

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА: ДИАГНОСТИКА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

ПЕРВИЧНАЯ ЗАЩИТА

Если посмотреть на сегодняшнее состояние бетонных и железобетонных конструкций после нескольких десятилетий эксплуатации, то приходится признать, что их состояние не всегда удовлетворительно, а в некоторых случаях вообще аварийно; тому несколько причин.

Основная причина связана прежде всего с различными видами коррозии как самого бетона, так и арматуры, находящейся в нем. На данном аспекте мы остановимся позднее и рассмотрим его подробно.

Прежде всего хотелось бы заострить внимание на различных методах диагностики как решения проблемы коррозии, методах защиты от последней. Как я уже писал ранее, требуется ужесточить надзор и мониторинг конструкций и изделий из бетона и железобетона, хотя в принципе это касается всех видов конструкций вне зависимости от вида используемого материала. Но бетона и железобетона это касается особенно. Так как, проводя обследования на

Что такое первичная защита? К ней относится сочетание определенных требований, предъявляемых непосредственно к материалам и самой конструкции, при реализации которых в процессе проектирования и изготовления мы сможем максимально гарантировать дальнейшую эксплуатационную пригодность всего изделия.

К понятию комплекса вторичной защиты, мы относим мероприятия по защите от коррозии поверхностей бетонных и железобетонных конструкций со стороны непосредственного воздействия агрессивных сред. С одной стороны, это применимо к уже выполненным и эксплуатируемым конструкциям, а с другой стороны, является средством пролонгации жизнеобеспечения уже ранее защищенных конструкций. Если первичная защита выполняется однажды на весь период эксплуатации и не предусматривает возобновления, то вторичные меры могут быть возобновлены в течение всего срока службы конструкции.

На данном этапе, в общем объеме возво-

подбор эффективных составов бетонов, выбор вида и класса арматурных сталей, способов укладки и уплотнения бетонной смеси, условий вызревания бетона и т. д. Эта часть мер определяется на стадии проектирования и осуществляется при изготовлении конструкций и возведении зданий и сооружений.

Конструктивные аспекты первичной защиты заключаются в наличии ряда дополнительных проектных требований, все усилия направляются на повышение коррозионной стойкости железобетона, которые необходимо учитывать при проектировании конструкций. К требованиям конструктивного плана относятся вопросы выбора рациональных геометрических очертаний и форм конструкций, назначения категории требований к трещиностойкости и предельно допустимой ширине раскрытия трещин, рассмотрения сочетания нагрузок после непродолжительного раскрытия последних, назначения толщины защитного слоя бетона с учетом его непроницаемости и т. д.

Что такое первичная защита? К ней относится сочетание определенных требований, предъявляемых непосредственно к материалам и самой конструкции, при реализации которых в процессе проектирования и изготовления мы сможем максимально гарантировать дальнейшую эксплуатационную пригодность всего изделия

уже существующих конструкциях, мы можем выявить «болезнь» и предотвратить ее проявления в еще здоровых «организмах», если данная терминология применима к бетону и железобетону.

Самое главное – это обеспечить стойкость бетона и железобетона на заданный срок службы в условиях воздействия агрессивных сред природного и техногенного происхождения, но это является довольно сложной проблемой, решение которой осуществляется именно на стадии проектирования, возведения и эксплуатации зданий и сооружений.

Так как процессы коррозии бетона и железобетона чрезвычайно многообразны, защита от коррозии, как правило, обеспечивается путем выполнения определенных мер и приемов, направленных на повышение стойкости к конкретным агрессивным воздействиям. В зависимости от того, как и в какой среде мы эксплуатируем объект и набор используемых мер защиты для него, мы должны понимать, что именно данный комплекс мер призван обеспечить стойкость отдельных материалов, входящих в систему арматуры и бетона – и железобетонной конструкции в целом.

Все многообразие методов защиты от коррозии можно подразделить на два взаимозависимых комплекса так называемых первичной и вторичной защит.

димых железобетонных конструкций зданий и сооружений, всегда существует категория элементов, для которых применение вторичной защиты технико-экономически невыгодно, либо просто неприемлемо. Особенно в помещениях, чрезмерно насыщенных технологическим оборудованием и системой трубопроводов (как, например, в цехах химической, нефтехимической, пищевой промышленности и т. п.), а в большей части конструктивных элементов гидротехнических сооружений вторичная защита вообще не применяется.

