

Результаты расчетов

Виды арок по статической работе	Максимальные усилия круговой арки	Максимальные усилия эллиптической арки	Максимальные усилия треугольной арки	Максимальные усилия «ползучей» арки
Бесшарнирная арка	2,025	5,685	5,082	2,366
Двухшарнирная арка	1,902	5,365	7,537	2,274
Трехшарнирная арка	2,558	6,798	7,553	2,802

По минимальным расчетным значениям определена наиболее рациональная арка. Так, для четырех рассматриваемых вариантов наиболее рациональными являются двухшарнирная арка кругового очертания (минимальные усилия – 1,902) и двухшарнирная «ползучая» арка (минимальные усилия – 2,274).

По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

1) определены рациональные формы очертания арок и определена наиболее рациональная арка по статической работе. По статической работе наиболее рациональна двухшарнирная арка;

2) по форме поверхности наиболее выгодны арка кругового очертания и «ползучая» арка. Следовательно, наиболее рациональными являются двухшарнирная арка кругового очертания и двухшарнирная «ползучая» арка. Минимальные усилия в двухшарнирной арке кругового очертания составляют 1,902, в двухшарнирной «ползучей» арке – 2,274.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железобетонные конструкции: специальный курс / под ред. В.Н. Байкова. – 3-е изд., перераб. – М.: Стройиздат, 1981. – 768 с.
2. Лебедева, Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции / Н.В. Лебедева. – М.: Изд-во лит. по строительству, 2006. – 119 с.

УДК 624.012.45:620.193.4

КОРРОЗИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

К.Д. НИКИФОРОВА

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.С. АЛЬ НАХДИ)

Представлен краткий обзор отечественного и зарубежного опыта по выявлению причин возникновения коррозии в железобетонных конструкциях, изложенный в различных литературных источниках. Сформированы теоретические подходы по защите строительных конструкций, подвергшихся коррозионному повреждению, предполагающие их дальнейшую практическую реализацию.

Во всем мире в настоящее время проблема коррозии железобетонных конструкций (рис. 1) приобретает особую актуальность. Неблагоприятное сочетание постоянных и переменных нагрузок с воздействием различных физико-химических процессов среды вызывает коррозию бетона и арматуры, что может привести к разрушению конструкций. Вредными реагентами для бетона являются: вода, чистая или содержащая растворы солей и кислот, пары, влажные кислые газы, минеральные масла, раствор сахара, отходы по переработке мяса, продукты химических производств. Внешние нагрузки, вызывая образование трещин в бетоне железобетонных конструкций, ускоряют процесс коррозии бетона и арматуры.

Одно из преимуществ бетона и железобетона – *долговечность*, то есть срок, в течение которого они соответствуют своему назначению и могут безопасно эксплуатироваться.

Долговечность элементов зданий и сооружений зависит во многом от степени агрессивности окружающей среды по отношению к материалам, из которых изготовлены конструкции, то есть коррозионной стойкости этих материалов, проявляющейся в конкретных условиях эксплуатации.

Развитие коррозии приводит к уменьшению размеров и площадей поперечных сечений элементов конструкций, к снижению их несущей способности и жесткости. Именно поэтому коррозия может являться причиной аварийного состояния ЖБК (рис. 2).

Железобетонные конструкции постоянно подвергаются воздействию внешней среды, в результате которого возникает коррозия материала. По характеру воздействий различают химическую, электрохимическую и механическую коррозии.

Поскольку железобетон является композиционным материалом, разрушение железобетонных конструкций может быть результатом коррозии как *бетона*, так и *арматуры*. В первом случае окружающая

среда агрессивна по отношению к бетону, а потому он разрушается; при этом обнажается и разрушается арматура. Если же окружающая среда неагрессивна к бетону, но агрессивна к арматуре, то, проникая через поры и трещины защитного слоя к арматуре, она вызывает коррозию.



Рис. 1. Фрагмент коррозии железобетонной колонны



Рис. 2. Фрагмент железобетонной плиты перекрытия (отслаивание и разрушение защитного слоя)

Различаются три вида физико-химической коррозии бетона:

Коррозия I вида. Коррозия этого вида вызывается фильтрацией сквозь толщу бетона мягкой воды, вымывающей его составные части, в частности гидрат окиси кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – гашеную известь процесс называется выщелачиванием извести и весьма опасен для бетона, поскольку известь является составляющей почти всех цементов.

