

Созаев А.А., Пилова Ф.И.
Sozaev A.A., Pilova F.I.

**КОРРОЗИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ**
**CORROSION DAMAGE TO REINFORCED CONCRETE STRUCTURES
AND THE CAUSES OF THEIR ORIGIN**

При правильном проектировании, изготовлении и применении железобетон как материал отличается многими положительными эксплуатационными свойствами, в том числе высокой коррозионной стойкостью. Однако при эксплуатации бетонные, железобетонные изделия и конструкции подвержены воздействию различных агрессивных сред. Агрессивность коррозионного воздействия внешней среды на железобетонные конструкции зависит как от характеристики агрессора, так и от качества материала конструкций.

Выявлена эволюционная смена характера коррозионных повреждений бетонного тела по мере удаления от поверхности контакта с агрессивной средой и выделены три характерные зоны повреждений: зоны полного разрушения, переходной зоны и зоны повреждения бетона; сформулированы условия сопряженности функций повреждений для этих зон.

With proper design, manufacture and use, reinforced concrete as a material is characterized by many positive operational properties, including high corrosion resistance. However, during operation, concrete and reinforced concrete products and structures are exposed to various aggressive environments. The aggressiveness of the corrosive effects of the environment on reinforced concrete structures depends both on the characteristics of the aggressor and on the qualities of the material of the structures.

An evolutionary change in the nature of the corrosion damage to the concrete body was revealed as it moved away from the contact surface with the aggressive medium and three characteristic damage zones were identified: the zones of complete destruction, the transition zone and the zone of concrete damage; the conditions for the conjugation of damage functions for these zones are formulated.

Nonlinear generalizations of the Guldberg – Vaage postulate are derived, and on this motivational basis, instead of existing empirical proposals, uniform analytical relationships are constructed to describe the variable kinetics of the advancement of the corrosion damage front into the depth of a reinforced concrete element for different types of corrosion.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, коррозионные повреждения, зоны повреждений.

Key words: reinforced concrete structures, corrosion damage, damage zones.

Созаев Ахмед Абдулкеримович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой землеустройства и экспертизы недвижимости, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

E-mail: sozaev07@mail.ru

Пилова Фатима Исмаиловна – магистрант 3-го года обучения направления подготовки «Строительство», доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, г. Нальчик

E-mail: faty116.fp@gmail.com

Sozaev Ahmed Abdulkerimovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

E-mail: sozaev07@mail.ru

Pilova Fatima Ismailovna – 3-year undergraduate in the construction field, Associate Professor of the Department of Economics, FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU, Nalchik

E-mail: faty116.fp@gmail.com

Введение. В России ведется эксплуатация большого количества производственных зданий и сооружений в различных условиях и построенных с применением различных материалов. Часто эксплуатация объектов происходит в неблагоприятных для материалов и конструкций условиях.

Большая часть основных изделий и конструкций эксплуатируемых объектов выполнена с применением в качестве строительных материалов бетона и железобетона. Как правило, это тяжелый бетон на цементной основе, к которому предъявляются требования, определяющие его долговечность, равную сроку службы сооружений [1]. Железобетону присущи многие положительные эксплуатационные свойства, в том числе высокая коррозионная стойкость. Однако бетонные и железобетонные изделия и конструкции при эксплуатации подвержены воздействию различных сред, некоторые из которых являются агрессивными для цементного камня. Под влиянием химических реакций и физико-химических явлений происходят процессы коррозии, т.е., преждевременного разрушения железобетонных конструкций [2].

Ход исследования. К основным факторам коррозии бетона конструкций можно отнести следующие факторы:

– ошибки в проектировании конструкций и элементов, недостаточная толщина защитного слоя; неправильная оценка условий эксплуатации зданий и сооружений, воздействий агрессивной среды; несоблюдение технологий бетонных работ и использование бетона, не отвечающего эксплуатационным требованиям;

– условия внешней среды – воздействие агрессивных компонентов (вода, карбонаты, сульфаты, хлориды) и переменные циклы замораживания и оттаивания. В результате бетон подвержен выщелачиванию извести, химическим реакциям с образованием в бетоне новообразований, не обладающих вяжущими свойствами, легко вымываемых водой или, кристаллизация которых приводит к внутренним напряжениям, появлению и раскрытию трещин в бетоне. В водонасыщенном бетоне при низких температурах вода замерзает и, увеличиваясь в объеме, приводит к образованию трещин.

Наибольшую практическую опасность в связи с этим представляют углекислый газ воздуха, обычные и особенно сульфатные грунтовые воды.

Основоположник изучения процессов коррозии бетонов А.А. Байков отметил, что все бетонные элементы сооружений на портландцементе, контактирующие с водой неизменно подвергаются выщелачиванию извести и последующему разрушению [3].

Как правило, здания и их конструктивные элементы подвержены комплексным воздействиям вышеперечисленных факторов, что ведет к преждевременному снижению прочности, несущей способности, ухудшению эстетических качеств железобетонных конструкций и снижению ресурса зданий и сооружений, а также преждевременному выходу из строя.

