

Статья. Автор: Муханова Ольга Викторовна

Разрушение бетона под воздействием кислот

Аннотация

Бетон является одним из наиболее распространённых строительных материалов благодаря высокой прочности, долговечности и относительно низкой стоимости. Однако в условиях эксплуатации он может подвергаться воздействию агрессивных химических сред, среди которых особую опасность представляют кислоты. Кислотная коррозия приводит к постепенному разрушению цементного камня, снижению прочности конструкций и сокращению срока их службы. В данной статье рассмотрены механизмы кислотного разрушения бетона, основные виды кислотной коррозии и методы повышения стойкости бетонных конструкций.

Введение

Долговечность железобетонных сооружений во многом определяется их способностью противостоять воздействию окружающей среды. На предприятиях химической, пищевой, горнодобывающей промышленности, в канализационных сооружениях и очистных станциях бетонные конструкции часто контактируют с кислотными растворами различного происхождения.

Большинство кислот активно взаимодействует с компонентами цементного камня, вызывая растворение продуктов гидратации цемента и разрушение структуры материала. Интенсивность коррозии зависит от вида кислоты, её концентрации, температуры среды, времени воздействия и плотности бетона.

Химический состав бетона и его устойчивость к кислотам

Основными компонентами цементного камня являются:

- гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- гидросиликаты кальция (C-S-H-фазы);
- гидроалюминаты кальция;
- карбонат кальция CaCO_3 .

Бетон обладает высокой щелочностью ($\text{pH} = 12\text{--}13$), что обеспечивает защиту арматуры от коррозии. Однако именно наличие большого количества соединений кальция делает бетон уязвимым к воздействию кислот.

Механизм кислотного разрушения

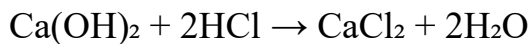
Процесс разрушения бетона под воздействием кислот включает несколько последовательных стадий:

1. Проникновение кислоты в поровую структуру

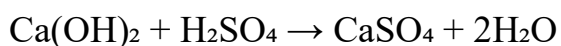
Кислотный раствор проникает в капилляры и поры бетона, достигая цементного камня.

2. Нейтрализация щелочной среды

Кислота вступает в реакцию с гидроксидом кальция:



или



В результате снижается щелочность бетона.

3. Растворение продуктов гидратации

После расходования гидроксида кальция начинается разрушение гидросиликатов кальция, которые обеспечивают основную прочность цементного камня.

4. Образование вторичных продуктов

Некоторые кислоты образуют труднорастворимые соли, вызывающие внутренние напряжения и растрескивание бетона.

Воздействие различных кислот

Серная кислота (H_2SO_4)

Серная кислота считается одной из наиболее опасных для бетона. В результате реакции образуются:

гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

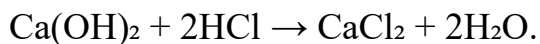
этtringит.

Образование этих соединений сопровождается увеличением объёма, что вызывает:

- расширение структуры;
- образование трещин;
- отслаивание поверхностных слоёв.

Соляная кислота (HCl)

Соляная кислота образует хорошо растворимый хлорид кальция:



Поскольку продукты реакции вымываются водой, разрушение протекает быстро и сопровождается постепенным растворением бетона.

Азотная кислота (HNO_3)

Продуктом взаимодействия является нитрат кальция, обладающий высокой растворимостью. Это приводит к интенсивному выщелачиванию цементного камня и снижению прочности конструкции.

Органические кислоты

Молочная, уксусная, лимонная и другие органические кислоты вызывают медленное, но устойчивое разрушение бетона. Особенно опасны они для сооружений пищевой промышленности и животноводческих комплексов.

Факторы, влияющие на скорость разрушения

Скорость кислотной коррозии зависит от следующих факторов:

- Концентрации кислоты.
- Значения pH среды.
- Температуры.
- Продолжительности контакта.
- Пористости и водопоглощения бетона.
- Минералогического состава цемента.
- Наличия защитных покрытий.

Повышение пористости бетона значительно ускоряет проникновение агрессивных растворов и развитие коррозионных процессов.

Признаки кислотного разрушения

К основным внешним признакам относятся:

- изменение цвета поверхности;
- размягчение цементного камня;
- образование трещин; шелушение и отслаивание поверхностных слоёв;
- снижение прочности;
- оголение и коррозия арматуры.

Методы защиты бетона

Для повышения стойкости бетонных конструкций применяются следующие методы:

Конструктивные меры

- уменьшение водоцементного отношения;
- повышение плотности бетона;
- использование воздухововлекающих добавок.

Применение специальных цементов

- сульфатостойкий портландцемент;
- пуццолановый цемент;
- шлакопортландцемент.

Использование минеральных добавок

- микрокремнезём;
- зола-унос;
- доменный гранулированный шлак.

Добавки уменьшают содержание свободного гидроксида кальция и повышают плотность структуры бетона.

Защитные покрытия

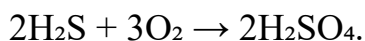
- эпоксидные покрытия;
- полимерные мембраны;
- кислотоупорные облицовки;
- пропитки на основе силикатов.

