

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО
Естественно-географический факультет
Кафедра «Техносферная безопасность»

ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Курс лекций

Тирасполь, 2019

ББК
УДК

Составитель: Жужа Е.Д., канд. биол. наук, доцент каф. техносферной безопасности
ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ: Конспект лекций /. – Тирасполь,
2019. – 25 с.

Конспект лекций является вспомогательным материалом при изучении дисциплины
«Техническая оценка зданий и сооружений» для студентов направления обучения 20.03.01
«Техносферная безопасность». Материал сопровождается формулами и таблицей.

Лекция 1.

Мониторинг технического состояния зданий и сооружений; методы и средства проведения эксперимента.

1.1. Цели и задачи оценки технического состояния зданий и сооружений.

Оценка технического состояния зданий и сооружений предназначена для качественного и количественного представления показателей, характеризующих свойства и состояние объектов, изучения процессов, протекающих в конструкциях, основаниях и оборудовании, а также выявления фактических эксплуатационных свойств материалов, элементов конструкций и установления их соответствия техническим требованиям.

Обследование строительных конструкций и инженерного оборудования зданий и сооружений включает в себя методы контроля качества изготовления и монтажа элементов строительных конструкций и оборудования, обеспечивающие соответствие объекта проектным параметрам и действительной работе в процессе эксплуатации.

Изучение состояния эксплуатируемых конструкций выполняется теми же методами, которые используются при контроле качества их изготовления. Однако часто возникают ситуации, когда для эксплуатируемых объектов необходимо изучение реальных условий работы при воздействии внешних факторов. К подобной ситуации можно отнести, например, случай, когда необходимо оценить работоспособность конструктивной или инженерной системы с учетом отклонения ее параметров от расчетных значений.

Повышенные требования предъявляются к методам обследования при анализе причин аварий вследствие повреждения конструкций при монтаже и эксплуатации, а также катастроф – аварий, повлекших за собой человеческие жертвы. Проводимые оценки технического состояния зданий и сооружений позволяют выявить наиболее характерные дефекты и разработать рекомендации по уточнению методов расчета конструкций, повышению их надежности, совершенствованию конструктивных схем, технологии изготовления, монтажа и эксплуатации.

Здания и сооружения представляют собой системы, состоящие из большого числа элементов, работающих в условиях сложных напряженно-деформируемых состояний. Поведение строительных конструкций и инженерного оборудования характеризуется рядом *факторов*, носящих случайный характер. Это относится к прочностным характеристикам материалов, нагрузкам, действующим на элементы здания, воздействиям факторов окружающей среды. В процессе изготовления отдельных элементов, их транспортировки и монтажа возможны отклонения параметров конструкций от заданных значений. Поэтому для оценки технического состояния здания, сооружения или инженерных систем необходимо уметь прогнозировать возможность их дальнейшей эксплуатации с учетом взаимосвязей и случайного характера формирования свойств. Для этого требуется, кроме технической диагностики, умение выполнять оценку надежности объектов.

1.2. Развитие методов обследования и оценки технического состояния конструкций.

Одним из самых первых ученых в области строительства считается Гермоген, живший в Греции в II-III вв. до н.э. В III вв. до н.э. Архимед заложил основы статики.

Первые упоминания, связанные с изучением свойств материалов, содержатся в работах Леонардо да Винчи (1452-1519). В заметке «Испытания сопротивления железных проволок разных длин» приведен эскиз установки, содержащий элемент обратной связи. К растянутой проволоке была присоединена емкость, заполняемая песком. При обрыве проволоки отключалось питающее устройство. Им было предложено неоднократно проводить испытания на разрыв. Одновременно были проведены исследования на разных длинах проволок. Леонардо да Винчи впервые исследовал влияние величины пролета изгибаемых балок на их несущую способность.

