разделяются на жидкие, твердые и газообразные.

Автором [6], было предложено три основных вида коррозионного воздействия любых сред на бетоны:

а) коррозия 1-го вида - процессы расщепления компонентов цементного камня при воздействии на бетон жидкой среды, в особенности - мягкой воды, с последующем их вымыванием движущей водной средой;

б) коррозия 2-го вида - процессы которые развиваются в бетоне при воздействии на него жидких сред, содержащих химические вещества, вступающие в обменные реакции с составными частями цементного камня, с образованием продуктов легко растворимых водой либо аморфных продуктов, не обладающих вяжущей способностью и не влияющий на разрушительный процесс в будущем;

в) коррозия 3-го вида - все процессы коррозии бетона, результатом которого становится увеличение твердой фазы в порах бетона. Происходит это под действием жидких агрессивных сред, при развитии которых в порах бетона происходит концентрация и кристаллизация малорастворимых солей, которые приводят к повреждению структуры бетона.

Исходя из многочисленных опытов практического применения и теоретических исследований железобетона можно констатировать тот факт, что на сегодняшний день не существуют абсолютных разработок, обеспечивающие сохранность арматуры в бетоне. Одной из причин этому способствует множество внутренних и внешних факторов.

Основную роль обеспечения внутреннего фактора в этом процессе играет бетон. Исключив абстрактность этого понятия имеет место акцентировать внимание на щелочной составляющей бетона на ранних стадиях, т.е до затвердевания. Щелочная среда зависит в первую очередь от вида вяжущего - основного компонента бетона. Одним из наиболее приемлемым в качестве вяжущего является портландцемент, так как остальные виды вяжущих в достаточной степени не обеспечивают щелочность жидкой фазы бетона, что в последующем лишает бетон защитных свойств по отношению к стальной арматуре.

К одним из основных начал деградации стальной арматуры является нейтрализация щелочной среды бетона под действием различных видов газов и жидкостей. Стойкость щелочной среды, в основном зависит от степени плотности бетона. Чем выше плотность, тем устойчивее бетон к агрессивному воздействию. Плотность бетона обуславливается его пористостью, которая в свою очередь напрямую зависит от вида заполнителей, образующие структуру бетона, которая в конечном счете положительно влияет на сохранность арматуры. Принимая во внимание этот фактор, можно утверждать, что применение заполнителей из твердых пород намного надежнее по непроницаемости тяжелого бетона для жидкостей и газов. Однако, абсолютная проницаемость бетона напрямую не зависит от вида заполнителя, а определяется структурой цементного камня, т.е влияние является косвенным. Косвенное влияние заключается в том, что пористые заполнители обладают, как правило, способностью связывать гидроксид кальция, подобно гидравлическим добавкам к клинкеру. Такая активность зависит от вида и размеров заполнителей. Мелкие заполнители более активны, из которых пылевидные фракции проявляют более высокую активность.

В работах [2,13] рассмотрены количественные показатели об особенностях защитного действия легких бетонов и методы их повышения.

Условия пассивации стальной арматуры зависит от содержания гидроксида. Для бетонов на пористых заполнителях, в отличии от бетонов на крупных заполнителях, пассивация арматуры не обеспечивается из-за малого содержания гидроксида.

Содержание в бетоне зависит от количества пористости материала и способности связывать гидроксид кальция [1]. Эта способность определяется природой материала и крупностью частиц, а также от расхода цемента и условий затвердения бетона. Для керамзита активность зависит от качества обжига, у пылевидных фракций она особенно велика. Некоторые виды природных пористых заполнителей Закавказья отличаются тем, что одинаково активно связывают как при проварке, так и при нормальном твердении бетона [14]. Особенную активность проявляет безобжиговый зольный гравий.

Подбор состава бетона обязательно должен основываться на учете активности заполнителей [1]. Бетоны с минимальной проницаемостью получаются на основе сухих пористых заполнителей, которые уплотняют структуру цементного теста путем поглощения воды из него, а также ограничение наибольшего размера фракций крупного заполнителя положительно влияет на уменьшение проницаемости. Дополнительными мерами защиты арматуры в таких бетонах служат использование добавок - ингибиторов [12]. Однако, это только одна из мер, обеспечения длительной сохранности стальной арматуры в бетоне.

