

*Бабенкова Юлия Валериевна, сотрудник ООО "Эксперт-М", Москва, Россия*

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ**

**Аннотация:** В статье рассматриваются методы исследования работы железобетонных конструкций инженерных сооружений, работающих под воздействием агрессивных сред, которые повреждают бетон и арматуры. Основная цель исследования состояла в том, чтобы определить: типы агрессивных сред; методы исследования для определения влияния на структурные и прочные свойства бетона и арматуры; механизм проникновения агрессивных сред в тело бетонных блоков

**Ключевые слова:** методы исследования, железобетонная конструкция, синергетические эффекты, коррозионный ущерб, технический дизайн.

**Annotation:** The article discusses research methods for the operation of reinforced concrete structures of engineering structures operating under the influence of aggressive environments that damage concrete and reinforcement. The main objective of the study was to determine: types of aggressive media; research methods to determine the effect on the structural and durable properties of concrete and reinforcement; mechanism of penetration of aggressive media into the body of concrete blocks

**Keywords:** research methods, reinforced concrete structure, synergistic effects, corrosion damage, technical design.

Для обеспечения функционирования железобетонных технических конструкций требуется соблюдение технологических и конструктивных требований. В агрессивных средах необходимо защищать конструкции от коррозии - это одна из главных проблем в решении проблемы устойчивости

зданий и сооружений [1].

Большинство систем проектирования для технических конструкций- это прочные железобетонные конструкции. Недостаточное финансирование структурного ремонта привело к повреждению бетона в больших масштабах, а его физический износ превысил 30%. Работа железобетонных конструкций технических сооружений в агрессивных условиях увеличивает объем реставрации. Синергетические эффекты среды приводят к значительным изменениям характеристик деформации и прочности бетона в пострадавшем районе железобетонных инженерных сооружений.

Изменение свойств материала с течением времени необратимо и зависит от условий деформации и взаимодействия со средой. По мере того, как агрессивная среда проникает в тело конструкции, защитные свойства бетона уменьшаются по сравнению с сопротивлением, которое начинает корродировать. Изучение коррозии бетонных конструкций, а также диагностика коррозии предотвращает изоляцию бетонных крыльев. Эффективность защитных свойств бетона зависит от плотности его структуры, толщины защитного слоя и химического состава цементного камня. Коррозия уменьшает площадь поперечной полосы и изменяет адгезию к бетону. Все это влияет на производительность железобетонных конструкций.

Одной из основных причин коррозии железобетонных технических конструкций является влияние агрессивной человеческой среды и природы. Это приводит к активным разрушительным процессам. Известно также, что изменение свойств материала с течением времени зависит от взаимодействия с окружающей средой и необратимо.

Разрушительные процессы наблюдаются в районах с переменным уровнем воды, активным химическим и физическим воздействием на окружающую среду. Например, в конструкциях промышленных гидравлических систем (гиперболические градирни, вентиляционные охладители, аэродинамические резервуары, фильтры, осадочные резервуары, анкерные камеры, гравитационные лифты). При сроке службы от 6 до 8 лет

глубина коррозии бетона может достигать от 8 до 10 сантиметров, а в течение 25-30 лет она может достигать от 1 до 5 метров. По мере того, как агрессивная среда проникает в тело конструкции, защитные свойства бетона уменьшаются по сравнению с сопротивлением, которое начинает корродировать. Все это влияет на устойчивость железобетонных конструкций [2].

Например, коррозия бетона позволяет определить такие синергетические эффекты, как общее воздействие внешней среды (повышение влажности, температуры и т.д.), агрессивные среды (различные жидкости, газы, твердые агрессивные образования) с учетом состояния натяжения железобетонного элемента [3, с. 125-127].

Синергетические эффекты среды приводят к значительным изменениям характеристик деформации и прочности бетона в пораженной области. Изменение свойств материала с течением времени необратимо и зависит от условий деформации и взаимодействия со средой. По мере того, как агрессивная среда проникает в тело конструкции, защитные свойства бетона уменьшаются по сравнению с сопротивлением, которое начинает корродировать. Коррозия уменьшает площадь поперечной полосы и изменяет адгезию к бетону. Все это влияет на устойчивость железобетонных конструкций [4, с. 29-32].