В 1767 г. Дюгамель выполнял опыты с деревянными балочками. В одних образцах в верхней части до середины их высоты он сделал прорезы и заложил их деревянными прокладками. Другие образцы были без прорезы. В таком виде он нагружал те и другие образцы, доводя их до разрушения. Несущая способность балочек оказалась одинаковой. Из этого был сделан вывод, что в балках имеются растянутая и сжатая зоны. Если бы возникали только растягивающие напряжения, то прокладки выпали, а несущая способность образцов была бы разной.

Ш.О. Кулон (1736-1806) проводил опыты, связанные с изучением прочности песчаника, исследовал сжатие призм, изучая крутильные колебания.

П. Ван-Мусшенбрук (1784-1861) предложил ряд машин для проведения испытаний на растяжение, сжатие и изгиб.

Многочисленные опыты по изучению изгиба деревянных балок были проведены Ф. Дюпеном (1784-1873).

А. Дюло в начале XIX в. провел обширные испытания железных конструкций, в том числе на продольный изгиб. Он начал работу по изучению составных и двутавровых балок.

Двутавровая балка представляет собой изделие, которое имеет сечение, близкое по форме к букве Н; чаще бывает из низколегированной или углеродистой стали, но может быть и из дерева. Балка двутаврового профиля прочнее примерно в 7 раз и в 30 раз жестче балки квадратного профиля, имеющего аналогичную площадь сечения.

Т. Юнг (1773-1829) опытным путем установил изменение поперечных размеров образцов при сжатии материала, уточнил область применения закона Гука, ставил эксперименты по удару.

Г. Ламе (1795-1870) сконструировал испытательную машину для создания нагрузки с использованием гидравлического пресса.

Опыты по выявлению характера колебания пластин впервые были проведены Е. Хладии (1756-1827).

В первой половине XIX в. У. Фейрбейрном была сконструирована испытательная машина, позволившая ему вместе с И. Ходкинсоном проводить испытания чугунных образцов на сжатие, растяжение и изгиб, а также изучать прочность пластин из кованого железа и заклепочные соединения из таких пластин.

Ю. Вейсбах (1806-1871) во Фрейбургской горной академии организовал механическую лабораторию для испытания материалов на статические и динамические воздействия.

В 1821г., через 163 года после работ Галилея, А. Навье (1785-1836) доказал, что в изгибаемых элементах нейтральная ось проходит через центр тяжести поперечного сечения (НЕЙТРАЛЬНАЯ ОСЬ в сопротивлении материалов - линия пересечения плоскости поперечного сечения балки с нейтральным слоем: поверхностью, разделяющей при изгибе балки ее сжатую и растянутую зоны).

Проблему усталости материалов впервые поставил Ж.В. Понселс (1788-1867). Г. Джемсом и Г. Дальтоном была предложена машина для испытания на *выносливость*.

А. Веллер (1819-1914) исследовал *усталость материалов*, предложил прибор для статических испытаний на изгиб.

Круг научных интересов В. Вертгейма (1815-1861) был очень широк. Он изучал влияние температурных условий на значение модуля упругости стали, проводил испытания стекла, дерева для определения значения коэффициента Пуассона, заложил основы для создания методов фотоупругости. В дальнейшем в этом направлении работал Ф. Нейман, Д. Брюстер, О.Ж. Френель, Д.К. Максвелл (1831-1879). В работах Максвелла впервые была разработана техника оптического анализа напряжений в поляризованном свете.

Коэффициент Пуассона (обозначается как ν или μ) – величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению. Этот коэффициент зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлен образец. Коэффициент Пуассона и **модуль упругости Юнга** (E - сила, которую нужно приложить к телу, чтобы растянуть его вдвое) полностью характеризуют упругие свойства изотропного материала. **Безразмерен**, но может быть указан в относительных единицах: мм/мм, м/м.

Механическая анизотропия – степень упорядоченности, обусловленная неодинаковыми механическими свойствами материала по разным его направлениям.

В последней трети XIX в. организуется сеть специализированных лабораторий для испытания материалов и конструкций, разрабатываются новые типы испытательных машин и измерительной аппаратуры. Л. Вердер в 1875 г. создает машину, развивающую усилие 1000 кН; начинают использоваться гидравлические прессы Амслера-Лаффойе. Изучением устойчивости упругих систем занимались И. Баушингер, Л. Тетмайер и др.