В связи с этим, в условиях неблагоприятного воздействия окружающей среды на первичную защиту возлагается львиная доля ответственности за сохранение бетона и железобетона.

Первичная защита реализуется посредством мер и приемов технологического и конструктивного характера.

Технологические аспекты первичной защиты заключаются в выборе материалов, стойких к определенным видам агрессивных воздействий, выборе и соблюдении некоторых заданных приемов, применяемых в технологическом процессе изготовления конструкций. К технологическим требованиям можно отнести выбор коррозионностойких видов цементов, типа заполнителей (крупного и мелкого) типов химических добавок и модификаторов,

Приемы обеспечения первичной защиты бетона и железобетона – технологические.

Так как наиболее чувствительной к коррозионным воздействиям в железобетоне является именно арматура, то главная роль в сохранении ее работоспособности и всей конструкции отводится бетону. Бетон выполняет роль труженика, «слуги двух господ», который должен противостоять воздействию агрессивной газовой, твердой или жидкой среды и как материал, который способен наиболее эффективно защитить стальную арматуру от воздействия данных сред. При этом одна и та же среда может быть опасной по отношению как к бетону, так и к арматуре, но ввиду изменяющихся условий словно самонаводящаяся головка от ракеты имеет избирательное действие как к одному, так и к другому материалу.

В современных условиях с точки зрения обеспечения стойкости самого бетона существуют различные меры, необходимые для сопротивления, протекции от воздействия той или иной конкретной среды.

Что самое главное в общих положениях? Это возможность повысить непроницаемость самой структуры бетона, от которой в основном и зависит, насколько быстро будут транспортироваться, инпрегировать и накапливаться агрессивные среды в поровом пространстве самого тела бетона. Таким образом, для первичной защиты самым

главным является создание качественной и по возможности слабо или мало проницаемой поверхности бетона.

Собственная стойкость бетона во многом зависит от вида и минералогического состава применяемых цементов, выбор которых производится с учетом характера именно агрессивной среды. Если обезличить ситуацию, то можно сказать, что практически все цементы на основе базового портландцементного клинкера пригодны для изготовления долговечных конструкций. Но, как мы знаем и понимаем, есть определенные предпочтения и ограничения.

Далее по порядку:

- в жидких средах, агрессивных по показателю к бикарбонатной щелочности требуется применять портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент;
- в условиях, требующих повышенной морозостойкости, шлакопортландцемент и пуццолановый цемент будут понижать показатели морозостойкости. Это уже минус;



- в жидких щелочных средах необходимо ограничение в портландцементе содержания трехкальциевого алюмината;
- при сульфатостойкой коррозии стойкость бетона обеспечивается применением сульфатостойких цементов.

Бытует мнение, что все сульфатостойкие цементы хороши всегда и везде, и это ошибочно. Пониженное содержание трехкальциевого алюмината в сульфатостойком цементе уменьшает диффузионное сопротивление и реакционную емкость (способность связывать хлориды) бетона, иными словами, снижаются защитные свойства бетона по отношению к арматуре.

Применение глиноземистого цемента эффективно в случаях воздействия среды, агрессивной по суммарному содержанию солей (хлоридов, сульфатов, нитратов и т. д.) и недопустимо при наличии жидких щелочных сред и сред, агрессивных по показателям содержания магниезальных и аммонийных солей.

Так как от заполнителей тяжелого бетона требуется достаточная прочность и

морозостойкость, а также отсутствие загрязнений органическими и неорганическими веществами, размягчающимися или растворяющимися водой. Для арматуры опасным является естественное или искусственное загрязнение заполнителя хлоридами.

Предпочтительнее применение в бетоне в качестве крупного заполнителя фракционированного щебня изверженных пород марки не ниже 800 и гравия и щебня из гравия – не ниже фр. 12. Щебень из однородных осадочных пород может применяться при марке не ниже 600 при водопоглощении по массе не выше 2%.