Повреждение бетона наблюдается при воздействии водных растворов кислот или кислотных газов, солевых растворов и даже Алкидов, некоторых органических соединений. Степень агрессивности и воздействия зависит не только от состава агрессивной среды, но и от условий контакта, скорости и давления жидкой среды, плотности соседней почвы под воздействием грунтовых вод, температуры жидкости, состояния натяжения строительного материала и других факторов.

Почти все эффекты, связанные с агрессивными твердыми веществами и газами, могут быть синергетическими, поскольку присутствие воды необходимо для химической реакции при нормальных условиях [5].

Все кислотные газы действуют с  $CO_2$  в бетонных конструкциях. В

большинстве случаев основной процесс заключается в том, чтобы потушить бетон, который начинается во время строительства, в то время как конкретные кислотные газы не работают хорошо, пока здание не будет работать. Влияние газов на бетон вызывает его нейтрализацию, и полученные соли проникают глубже в пропорцию, которая зависит от ее растворимости, проницаемости и влажности.

Характер основных деструктивных процессов представлен в таблице 1.

Таблица 1

| Среда   | Условия воздействия среды | Преобладающие процессы в бетоне   |
|---|---------------------------|---|
| Воздушно-влажная  | Безнапорное               | Нейтрализация   |
|   | Напорное                  | То же, <u>ускоренная</u>  |
| <u>Воздушно-влажная</u> , с присутствием растворов солей, кислот и т. д. и с непосредственным периодическим увлажнением | Безнапорное               | Увеличение количества внесенных агрессивных компонентов или продуктов из взаимодействия с цементным камнем, нейтрализация, диффузия агрессивных ионов |
|   | Напорное                  | Те же процессы, ускоренные +выщелачивание   |
| <u>Водная</u> с присутствием растворов солей, кислот и т. д.  | Безнапорное               | Диффузия агрессивных ионов  |
|   | Напорное                  | То же + выщелачивание   |

Для оценки коррозионного повреждения бетона в железобетонных конструкциях инженерных сооружений могут быть использованы следующие показатели: глубина повреждения бетона и срок службы бетона [6, с. 74-78.].

Очевидно, что конечной целью создания математической модели  $L = F(t)$  является получение простой формулы, по которой удобно проводить технические расчеты. Однако практически все исследователи в блокирующей зависимости  $L=F(t)$  для упрощения выводят из взаимодействия только два вещества (табл. 2).

После изучения методического подхода к определению ресурса бетона и подготовки предложения по количественной оценке кинетики коррозионных

процессов, возникающих в результате контакта жидких агрессивных сред с бетоном на основе анализа природы коррозионных процессов, были сделаны следующие выводы:

- отмечается, что интенсивность коррозионных процессов определяется интенсивностью проникновения агрессивных компонентов внешней среды в структуру бетона;

- движение агрессивной среды с наружной поверхности вглубь бетона осуществляется гидростатическим давлением, молекулярной и капиллярной диффузией; давление внешней среды на открытую поверхность бетона ускоряет этот процесс;

- данная классификация активных сил, стимулирующих движение агрессивных сред в бетоне, позволяет в стационарных условиях рассчитать течение агрессивного вещества по поверхности бетона количественно и оценить его влияние на состояние бетона с течением времени при простых граничных условиях.

Таблица 2

**Характеристика синергетического взаимодействия двух веществ**

| Примеры взаимодействия бетона с диффундирующей внешней средой | Описание процесса  | Дифференциальные уравнения, описывающие процесс [2]  |
|---|--|--|
| Контакт цементного камня с растворами солей, кислот и т.д.    | Наличие химического взаимодействия бетона с внешней средой, процесс контролируется диффузией и химической реакцией | $\left. \begin{aligned} \frac{\partial C_A}{\partial t} &= D_A \cdot \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + RC_i \\ \frac{\partial C_B}{\partial t} &= D_B \cdot \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} + \frac{K_B S_B}{\Pi_B} R(C_i) \end{aligned} \right\} (1)$ |
| Контакт цементного камня с хлоридами                          | Отсутствие химического взаимодействия бетона с внешней средой, процесс контролируется диффузией                    | $\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \cdot \frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} \quad (2)$  |

Коррозия бетона в изделии или конструкции вызвана деятельностью организмов. Биологическая коррозия чаще встречается в конструкциях, где

органические вещества вступают в контакт с поверхностью железобетона. Коррозионное разрушение сопровождается разливом кальция и магния в виде сульфатов бетона [5].