Г.Р. Герц (1857-1894) изучал сжатие упругих тел, проводил опыты по взаимодействию соударяющихся тел.

В начале XX в. получают развитие теории разрушения хрупких материалов (А.А. Гриффитс, В. Вайбулл и др.), пластического деформирования материалов (Л. Прандтль, А. Надаи и др.), ползучести материалов при высоких температурах.

Значительный вклад в развитие экспериментального моделирования конструкций внес И.П. Кулибин (1735-1818). Для обоснования одного из своих проектов арочного моста пролетом 298,6 м он построил его физическую модель в масштабе 1:10 натуральной величины. После испытаний модель многие годы перекрывала один из каналов в Таврическом саду Петербурга.

В 1808 г. в Петербурге создается Институт инженеров путей сообщения, в стенах которого трудились Г. Ламе и Ю.П. Клапейрон. Г. Ламе сконструировал испытательную машину для изучения механических свойств железа.

В 1823 г. на механическом заводе была изготовлена самая мощная в Европе цепепробная машина для испытания цепей висячих мостов с разрывным усилием до 60 т.

Д.И. Журавский (1821-1891) изучал распределение касательных напряжений в сплошных и составных деревянных балках, исследовал работу балок коробчатого типа. В 1855 г. он предложил знаменитую формулу для вычисления касательных напряжений в балках.

- **Балка в технике** – Балка (от голл. balk) в технике, конструктивный элемент, обычно в виде бруса, работающий главным образом на изгиб. Б. широко применяют в строительстве и машиностроении: в конструкциях зданий, мостов, эстакад, транспортных средств, машин, станков... *Большая советская энциклопедия*
- **Балка (брус, ферма)** – брус, опирающийся на двух точках и нагруженный в направлении, перпендикулярном или наклонном к его длине. Б. бывают деревянные, чугунные и железные; первые имеют круглое или прямоугольное сечение, а металлические – Т-образное и коробчатое (пустотелое).

В 1847 г. при Лондонском университете Голкинсоном (1789-1861) была создана первая механическая лаборатория, которая занималась испытанием строительных материалов.

В России в 1853 г. П.И. Собко при Петербургском институте путей сообщения организовал механическую лабораторию.

В области изучения упругости А.Т. Купфер (1799-1865) – первый директор Центральной лаборатории весов и мер России – исследовал значение модуля сдвига, изучал крутильные колебания, влияние температуры на модуль упругости, провел многочисленные работы по изучению изгиба и колебаний балок.

М.Ф. Окатов (1829-1901) провел обстоятельные исследования коэффициента Пуассона.

Н.А. Белелюбский (1845-1922) предложил ввести в практику испытания материалов единые международные технические условия.

На основании анализа разрушения пролетных строений мостов с ездой понизу, не имеющих ветровых горизонтальных связей по верхнему поясу, Ф.С. Ясинский (1856-1899) разработал расчетную схему.

Первые испытания железобетонных конструкций (плит и арок) были проведены в 1886 г. немецкой строительной фирмой «Вайс». В тот же год в России первые испытания железобетонных конструкций проводились при строительстве Московской бойни. В 1891 г. Н.А. Белелюбский в значительном объеме провел испытания железобетонных плит, арок, труб, цилиндрических резервуаров.

В.Л. Каприевич (1845-1913) исследовал *усталостную прочность материалов*. В его работах рассматривались актуальные проблемы: теория подобия, оптическое изучение деформаций.

Накопление микрповреждений образно называют «усталостью», а **усталостная прочность** тогда есть способность **материала** не «уставать» и держать нагрузку.

Опыты по изучению скольжения грунта при передаче нагрузки через жесткий штамп выполнялись В.И. Курлюмовым (1853-1904).