Рассматривая коррозионную стойкость железобетонных конструкций, целесообразно отдельно изучать повреждаемость бетона и арматурной стали.

Интенсивность коррозионного воздействия компонентов внешней среды на материал железобетонных конструкций зависит как от агрессивности среды (типа, концентрации, температуры и т.п.), так и от качества материала конструкций (плотности, прочности, проницаемости, влажности, химической стойкости, наличия защитных покрытий) [2].

Для цементного бетона характерна способность к самозалечиванию повреждений, а некоторые продукты коррозии (кальцит, гипс, этtringит) создают вторичную структуру твердения и фактор повышения прочности.

Последние явления стабильны лишь для квазиконстантной внешней среды при наличии остаточного ресурса прочности, сохранившегося в процессе коррозионного разрушения. Со временем интенсивность процессов коррозии снижается вследствие кольтматирования пор бетона продуктами коррозии. Однако это не характерно для процессов выщелачивания, которые со временем только интенсифицируются. В настоящее время существует ряд конкурирующих концепций механизма разрушения бетона при воздействии агрессивной сульфатной среды:

– по схеме отрыва (деструкция вызывается давлением, оказываемым новообразованными кристаллами; деструкция следует за ростом осмотического давления, возникающего в поровой структуре цементного камня вследствие роста гипсовых и этtringитовых включений [4], чему способствует малая растяжимость бетона при);

– по схеме среза (деструкция бетона предопределяется развитием коллоидной формы гипса и этtringита за счет преодоления тангенциальных сопротивлений между конгломератными компонентами).

При этом, как отмечает С.В. Шестоперов, повышение тонкости помола цемента снижает структурную устойчивость цементного камня за счет более интенсивного образования этtringита.

Результаты исследования. Испытания образцов из цементного камня, подвергавшихся агрессивному воздействию среды, четко показали наличие трех характерных зон: светлая, наружная, имеющая практически нулевую прочность; сравнительно мало разрушенная переходная зона более темного цвета; однородная внутренняя, где цементный камень имеет исходную прочность. То есть, имеет место изменения характера коррозионных повреждений по глубине образцов [5].

Первая зона – зона разрушения нагруженного слоя бетона. Средняя интенсивность образования первой зоны может быть оценена произведением т.н. скорости разрушения бетона мм/год и длительностью коррозионного воздействия

$$Z^* = a_{\text{мм/год}}$$

при этом $a_{\text{мм/год}}$ назначаются в зависимости от агрессивности среды (таблица 1).

Таблица 1

Степень агрессивности среды	$a_{\text{мм/год}}$
Слабая	До 0,4
Средняя	0,4 – 1,2
Сильная	>1,2

Вторая зона – переходная, граничит с зоной разрушенного бетона на некоторой глубине δ , которая определяет глубину нейтрализации или глубину коррозионного проникновения.

Для практического моделирования деструктивного процесса необходимо осуществить его схематизацию, заключающуюся во введении некоторых рабочих гипотез, в частности:

– принцип равнодоступности А.Д. Фрама-Каминского, по которой принимается, что все элементарные процессы протекают параллельно и независимо друг от друга, а поверхности раздела фаз, где осуществляются эти процессы, в равной степени доступны;

– все процессы рассматриваются в квазистационарном режиме, т.е. предполагается, что изменение отдельных параметров за кратковременный период пренебрежимо мало, а переход к кинетике осуществляется сопряженно (например, с помощью учета углубления агрессивного фронта и накопления продуктов взаимодействия).

При этом, существенно, что зерна наполнителя, стремясь к уменьшению поверхностной энергии, объединяются в агрегаты – кластеры различных размеров, представляющие собой качественно иные включения (псевдофазу), существующие в вяжущем наряду с неагрегированными частицами.

Максимальное насыщение кластерами обеспечивает экстремальное упрочнение наполненной структуры.

В литературе имеется несколько конкурирующих предложений по прогнозу глубины коррозионного фронта δ . В ряду других одно из альтернативных предложений по расчету δ получается с помощью нелинейного обобщения постулата Гульдберга-Вааге:

$$\frac{d\Delta\delta(t,t_0)}{dt} = -\alpha \cdot [\Delta\delta(t,t_0)]^m \quad (1)$$

при $m \geq 0$.

Здесь

$$\Delta\delta(t,t_0) = \delta(\infty,t_0) - \delta(t,t_0) \quad (2)$$

δ – глубина проникновения коррозии (глубина нейтрализации);

Δ – приращение глубины проникновения коррозионного фронта в конструкцию;

знак (–) правой части означает уменьшение во времени скорости проникновения коррозии;

t_0, t – начальное и текущее время изменения глубины проникновения коррозии;

α и m – эмпирические характеристики процесса коррозии, зависящие от видовых признаков и интенсивности агрессии, а также от номинации материала.

Численные значения $\delta(\infty,t_0)$; $\delta(t,t_0)$; α ; m определяются по данным экспериментов или с помощью литературной информации.