Внешним признаком коррозии I вида служит белый налет на поверхности конструкции в месте выхода воды, что и послужило основанием назвать данный вид коррозии «белой смертью» бетона. Налет – это результат выпадения в осадок растворенных в бетоне солей, в частности гидрата окиси кальция и карбоната кальция.

По мере выщелачивания извести из бетона его механическая прочность снижается; при этом первоначальная потеря извести сказывается на прочности меньше, чем последующая. Выщелачивание первых 16 % извести приводит к потере 20 % прочности, а последующих 14 % – уже 50 % прочности. Полное разрушение конструкций наступает при выщелачивании извести более 35...50 %.

Оценивая устойчивость бетонов к коррозии I вида, следует отметить, что главными факторами, противостоящими ей, являются плотность бетона и характеристика цемента (в частности, минимальное количество извести в нем).

Коррозия бетона II вида связана с развитием обменных реакций между кислотами или солями окружающей среды с одной стороны, и составными частями цементного камня – с другой. Чем энергичнее протекает реакция взаимодействия и чем более растворимы новообразования, тем скорее и полнее разрушается бетон.

Последовательность разрушения бетона при коррозии I вида, заключающаяся в постепенном выщелачивании продуктов гидролиза цемента, иная при коррозии II вида, когда разрушение цементного камня идет в поверхностных слоях бетона (рис. 3), соприкасающихся с агрессивной средой, и процесс разрушения этих слоев может достичь полного развития при сохранении в прилегающих слоях бетона почти без изменения всех элементов цементного камня.

Если новообразования, не обладающие вяжущими свойствами и достаточной плотностью, чтобы воспрепятствовать дальнейшему прониканию агрессивной среды, растворяются или смываются механически, то обнажаются, более глубокие слои бетона. Последние также разрушаются, и процесс коррозии протекает до полного разрушения всего бетона, однако скорость этого процесса может быть различной.

Если новообразования нерастворимы или после удаления растворимых продуктов реакции остается достаточно прочный слой продуктов реакции, который в конкретных условиях контакта агрессивной среды и бетона, например в подземных сооружениях, не удаляется, а сохраняется на месте, свойства этого слоя определяют интенсивность разрушения бетона при коррозии II вида.

К примеру, от действия кислот происходит разрушение бетонных и железобетонных сооружений. Большое разрушение бетонных и железобетонных элементов можно наблюдать на химических заводах и в некоторых цехах других заводов, где из-за утечки кислот из аппаратуры, неисправности канализации и т.д. кислоты попадают на поверхность бетона сооружений. Разрушение надземных конструкций промыш-

ленных зданий от действия кислот обычно начинается с полов, особенно если последние выполнены из некачественных и недостаточно стойких материалов. При попадании кислот на пол разрушается не только он сам, но и другие соприкасающиеся с ним элементы зданий – стены, лестницы и т.д.



Рис. 3. Коррозия железобетона
в зоне переменного уровня морской воды

Признаком **коррозии бетона III вида** является развитие процессов, в результате которых в порах и капиллярах бетона создается давление, вызывающее образование напряжений в структурных элементах материала. Это связано с увеличением объема твердой фазы. Соли либо образуются вследствие химических реакций взаимодействия агрессивной среды с составными частями цементного камня, либо приносятся извне и выделяются из раствора вследствие постепенного испарения из него воды.

Выделение твердой фазы и рост кристаллообразований могут вызвать на определенной ступени развития значительные растягивающие усилия в стенках пор и капилляров и разрушение структурных элементов бетона

При коррозии I и II вида разрушение цементного камня было связано с растворением составных частей и продуктов обменных реакций, при коррозии же III вида при накоплении солей в порах бетона на начальных стадиях он уплотняется. Если этот процесс развивается медленно, заполнение пор и пустот в бетоне кристаллическими новообразованиями и связанное с ним уплотнение бетона создает картину ложного благополучия. Прочность бетона при этом на какой-то период увеличивается и превышает такую для бетона, не подвергавшегося действию агрессивной среды. Из-за этого иногда не удается распознать начальные формы развивающейся коррозии III вида. Лишь после возникновения значительных растягивающих усилий в стенках пор и капилляров, вызванных продолжающимся ростом кристаллообразований, происходит разрушение структурных элементов цементного камня бетона и наблюдается быстрое снижение (сброс) прочности. К коррозии бетона II вида относят сульфатную коррозию, а также коррозию бетона при кристаллизации солей в его порах.

Однако на разрушение железобетонных конструкций и элементов может оказывать влияние не только коррозия бетона, но и арматуры.