В 1918 г. был организован Научно-экспериментальный институт путей сообщения, возглавляемый Н.С. Стрелецким. В стенах института работали многие известные ученые, определившие теории и практики обследования сооружений. А.Г. Гагарин сконструировал пресс

для испытания материалов. Н.Н. Максимов создал прогибомер, позволяющий измерять перемещение точек сооружений, расположенных на большой высоте. И.М. Рабинович развивал методы изучения воздействия динамических нагрузок на пролетные строения мостов. Г.А. Николаев основал школу сварки. Исследования прочности материалов и воздействий кратковременных импульсных нагрузок на сооружения проводил М.М. Филоненко-Бородач. Ю.А. Нилендер разработал методику испытания плотины ДнепроГЭС. Своими трудами он оказал существенное влияние на развитие *теории неразрушающих методов*.

Анализ последствий аварий и катастроф до настоящего времени не имеет строгой классификации. Тем не менее, в работах многих исследователей выполнены обобщение, анализ аварий, теоретические исследования, моделирование, и разрабатывались практические рекомендации по их предотвращению.

Практика показывает, что при оценке состояния и работы зданий и сооружений необходимо учитывать:

- условность статических расчетных схем и возможные отклонения вычисленных по ним усилий от действительного распределения их в конструкциях сооружений;
- условность применяемых расчетных характеристик материалов;
- возможные отклонения нагрузок от расчетных значений;
- случайный характер фактического влияния внешней среды.

Оценить влияние всего комплекса перечисленных факторов теоретическим путем часто бывает невозможно. В связи с этим особую значимость приобретают экспериментальные исследования материалов и конструкций зданий и сооружений.

Т.об., вопросы развития методов определения технического состояния конструкций не теряют своей актуальности, оставаясь достоверным способом оценки допущений, принимаемых в расчетах, влияющих на надежность зданий и сооружений.

1.3. Методы и средства оценки технического состояния и эксплуатационных качеств зданий и сооружений.

1.3.1. Наблюдение за трещинами.

Трещины в конструкциях являются внешними признаками их перегрузки и деформации. Трещины могут быть вызваны рядом причин, иметь разные последствия, поэтому они подразделяются на *опасные* и *неопасные*. При обнаружении трещин важно выяснить их причину и характер, установить, продолжается ли их развитие, или произошла стабилизация.

Мелкие трещины в виде сетки неправильного очертания и одинаковой ширины возникают вследствие некачественности цемента или неправильной температурно-влажностной обработки бетона при его твердении; они опасны с точки зрения раскрытия арматуры и доступа к ней агрессивной среды. Трещины образуются также в панелях из-за температурных воздействий.

Трещины в растянутой зоне армокаменных и железобетонных изгибаемых конструкциях, направленные перпендикулярно к ребру, обычно возникают вследствие перегрузки конструкции. Наклонные трещины на вертикальных гранях изгибаемых элементов у опор, затухающие к нейтральной оси, связаны с неправильным армированием хомутами и отгибами.

- **Хомут** – соединительные элементы (скобы), применяемые для крепления и герметизации соединения шлангов, патрубков и других жёстких и гибких трубопроводов. Обеспечивают надёжную герметизацию соединения. **Хомуты строительные** – это детали, которые могут иметь разную специфику и разное назначение: для соединения труб, для лесов, для сборки несущих элементов конструкций любого другого типа. Их изготавливают в России из металла и пластика.
- **Отгиб** – концевой отогнутый наклонно вверх к опорам участок арматурного стержня железобетонной балки или плиты, предназначенный для восприятия растягивающих напряжений по косым площадкам.

При осмотре трещин необходимо выявить их причину, определить характер (например, односторонняя или сквозная), время возникновения и т.д. При осадке фундаментов и других

конструкций трещины расширяются книзу, а при пучении оснований – кверху. При обследовании каменных конструкций особое внимание надо обращать на места опирания балок и прогонов, на состояние кладки в простенках, перемычках у водостоков, вдоль цоколей.

Важным средством в оценке состояния конструкций являются устанавливаемые маяки, позволяющие выявить качественную картину деформаций.

1.3.2. Деформация зданий и их конструкций.