Разделив переменные, запишем

$$\frac{d\Delta\delta(t,t_0)}{[\Delta\delta(t,t_0)]^m} = -\alpha dt \quad (3)$$

Рассмотрим решения (3) для 3-х частных случаев:

а) Случай $m = 0$, что соответствует неизменной скорости продвижения коррозионного фронта (1-й вид коррозии)

$$\Delta\delta(t,t_0) = -\alpha t + B$$

или

$$\delta(t, t_0) = \delta(\infty, t_0) + \alpha t - B$$

где B – произвольная постоянная интегрированная, определяемая из условия, что при $t = t_0$

$$\delta(t, t_0) = \delta(\infty, t_0) + \alpha t_0 - B$$

то есть

$$B = \delta(\infty, t_0) - \delta(t, t_0) + \alpha t_0$$

Откуда

$$\delta(t, t_0) = \delta(\infty, t_0) - [\delta(\infty, t_0) - \delta(t, t_0)] - \alpha t_0 + \alpha t$$

$$\delta(t, t_0) = \delta(t, t_0) + \alpha(t - t_0) \quad (4)$$

здесь $\delta(t, t_0)$ – накопившаяся к началу наблюдения глубина коррозионного повреждения материала.

б) Случай $m = 1$, что соответствует постулату Гульдберга-Вааге, согласно которому скорость продвижения фронта коррозии пропорциональна дефициту максимального и текущего значения δ , накопленного к моменту t

$$B = [\delta(\infty, t_0) - \delta(t, t_0)]e^{r_0} \quad \text{и} \quad \delta(t, t_0) = \delta(\infty, t_0)[1 - \beta e^{-\alpha(t-t_0)}] \quad (5)$$

где

$$\beta = \frac{\Delta\delta(t_0, t_0)}{\delta(\infty, t_0)} = 1 - \frac{\delta(t_0, t_0)}{\delta(\infty, t_0)} \quad (6)$$

в) Случай $m=2,3,4 \dots n$, при котором затухание скорости продвижения коррозионного фронта более замедленно

$$\delta(t, t_0) = \delta(\infty, t_0) \left\{ 1 - \frac{1}{\delta(\infty, t_0)} \langle [\delta(\infty, t_0) - \delta(t, t_0)]^{(1-m)} - \alpha(1-m)(t-t_0) \rangle^{\frac{1}{1-m}} \right\} \quad (7)$$

Случай $m > 1$ соответствует коррозии 2-го вида.

Выводы. Известные предложения по описанию коррозионных повреждений бетонов не учитывают влияние величины и вида напряженно-деформированного состояния образца. Между тем, экспериментально выявлено, что уровень и вид напряженного состояния влияют на проницаемость бетона, что, в свою очередь изменяет коррозионные повреждения.

Преждевременное разрушение железобетонных конструкций, потеря ими герметичности, теплозащитных и других эксплуатационных качеств приводят к крайне нежелательным последствиям. Поэтому защита от коррозии всех конструкций из каменных материалов с целью обеспечения расчетных сроков их службы и поддержания требуемых эксплуатационных качеств зданий и сооружений имеет значительное практическое значение, и ни в коем случае нельзя пренебрегать данной проблемой и своевременно принимать соответствующие меры по предотвращению коррозионного разрушения бетонных и железобетонных конструкций [6].

Литература

1. ГОСТ 31384–2008 Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии.
2. СП 13–102–2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений.
3. Байков В.Н. О дальнейшем развитии общей теории железобетона // «Бетон и железобетон». Москва. 1974. №7.
4. Комохов П.Г., Латыпов В.И., Латыпова М.В. Долговечность бетона и железобетона. Изд. «Белая река», Уфа, 1998
5. Жуков Е. М., Кропотов Ю. И., Лугинин И. А., Полошков С. И., Легаева Л. А. Коррозия железобетонных конструкций и причины ее возникновения // Молодой ученый. 2016. №7. С. 78-80.
6. Дубинчик О.И. Влияние коррозии бетона и арматуры на долговечность железобетонных пролетных строений мостов // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2005. № 6.

References

1. GOST 31384–2008 Zashchita betonnyh i zhelezobetonnyh konstrukcij ot korrozii.
2. SP 13–102–2003 Pravila obsledovaniya nesushchih stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij.

3. Bajkov V.N. O dal'nejshem razvitii obshchej teorii zhelezobetona. Zhurnal «Beton i zhelezobeton». Moskva. 1974. №7.

4. Komohov P.G., Latypov V.I., Latypova M.V. Dolgovechnost' betona i zhelezobetona. Izd. «Belaya reka», Ufa, 1998

5. Zhukov E. M., Kropotov Yu. I., Luginin I. A., Poloshkov S. I., Legaeva L. A. Korroziya zhelezobetonnyh konstrukcij i prichiny ee vzniknoveniya // Molodoj uchenyj. 2016. №7. S. 78-80.

6. Dubinchik O.I. Vliyanie korrozii betona i armatury na dolgovechnost' zhelezobetonnyh proletnyh stroenij mostov // Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta. 2005. № 6.