В качестве мелкого заполнителя для бетона предусматриваются чистые крупные кварцевые пески. Как тут не сказать о том, что зачастую на наших заводах используют «недостаточно» чистый песок. Смесь заполнителей должна иметь оптимальный гранулометрический состав, что тоже не всегда соответствует истине.

Совершенно очевидным является недопущение применения в бетоне конструкций, предназначенных к эксплуатации в

агрессивных средах, в качестве воды затворения загрязненных вод, содержащих эмульгированные масла, морской воды. Хотя и есть специальные цементы, но в основном они применяются при ремонтных и экстренных работах.

Необходимо учитывать то обстоятельство, что заполнитель в бетоне без всякого влияния внешней агрессивной среды может явиться причиной возникновения и развития так называемой внутренней коррозии бетона.

В многокомпонентной твердеющей системе, каковой является бетон, возможны процессы химического взаимодействия материала заполнителя со щелочами цемента в присутствии жидкой фазы.

Реакционная способность заполнителей (из доломитизированных известняков или содержащих некоторые разновидности аморфного кремнезема, или имеющих примеси в виде соединений серы) при наличии определенных условий приводит к возникновению внутренних напряжений, новообразований, трещин, и как следствие – последующее разрушение бетона.

В связи с этим заполнитель проверяется на потенциальную реакционную способность. В качестве мер первичной защиты от внутренней коррозии следует:

- подбор состава бетона осуществлять с минимальным расходом цемента и минимальным расходом воды или увязывать расход цемента с количеством содержания щелочей в нем;
- применять портландцемент с минеральными добавками или пуццолановый и шлакопортландцементы;
- вводить в состав бетона воздухововлекающие или газовытесняющие добавки, опосредованно снижающие внутреннее напряженное состояние.

Весьма активную роль в качестве первичной защиты играют химические добавки, повышающие коррозионную стойкость и защитную способность для стальной арматуры. Эти эффекты достигаются за счет целенаправленного упорядочивания структуры; гидрофобизации стенок пор и капилляров; уменьшения структурной пористости; обеспечения однородности смеси при укладке, придания бетону специальных свойств и в том числе свойств ингибирующего действия и т. п.

Долговечность бетона – существенно более чувствительная характеристика, чем прочность. Так как прочность является ответственной характеристикой в вопросах обеспечения несущей способности железобетонных конструкций, то в вопросах повышения долговечности очень важна непроницаемость бетона. Низкая проницаемость бетона достигается в основном за счет малого количества воды затворения. Как уже говорилось ранее – оптимальным В/Ц.

Современные достижения в области развития химических добавок и различного рода модификаторов во многом облегчили проблему снижения расхода воды. Так, в результате применения добавок, таких как суперпластификаторы, и снижения расхода цемента за счет замещения части его на минеральное вяжущее типа микрокремнезема и золы стало возможным существенно снизить водоцементное отношение. В результате этого сегодня все более широкое применение получают бетоны высокой прочности (классов В50 – В100) и непроницаемости (W16 – W20), а стало быть, высокой коррозионной стойкости к большой гамме агрессивных воздействий.

Для армирования железобетонных конструкций независимо от условий эксплуатации применяются различные виды арматурных сталей. Все арматурные стали по степени опасности коррозионного повреждения подразделены на три условные группы. В каждой группе в подгруппы объединены по несколько классов арматуры относительно равной восприимчивости к коррозионному воздействию. В последнее время широкое применение имеет и стальная фибра. Разработки в нашей стране ведутся давно, но западные производители достаточно сильно и много поработали в этом вопросе, так в Германии давно ставится вопрос о классификации фибробетона по классу фибры, ее типоразмеру ►

и форме. При этом вопрос не стоит только в разном количестве вводимой в бетон фибры, а, скорее, ведется анализ по ее анкеровке в теле бетона и последующем ее поведении при работе всей фиброконструкции. Но вернемся к арматуре.

Первая группа: углеродистая горячекатаная стержневая арматура классов от А-I до А-III и проволока классов В-I и Вр-Т.

Вторая группа: термически упрочненные, свариваемые стали классов Ат-111, Ат-IV – стойкие против коррозионного растрескивания, а также высокопрочная проволока и канаты классов В-П, Вр-11, К-7 и К-19.