Представление о напряженном состоянии конструкций можно получить путем изучения и измерения деформаций.

Деформации бывают различного характера – в виде параллельного смещения сечений конструкций, растяжения или сжатия. Они подразделяются на *местные*, когда происходят смещения или повороты в узлах и конструкциях, удлинение или сжатие элементов, и *общие*, когда перемещаются и деформируются отдельные конструкции и сооружения в целом.

Деформации могут быть *остаточные*, и *исчезающие* после снятия нагрузки. Поэтому для оценки состояния конструкций необходимо знать их геометрическую характеристику до нагружения, под нагрузкой и после ее снятия.

Для измерения местных деформаций – прогибов используются прогибомеры, а местных линейных (растяжение или сжатие) – тензометры.

Прогибомеры в зависимости от характера конструкций и требуемой точности измерений могут быть разных типов – от простейшего, в виде 2-х взаимно перемещаемых планок, одна из которых закреплена на конструкции, а другая – на неподвижной опоре, до приборов, основанных на схеме редуктора. Прогибомеры измеряют деформации с точностью до 0,001 мм.

Редукторы – вращательные механизмы, применяются в основном в промышленном строительстве. Основной элемент устройства – электромотор, это его привод, его двигательная часть. Работает все устройство на том, что регулярно заправляется консистентно-смазочной жидкостью.

Тензометры позволяют замерить линейные деформации на одной конструкции или взаимное перемещение 2-х смежных конструкций. Расстояние между 2-мя опорами тензометра называется его *базой*. В среднем база тензометра составляет 2-5 до 200 мм. Чтобы замерить малые деформации, применяют тензометры различных типов: механические (рычажные), оптические, электрические (по измерению сопротивления), акустические (по звучанию натянутой струны) и др.

Основной характеристикой *рычажных* тензометров является передаточное число, обеспечивающее увеличение масштаба измерения деформации.

Широко распространены *проволочные* тензометры, основанные на способности проводников менять электрическое сопротивление при растяжении или сжатии, благодаря чему по изменению сопротивления проводника можно судить об относительной деформации конструкций. Относительная деформация проводника тензометра прямо пропорциональна изменению электрического сопротивления и деформации конструкции:

$$\frac{\Delta R}{l} - \frac{\eta \cdot \Delta l}{R} = \eta \varepsilon,$$

где R и l – сопротивление и длина проводника до деформации; ΔR и Δl – изменение сопротивления и длины, вызванное деформацией; η – постоянная, характеризующая относительную чувствительность материала тензометра; для проволоки из нихрома константа $\eta = 3,5$; ε – относительная деформация проводника тензометра.

База проволочных датчиков составляет от 5 до 30 мм, а сопротивление изменяется в среднем от 50 до 400 Ом. При этом для увеличения номинального сопротивления датчики

выпускают изогнутыми или в виде решетки; в одном месте может быть установлено несколько датчиков.

Методика и средства замера деформаций. Деформации и перемещения конструкций и сооружений в целом называются *общими*, обычно они замеряются геодезическими инструментами. Сущность геодезического контроля деформаций заключается в периодической проверке положения отдельных точек сооружений, обозначенных закрепленными марками, по отношению к неподвижным знакам – реперам или центрам и в определении взаимных перемещений по вертикали и горизонтали.

Горизонтальные перемещения конструкций (марок) определяют с помощью *теодолита* *методом створов*, т.е. относительно створных линий, закрепленных на месте неподвижными знаками.

Теодолит – геодезический инструмент для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов; состоит из вращающегося вокруг вертикальной оси горизонтального круга (лимба) с алидадой, на подставки которой опирается горизонтальная ось вращения зрительной трубы и вертикального круга. Применяется при геодезических, астрономических, инженерных работах.

Вертикальные перемещения – осадки конструкций – определяют *методом геометрического нивелирования* по отношению к неподвижно закрепленным знакам.

В местах, неудобных для геометрического нивелирования, производят *гидростатическое нивелирование*, основанное на принципе сообщающихся сосудов.