Интенсивность коррозионного процесса зависит и от множества факторов окружающей среды, одним из которых являются ионы хлора и т.д, влияющие на защитные окисные пленки и всегда стимулирующие процессы коррозии.

Сильные окислители, например, соли щелочных и щелочноземельных металлов: хроматы, нитраты и т.д [11].

Следует отметить, что на скорость коррозии также влияет и температура окружающей среды. В этих случаях температура может выступать как ингибитор, так и стимулятор, т.е влияние температуры имеет характер дуализма, повышенная температура может иметь ускоряющий и замедляющий коррозионный процесс.

Выводы:

1. Надежность эксплуатации железобетонных конструкций напрямую зависит от степени влияния агрессивной среды;
2. Степень агрессивности различна по отношению к бетонам разной плотности;
3. Коррозия железобетона должна рассматриваться с учетом деградационных процессов в бетоне с одной стороны, деградацию стальной арматуры с другой;
4. Бетон является как защитником, так и провокатором коррозии для стальной арматуры;
5. Учет влияния агрессивных эксплуатационных сред при проектировании железобетонных конструкций, серьезно увеличивает длительность надежной эксплуатации зданий и сооружений, а также значительно сокращает финансовые расходы для решения потенциальных проблем в будущем.

Литература

1. Алексеев С.Н., Ратинов В.Б., Розенталь Н.К., Кашурников Н.М. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях. М.: Стройиздат, 272 с. 1985
2. Алексеев С.Н., Степанова В.Ф. Пути повышения коррозионной стойкости конструкций из легких бетонов.: труды Всесоюзного семинара “Эффективные конструкции из легких бетонов”. ВДНХ СССР, 1981
3. Дронов А.В. Прочность и деформативность железобетонных изгибаемых элементов с коррозионными повреждениями. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Белгород. 21 с. 2017
4. Ерофеева И.В. Физико-Механические свойства, биологическая и климатическая стойкость порошково-активированных бетонов. автореферат диссертации на соискании ученой степени кандидата технических наук. Пенза, 28 с. 2018
5. Калиновский М.И. Прогнозирование и повышение долговечности армированных оболочечных конструкций (применительно к водопропускным и канализационным трубам). автореферат диссертации на соискании ученой степени кандидата технических наук. Пенза, 18 с. 2011

6. Москвин В. М. Коррозия бетона. В. М. Москвин. - М.: Госстройиздат, 344 с. 1952
7. Москвин В. М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. М: Стройиздат, 536 с. 1980
8. Овчинникова А.И. Механика поврежденных армированных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Волоград. 20 с. 2004
9. Пахомова Е.Г. Прочность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях. автореферат диссертации на соискании ученой степени кандидата технических наук. Орел, 24 с. 2006
10. Розенталь Н.К. Коррозийная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва. 36 с. 2005
11. Розенфельд И.Л., Замедлители коррозии в нейтральных средах. М, изд. АН СССР, 1953
12. Руководство по обеспечению сохранности арматуры в конструкциях из бетона на пористых заполнителях в агрессивных средах. НИИЖБ. 1979
13. Степанова В.Ф., Алексеев С.Н. Количественная оценка защитной способности по отношению к стальной арматуре бетонов на пористых заполнителях.– В кн.: Долговечность строительных конструкций и материалов. Киев. 1973
14. Степанова В.Ф., Нерсеян Н.Г., Фролова Т.И. Влияние способности пористого заполнителя связывать гидроксид кальция на защитные свойства армированного бетона. НИИЖБ. 1981
15. Чень Тао. Оценка влияния агрессивной среды на грузоподъемность и долговечность конструкций железобетонных мостов в условиях КНР. автореферат диссертации на соискании ученой степени кандидата технических наук. Москва, 23 с. 2019
16. Zaichenko N.M. Internal curing and autogeneous shrinkage of hige-strength concrete. Building materials and construction Journal of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, 122: 236-244 p, 2011