Третья группа: наиболее уязвимые к коррозии стали – высокопрочные стали, в том числе термически упрочненные классов А-V, А-VI, Ат-V, Ат-VI и высокопрочная проволока мелких (менее 3,5 мм) диаметров классов В-П и Вр-П.

Такое распределение арматурных сталей в группы и подгруппы позволило дифференцировать конструктивные требования первичной защиты к железобетонным конструкциям по целому ряду важных параметров.

Существенная, если не главная, роль в первичной защите железобетона отводится технологическим приемам приготовления, укладки и условий твердения бетона. Бетонная смесь должна быть четко дозирована, плотно уложена в объеме опалубки, что достигается использованием высокоподвижных и литых смесей, уплотнением с вибрацией и пригрузом, повторным вибрированием, при котором легче удаляются пузырьки воздуха из-под горизонтальных арматурных стержней, и т.п. Тепловая обработка бетона конструкций, предназначенных к эксплуатации в агрессивных средах, производится по мягким режимам с удлинением срока предварительной выдержки.

Существует набор определенных правил бетонирования в особых климатических условиях, в частности, в сухом и жарком климате, при низких температурах и на морозе, при выполнении которых возможно получить качественные и долговечные конструкции.

ПЕРВИЧНАЯ ЗАЩИТА БЕТОНА: РАСЧЕТНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРЫ, ИХ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

В связи с увеличившимися в последнее время проблемами и выходом из строя различных объектов строительства, где непосредственно использовались железобетонные конструкции, особо стоит вопрос о правильности конструкторских решений. Правильная работоспособность железобетонных конструкций во многом зависит от качества проектирования и конструирования. Под качеством проектирования и конструирования подразумевается учет в полном объеме определенных требований, дополняющих общие правила расчета и конструирования железобетонных конструкций в части повышении сопротивляемости неблагоприятным воздействиям окружающей среды.

Прежде всего очертание конструкций и геометрию их сечений надлежит выбирать таким образом, чтобы исключить или уменьшить застои агрессивных газов, скопления

жидкостей или пыли на их поверхностях.

Особенности же расчета касаются, главным образом, расчета по второму предельному состоянию и заключаются в назначении категории требований к трещиностойкости и предельно допустимой ширине непродолжительного и продолжительного раскрытия трещин (с позиций проникновения агрессивных сред и последующей коррозии арматуры). Эти параметры соотносятся со степенью агрессивного воздействия сред.

Увы, технологическими мерами первичной защиты невозможно максимально обеспечить стойкость бетона и его защитные свойства к арматуре. Однако наличие в бетоне трещин оставляет вопрос о надежности защиты открытым. Даже при самом стойком и слабопроницаемом бетоне трещины являются проводниками агрессивных компонентов к арматуре. Но практическая работа железобетона без трещин может быть обеспечена лишь в конструкциях с предварительным напряжением арматуры или в фиброконструкциях. И в этом смысле, если не рассматривать технико-экономическую

отношению к аналогичным требованиям общих норм расчета (СНиП 2.03.01-84*).

В конструкциях второй категории трещиностойкости допускается непродолжительное раскрытие трещин при условии обеспечения их закрытия (зажатия) при длительных нагрузках. При этом на растянутой грани элемента сжатие должно составлять не менее 0,5 МПа.

Нельзя не сказать и о ветровой нагрузке, ее можно принимать в значении 30 % от нормы, она является корректировкой в оценке нагрузок при определении ширины раскрытия трещин по второму предельному состоянию, это необходимо при расчете опор ЛЭП, мачт и т.д.

Все вышеперечисленные меры по первичной защите с точки зрения расчета конструкций из железобетона надо увязать с водоцементным отношением и толщиной защитного слоя.

Защитный слой бетона как слой, призванный защищать арматуру от коррозии, исчисляется толщиной бетона от поверхности конструкции до поверхности наиболее близко к ней расположенного арматурного



сторону вопроса, преднапряженные конструкции предпочтительны для работы в условиях действия агрессии. С другой же стороны, в таких конструкциях применяются высокопрочные стали, обладающие меньшей коррозионной стойкостью к растрескиванию под напряжением.