Климатические воздействия на бетон, включая температуру, влажность и количество переходных процессов при  $0^{\circ}\text{C}$ , разрушают поверхностную структуру его слоев, вызывают образование замкнутых микропор, соединенных между собой, и образуют непрерывную пористую систему, обеспечивающую доступ к последующим воздействиям ионов хлора или углекислого газа [4].

Общая теория процессов, происходящих при насыщении бетона водой, все еще находится в стадии разработки. Особенности процесса разрушения бетона отражены в работах В. М. Москвина, В. Б. Гусева, Н. Розенталя и других писателей. Движение ледяного фронта и увеличение объема во время фазы перехода ко льду приводят к движению воды. В то же время поровое давление увеличивается, что снижает температуру кристаллизации. При наличии солевых растворов в жидкой фазе бетона на него влияет концентрация солевых растворов [2].

Практика исследований показывает, что одной из основных причин снижения устойчивости железобетонных конструкций является воздействие агрессивных воздействий на окружающую среду. Наиболее неблагоприятным результатом этого воздействия является химическая коррозия железобетона. В настоящее время влияние коррозии на устойчивость бетонных конструкций оценивается примерно в 10 % [6].

В таблице 3 показана степень агрессивности окружающей среды и глубина сноса поверхностного слоя бетона, что влияет на потерю несущей способности железобетонных конструкций.

Таблица 3

## Степень агрессивности среды

| Степень агрессивности среды | Коррозионные повреждения, мм/год | Баллы по ГОСТ 13819-68 | Снижение прочности в зоне коррозии, % |
|-----------------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Неагрессивная               | 0,1                              | 1...3                  | 0                                     |
| Слабая                      | 0,01-0,05                        | 4,5                    | До 5                                  |
| Средняя                     | 0,05-0,5                         | 6                      | До 10                                 |
| сильная                     | >0,5                             | >7                     | >10                                   |

Оценку ресурса эксплуатирующихся конструкций предложено выполнять по формуле [1]:

$$t_{пр} = t_{об} \delta^2 / (m_1 x_{об})^2 - t_{об}, \quad (3)$$

где  $t_{об}$ ; TPR-срок службы конструкции на момент обследования и ожидаемый срок службы (ресурс); НОВ-глубина обугливания бетона на момент обследования.

Прочность бетонных смесей повышается за счет увеличения количества цемента, за счет качественного уплотнения, но это не исключает их повреждения и разрушения коррозионными средами. Разрушение защитного слоя бетона приводит к образованию кислых газов, хлора и углекислого газа, которые запускают процесс коксувания.

Для того чтобы сделать агрессивные соли и газы, содержащиеся в цементе, химически активными, достаточно влажности бетона. В результате процессы выщелачивания гидроксида кальция инициируются гидролизом, образованием известковых солей, цемента, кислот или кислых растворов, которые связаны с разрушением бетона.

**Библиографический список:**

1. Пахомова Е.Г. Прочность изгибаемых железобетонных конструкций при коррозионных повреждениях: дис. ... канд. техн. наук. – Курск, 2006.
2. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
3. Пахомова Е.Г., Горбунова И.Н. Работоспособность железобетонных конструкций при синергетических воздействиях агрессивных сред // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2012. – № 2-2. – С. 125-127.
4. Исследование работоспособности изгибаемых железобетонных конструкций с учетом коррозионных повреждений / С.И. Меркулов, Е.Г. Пахомова, А.В. Гордеев, А.С. Маяков // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. – № 4 (29). – С. 74-78.
5. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, водонапорных стен): монография. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 424 с.
6. К методике оценки работоспособности железобетонных конструкций при нарушении сцепления арматуры с бетоном при коррозионных повреждениях / Е.Г. Пахомова, В.М. Кротова, А.В. Гордеев, А.С. Маяков // Промышленное и гражданское строительство. – 2011. – № 8. – С. 28-29.