Защитный слой бетона затрудняет доступ к арматуре влаги кислорода, воздуха или кислотообразующих газов, однако с увеличением пористости бетона и разрушений в нем, происходящих под действие агрессивных сред, его защитные свойства резко снижаются.

Коррозия арматуры (ржавление) происходит в результате химического и электролитического воздействия окружающей среды; обычно она протекает одновременно с коррозией бетона, но может

протекать и независимо от нее. Для развития процесса коррозии стали необходимы следующие условия: контакт стали с электролитом; наличие разности потенциалов (микроэлементов) на поверхности; возможность беспрепятственного перехода ионов металла в раствор на аноде; доступ кислорода к катоду микроэлемента.

Коррозия железобетона увеличивается в условиях влажной среды, при которых стальная арматура корродирует быстрее. В обычных условиях скорость коррозии арматуры составляет 0,1 мм в год, при неблагоприятных условиях до 1 мм. Объем проржавевшего металла в 2...3 раза больше, чем до коррозии, поэтому по периметру арматуры создается радиальное давление, вызывающее образование продольных трещин и откол защитного слоя бетона.

Следует отметить, что коррозия бетона и железобетона может привести к потере несущей способности конструкций и её жесткости, вследствие уменьшения поперечных сечений элементов конструкций. Следует помнить, что в чистом виде коррозия всех типов встречается редко: при действии агрессивной водной среды на бетон в последнем обычно происходят процессы разрушения, включающие элементы всех трех видов коррозии бетона, правда, не в равной степени. Для того чтобы коррозия не стала причиной аварийного состояния ЖБК, необходимо предусматривать определенные меры защиты.

Мерами защиты от коррозии железобетонных конструкций, находящихся в условиях агрессивной среды, в зависимости от степени агрессивности являются: снижение фильтрующей способности бетона введением специальных добавок, повышение плотности бетона, увеличение толщины защитного слоя бетона, а также применение лакокрасочных или мастичных покрытий, оклеенной изоляции, замена портландцемента глиноземистым цементом, применение специального кислотостойкого бетона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин, В.М. Оценка технического состояния зданий: учебник. / В.М. Калинин, С.Д. Сокова. – М.: 2006. – 268 с.
2. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / Москвин В.М. [и др.]. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
3. Мальцев, Т.А. Анализ дефектов и повреждений строительных конструкций: учеб. пособие по курсу «Техническая эксплуатация строительных конструкций» для студ. спец. 2903 / Т.А. Мальцев. – Саратов: СГТУ, 1996. – 96 с.
4. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции: Общий курс: учебник для вузов / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – 5-е изд. – М.: Стройиздат, 1971. – 767 с.

УДК 72.036:624.072.32

МУФТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ В МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ.

И.А. АВФЕРЁНОК

(Представлено: канд. техн. наук, доц. А.С. АЛЬ НАХДИ)

Рассматриваются варианты стыкового соединения стержней продольной арматуры колонн при проектировании монолитных многоэтажных зданий. Приведены рекомендации по выбору способа стыкования арматуры.

Быстрорастущие объемы строительства из монолитного железобетона требуют освоения более надежных и скоростных технологий возведения зданий и сооружений.

В Республике Беларусь перед строительной отраслью поставлена задача значительного увеличения объемов жилищного строительства многоэтажных зданий из монолитного железобетона. Обеспечить рост объемов строительства таких зданий возможно только при максимальном использовании новых технологий их возведения. Одной из главных проблем для монолитного железобетона является стыкование арматуры.

В строительном производстве при формировании арматурных каркасов, нормативными документами предусмотрена непрерывность арматурного стержня на всю длину конструкции. Как правило, максимальная непрерывная длина арматурных стержней ограничивается следующими параметрами:

- максимальной длиной арматурного стержня (из условий транспортировки 11,7 м);
- конструктивными соображениями (например, при формировании колонн длина устанавливаемого стержня не превышает высоту двух этажей).

Для обеспечения непрерывности армирования отдельными стержнями в построечных условиях применяются два вида соединений – **сварные и внахлестку без сварки**.

Применение сварных соединений приводит к удорожанию и усложнению арматурных работ за счет необходимости большого расхода электроэнергии, привлечения высококвалифицированных сварщиков, значительной трудоемкости этих работ и сложного контроля качества.

Надежность этих стыков проверена временем, но отстает от современных требований, прежде всего из-за невысоких темпов производства работ.

Наиболее простым способом соединения стержневой арматуры является соединение внахлестку без сварки, когда усилия с одного стыкуемого стержня на другой передаются за счет сил сцепления с