Заключение

Кислотная коррозия представляет собой один из наиболее опасных видов химического разрушения бетона. Воздействие кислот приводит к растворению цементного камня, снижению прочности и постепенной потере несущей способности конструкций. Эффективная защита бетонных сооружений требует комплексного подхода, включающего выбор стойких материалов, снижение проницаемости бетона и применение специальных защитных покрытий. Соблюдение этих требований позволяет существенно увеличить срок службы бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах. Примеры разрушения промышленных сооружений вследствие кислотной коррозии бетона

Разрушение сооружений очистки сточных вод

Одним из наиболее распространённых примеров кислотной коррозии являются железобетонные сооружения канализационных и очистных систем. В канализационных коллекторах и аэротенках происходит образование сероводорода (H_2S), который под воздействием серобактерий окисляется до серной кислоты:



Концентрация серной кислоты на поверхности бетона может достигать значений, при которых pH среды снижается до 1–2. В таких условиях

происходит интенсивное образование гипса и этtringита, вызывающих расширение структуры цементного камня.

Характерные повреждения:

- размягчение поверхностного слоя;
- отслаивание бетона толщиной до нескольких сантиметров;
- образование глубоких трещин;
- оголение и коррозия арматуры;
- снижение несущей способности конструкций.

На многих очистных сооружениях срок службы незащищённых железобетонных элементов сокращается с проектных 50 лет до 10–20 лет.

Разрушение резервуаров химической промышленности

На предприятиях по производству минеральных удобрений, кислот и химических реагентов железобетонные резервуары подвергаются воздействию серной, азотной и соляной кислот.

Например, при хранении растворов серной кислоты происходит постепенное разрушение защитного слоя бетона. В течение нескольких лет эксплуатации наблюдаются:

- потеря плотности поверхностного слоя;
- образование сетки трещин;
- снижение прочности бетона на 30–50 %;
- интенсивная коррозия арматуры.

В ряде случаев возникает необходимость полного вывода резервуара из эксплуатации и выполнения дорогостоящего капитального ремонта.

Повреждение бетонных полов предприятий пищевой промышленности

На молочных заводах, предприятиях по производству соков, винодельческих и пивоваренных предприятиях бетон подвергается воздействию органических кислот:

- молочной;
- уксусной;
- лимонной;
- винной.

Даже слабые органические кислоты при длительном воздействии вызывают растворение соединений кальция в цементном камне.

Наблюдаемые дефекты:

- появление шероховатости поверхности;
- потеря износостойкости;
- образование каверн;
- отслаивание верхнего слоя пола;
- образование пыления бетона.

В некоторых цехах необходимость ремонта бетонных полов возникает уже через 5–7 лет эксплуатации.

Разрушение сооружений горнодобывающей промышленности

В шахтах и на обогатительных фабриках бетонные конструкции подвергаются воздействию кислых шахтных вод, содержащих серную кислоту и сульфаты железа.

Кислые дренажные воды имеют показатель pH от 2 до 4 и вызывают:

- выщелачивание гидроксида кальция;
- образование гипса;
- образование этtringита;
- увеличение пористости бетона;
- снижение прочности на сжатие.

На ряде объектов глубина разрушения защитного слоя бетона достигает 20–40 мм за 10–15 лет эксплуатации.

Повреждение дымовых труб тепловых электростанций

Железобетонные дымовые трубы подвергаются воздействию конденсатов, содержащих серную и азотную кислоты, образующихся при охлаждении дымовых газов.

- Кислотный конденсат вызывает:
- разрушение внутренней футеровки;
- растрескивание бетона;
- потерю сцепления между слоями конструкции;
- ускоренную коррозию арматуры.

При отсутствии антикоррозионной защиты ремонт внутренней поверхности дымовых труб требуется уже через 8–15 лет эксплуатации.

Разрушение сооружений предприятий по производству удобрений

На предприятиях по производству фосфорной кислоты и минеральных удобрений бетонные конструкции работают в условиях постоянного воздействия кислотных паров и проливов реагентов.

Практика эксплуатации показывает следующие последствия:

- потеря массы бетона;
- снижение прочности более чем на 50 %;
- образование глубоких трещин;
- разрушение защитного слоя и коррозия арматуры.

В особо агрессивных условиях срок службы незащищённого бетона может сокращаться до 3–5 лет.

Выводы по промышленным объектам

Анализ эксплуатации промышленных сооружений показывает, что наиболее интенсивное кислотное разрушение наблюдается в:

- канализационных коллекторах и очистных сооружениях; резервуарах химических предприятий;
- предприятиях пищевой промышленности;
- горнодобывающих предприятиях;
- дымовых трубах и газоочистных установках;
- производствах минеральных удобрений.

Опыт эксплуатации промышленных объектов подтверждает, что отсутствие специальных мер защиты от кислотной коррозии приводит к значительному сокращению срока службы железобетонных конструкций и существенным затратам на ремонт и реконструкцию сооружений.