References

1. Alekseev S.N., Ratinov V.B., Rozental' N.K., Kashurnikov N.M. Ingibitory korrozii stali v zhelezobetonnyh konstrukciyah. M.: Strojizdat, 272 s. 1985
2. Alekseev S.N., Stepanova V.F. Puti povysheniya korrozionnoj stojkosti konstrukcij iz legkih betonov.: trudy Vsesoyuznogo seminaru "Effektivnye konstrukcii iz legkih betonov". VDNH SSSR, 1981
3. Dronov A.V. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnyh izgibaemyh elementov s korrozionnymi povrezhdeniyami. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Belgorod. 21 s. 2017
4. Erofeeva I.V. Fiziko- Mekhanicheskie svojstva, biologicheskaya i klimaticheskaya stojkost' poroshkovo-aktivirovannyh betonov. avtoreferat dissertacii na soiskanii uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Penza, 28 s. 2018
5. Kalinovskij M.I. Prognozirovaniye i povysheniye dolgovechnosti armirovannyh obolocheynyh konstrukcij (primenitel'no k vodopropusknyh n kanalizacionnym trubam). avtoreferat dissertacii na soiskanii uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Penza, 18 s. 2011
6. Moskvin V. M. Korroziya betona. V. M. Moskvina. - M.: Gosstrojizdat, 344 s. 1952
7. Moskvin V. M. Korroziya betona i zhelezobetona, metody ih zashchity. V. M. Moskvina, F. M. Ivanov, S. N. Alekseev, E. A. Guzeev. M: Strojizdat, 536 s. 1980
8. Ovchinnikova A.I. Mekhanika povrezhdennyh armirovannyh konstrukcij, vzaimodejstvuyushchih s agressivnoj sredoj: Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Volograd. 20 s. 2004
9. Pahomova E.G. Prochnost' izgibaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij pri korrozionnyh povrezhdeniyah. avtoreferat dissertacii na soiskanii uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Orel, 24 s. 2006

10. Rozental' N.K. Korrozijnaya stojkost' cementnyh betonov nizkoj i osobo nizkoj pronicaemosti. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskix nauk. Moskva. 36 s. 2005
11. Rozenfel'd I.L., Zamedliteli korrozii v nejtral'nyh sredah. M, izd. AN SSSR, 1953
12. Rukovodstvo po obespecheniyu sohrannosti armatury v konstrukciyah iz betona na poristyx zapolnitelyah v agressivnyh sredah. NIIZHB. 1979
13. Stepanova V.F., Alekseev S.N. Kolichestvennaya ocenka zashchitnoj sposobnosti po otnosheniyu k stal'noj armature betonov na poristyx zapolnitelyah. – V kn.: Dolgovechnost' stroitel'nyh konstrukcij i materialov. Kiev. 1973
14. Stepanova V.F., Nerseyan N.G., Frolova T.I. Vliyanie sposobnosti poristogo zapolnitelya svyazyvat' gidroksid kal'ciya na zashchitnye svojstva armirovannogo betona. NIIZHB. 1981
15. Chen' Tao. Ocenka vliyaniya agressivnoj sredy na gruzopod'emnost' i dolgovechnost' konstrukcij zhelezobetonnyh mostov v usloviyah KNR. avtoreferat dissertacii na soiskanii uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskix nauk. Moskva, 23 s. 2019
16. Zaichenko N.M. Internal curing and autogenous shrinkage of hige-strength concrete. Building materials and construction Journal of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, 122: 236-244 p, 2011

Redaksiyaya daxil olma/Received 10.03.2022

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 10.04.2022

Məqaləyə istinad: Дамиров М.М Влияние коррозии от воздействия агрессивных эксплуатационных сред на долговечность железобетона. Elmi Əsərlər jurnalı. AzMİU, s. 85-91, N2, 2022

For citation: Damirov M.M Influence of corrosion from the impact of aggressive operational environments on the durability of reinforced concrete. Journal of Scientific works/ Elmi eserler. AzUAC, p. 85-91, N2, 2022