В элементах с трещинами при прочих равных условиях коррозия начинается раньше и развивается тем быстрее, чем больше раскрытие трещин. Степень опасности коррозии арматуры в трещине также зависит от характера коррозионного поведения и поперечного сечения стального арматурного стержня. В трещинах ограниченного раскрытия в определенных условиях имеется тенденция к затуханию коррозионных процессов арматуры. В связи с этим, в зависимости от степени агрессивного воздействия среды и группы арматурной стали, при расчете конструкций вводятся ужесточения по категории требований к трещиностойкости и предельно допустимой ширине непродолжительного и продолжительного раскрытия трещин по

элементу. Как известно, стальная арматура в некарбонизированном и не содержащем хлоридов бетоне длительно защищена от коррозии. Степень пассивирующего (защитающего) действия бетона на сталь во многом зависит от толщины защитного слоя бетона и его непроницаемости.

Ввиду того, что значения нормируемых минимальных толщин защитных слоев из тяжелых бетонов для обычных условий эксплуатации в разных странах колеблются в пределах 10-40 мм, минимальная толщина защитного слоя бетона в зависимости от степени агрессивного воздействия газобразных и твердых сред условно принимается от 20 мм до 25 мм, а жидких сред при отсутствии вторичной защиты конструкции – 20-40 мм.

Надо понимать, что толщина защитного слоя бетона имеет определенную связь с диаметром используемого арматурного стержня. Время от начала коррозии арматуры до раскалывания защитного слоя бетона пропорционально отношению ее толщины к диаметру арматуры. Иными словами,

раскалывающее усилие, развиваемое растущим слоем ржавчины, тем меньше, чем тоньше стержень. С другой стороны, чем меньше диаметр стержня, тем больше его удельная поверхность и, следовательно, потери при коррозионном износе.

В случае армирования бетона при помощи фибры мы можем добиться улучшения показателей коррозионной стойкости, так как толщина защитного слоя будет для нас не особо важна, а что как не фибра, благодаря хаотичному дисперсному армированию, будет защищать тело бетона от возникновения трещин?

Чем же можно повысить стойкость традиционной арматуры? Это прежде всего традиционное цинкование, также можно нанести различные лакокрасочные покрытия или ввести специальные добавки – ингибиторы коррозии.

Внешние нагрузки, вид и уровень напряженного состояния элементов конструкций очень сильно влияют на характеристики проницаемости бетона. Понятно, что статичный, ненагруженный бетон гораздо меньше подвержен процессам, связанным с активным проникновением в его тело различных, не всегда благоприятных сред. Поэтому чаще всего наиболее напряженными участками нормальных сечений конструкции являются поверхностные слои, то есть защитные слои бетона. Особенно неблагоприятным образом на проницаемо-

отдельных параметров первичной защиты.

Данная взаимозаменяемость базируется на эффективности защитных свойств взаимосвязанных между собой отдельных параметров: толщин защитных слоев, непроницаемости бетона, ширины раскрытия трещин, диаметра арматурных элементов, применения оцинкования, некоторых приемов конструирования и т. д.

При надлежащем технико-экономическом обосновании можно, например, учитывать следующее:

- При увеличении толщины защитного слоя бетона несколько снижается опасность возникновения коррозии арматуры в трещинах ограниченного раскрытия. При увеличении толщины защитного слоя на 10 мм и более сверх нормируемых величин возможно небольшое увеличение предельно допустимой ширины раскрытия трещины для конструкции с арматурой I и II групп.
- При применении оцинкования возможно снижение водонепроницаемости на одну марку, или уменьшение защитного слоя на 5 мм, или некоторое увеличение предельно допустимой ширины раскрытия трещин для конструкций с арматурой I и II групп.
- При использовании сталей I группы диаметром свыше 28 мм допустимо некоторое увеличение предельно допустимой ширины раскрытия трещин, но не более

технологий, при помощи которых железобетон нового поколения сможет длительно противостоять агрессивным воздействиям, не прибегая к мерам вторичной защиты.

Существенно этому способствует создание специальных бетонов («High Performance Concrete»), направленно обеспечивающих те или иные свойства, необходимые в определенных условиях эксплуатации.

В последние годы систематически проводятся международные симпозиумы и конференции, посвященные проблемам использования в бетонах микрокремнеземов, зол, шлаков и других минеральных продуктов, комплексных химических добавок и т.д., с помощью которых и обеспечиваются требуемые высокие качества бетона, в том числе стойкость к неблагоприятным воздействиям окружающей среды.

В связи с этим можно полагать, что научный поиск в дальнейшем будет осуществляться в следующих направлениях:

- расширение видов бетонов высокой непроницаемости (W16 и выше), морозостойкости и морозосолеустойкости (F 500 и выше), сульфатостойких, био-, кислото- и щелочестойких и т. п. Работы в этом направлении, очевидно, будут реализовываться на основе создания эффективных химических добавок, в том числе суперпластификаторов, новых видов сложных вяжущих, комплексных модификаторов бетона и т. п.;

Бетонная смесь должна быть четко дозирована, плотно уложена в объеме опалубки, что достигается использованием высокоподвижных и литых смесей, уплотнением с вибрацией и пригрузом, повторным вибрированием, при котором легче удаляются пузырьки воздуха из-под горизонтальных арматурных стержней и т. п.

сти, бетона сказываются растягивающие напряжения. Данная проблема актуальна при выполнении монолитных работ на перекрытиях и плитах полов промышленных зданий, выполняемых как на упругом, так и на других типах оснований. На практике многократно отмечается, что при прочих равных условиях разрушение конструкции начинается на участках конструкции, работающих на растяжение. Наоборот, при сжатии определенного уровня (в пределах нижней границы микротрещинообразования) происходит некоторое уплотнение структуры бетона и снижается его проницаемость. Эти обстоятельства необходимо иметь в виду при выборе расчетных и конструктивных мер первичной защиты. Ситуации, когда требуется оптимизировать, «разгрузить» бетон конструкционно, может помочь фибробетон, ведь одним из основных показателей работы фибры и есть ее работа на растяжение.

При проектировании железобетонных конструкций, для которых в процессе эксплуатации имеется вероятность контакта с агрессивными средами, для выбора основных мер первичной защиты необходимо пользоваться материалами СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии». Однако при конкретном проектировании и возможных объективных ограничениях и сложностях можно прибегать к взаимозаменяемости

чем на 20% их нормируемых значений.

Все перечисленное выше демонстрирует имеющееся в распоряжении проектировщика все многообразие мер и приемов первичной защиты, помогающих в наибольшей степени придать железобетону свойства, которые обеспечат длительную работоспособность конструкций в сложных условиях природных и техногенных агрессивных воздействий.

Несмотря на наличие нормативного документа, посвященного защите от коррозии, невозможно охватить и предусмотреть все возможное сочетание сред и воздействий, особенностей коррозионных процессов бетона и арматуры, поведения конструкций под нагрузкой. В связи с этим, проектировщик нашего времени должен владеть определенной суммой знаний о поведении конструкций и механизме основных коррозионных процессов, протекающих в железобетоне при контакте с агрессивной средой, и только в этом случае возможен грамотный выбор и обоснование тех или иных способов повышения стойкости бетона и железобетона и принятия наиболее эффективных мер первичной защиты.

В современных тенденциях развития техники повышения долговечности железобетона все больший приоритет придается методам первичной защиты.

Уже сегодня четко наметились пути развития и создания новых материалов и

- повышение защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре за счет увеличения его непроницаемости для газов и жидкостей путем создания и внедрения новых видов химических добавок в бетон ингибирующего действия;
- разработка и внедрение новых, металллических арматурных сталей;
- разработка и применение дисперсного армирования бетона химически стойкими волокнами;
- разработка новых конструктивных форм изделий и конструкций, технологий укладки и уплотнения бетонных смесей.

В заключение хочется отметить, что в связи с тем, что проблема не исчерпана, и в дальнейшем будет вестись поиск новых видов армирования и первичной защиты конструкций от коррозии, мы сможем получить принципиально новые конструкции и коррозионностойкие бетоны. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Железобетон в XX1 веке. Москва, Готика, 2001.
2. Долговечность конструкций из бетона и железобетона. Москва, Издательство Ассоциации строительных вузов 2006.
3. Основы бетоноведения, Санкт-Петербург, Строй-Бетон, 2006.