Обычный нивелир имеет пределы визирования от 3м, поэтому его трудно использовать внутри помещений. Для измерения пределов визирования от 0,5 до 3 м используется специальная оптическая насадка, укрепляемая на объективе нивелира и перемещающаяся относительно исследуемого объекта. В комплект насадки входит измерительная рейка, состоящая из штока, по которому перемещается подсвечиваемая шкала.

Нивели́р (от фр. *Niveau* – уровень, нивелир) – геодезический инструмент для нивелирования, т.е. определения разности высот между несколькими точками земной поверхности.

Лекция 2. Неразрушающие методы испытаний.

2.1. Оценка технического состояния конструкций.

Для оценки фактического состояния конструкций необходимо определить их прочность, наличие и расположение арматуры, скрытые дефекты и т.д.

Нормами допускаются механические склерометрические испытания прочности поверхностного слоя бетона методом упругого отскока или пластических деформаций при помощи специальных молотков и маятниковых приборов различных систем. В случаях, когда надо проверить прочность внутренней части бетона, а также оценить однородность, плотность и другие свойства бетона и арматуры в конструкции, применяют *неразрушающие методы контроля*.

Механические испытания конструкций молотками и пистолетами основаны на методе пластических, упругопластических деформаций и упругого отскока: о прочности бетона судят или по величине отпечатка от удара на бетоне, или по соотношению размеров отпечатков на бетоне и на эталонном стержне, вставленном в молоток, или же по величине упругого отскока бойка. Механические склерометрические испытания каждой конструкции проводятся не менее чем на 10-12 участках, при этом две трети из них должны находиться в наиболее нагруженной зоне. Расстояние между лунками от ударов д.б. менее 30 мм, или для 10 измерений площадь участка конструкции должна составлять не менее 100 см².

Зависимость между прочностью бетона и твердостью его поверхности устанавливают опытным путем – построением тарировочных графиков для каждого состава бетона.

Приборы для механических испытаний делят на две группы: молотки и пистолеты. При использовании молотков замеряется отпечаток на бетоне (эталонный молоток Кашкарова, молотки Польди, Физделя, Шмидта, Ухтомстроа и др.); при использовании пистолетов фиксируется на шкале упругий отскок (пистолет ЦНИИСК, прибор ХПС).

Методы определения прочности материала конструкции: *акустический, радиометрический, магнитометрический и вибрационный*. Они основаны на зависимости скорости прохождения ультразвука, радиоволн, радиоактивных и других сигналов от упругих, упругопластических и структурных свойств материалов конструкций и их геометрических размеров.

Акустические и электронно-акустические методы контроля, к которым относятся ультразвуковой и ударный, позволяют с высокой точностью оценить однородность, прочность и ряд других свойств бетона в конструкциях без их разрушения. Электронно-акустические методы испытания материалов конструкций материалов основаны на зависимости скорости распространения упругих волн от плотности твердого тела. Продольные упругие волны (в которых частицы среды движутся в направлении распространения волны) распространяются с наибольшей скоростью. Прибор «ИПС-МГ4+» методом ударного импульса определяет прочность и однородность бетона. Методом отрыва со скалыванием определяет прочность бетона прибор «ПОС-МГ4 Отрыв». Для этих целей используют также прибор «ПОС-МГ4 Скол».

Ультразвуковой метод контроля бетона применяется при проверке конструкций толщиной от 5 до 15м, а ударный – конструкций значительной толщины и протяженностью до 100м. Принцип их действия основан на пропорциональной зависимости плотности материала конструкции и скорости распространения в ней УЗ волн. УЗ прибор «Пульсар» служит для определения прочности бетона, кирпича, осуществляет поиск дефектов (трещин, пустот), позволяет оценить пористость, трещиноватость, степень анизотропии и текстуру композитных материалов. Ударно-импульсные приборы «Оникс-2,4» и «Оникс-ОС» служат для определения прочности и однородности бетона.

Приборы для контроля качества бетона УЗ методом позволяют наблюдать процесс и измерять время распространения упругих колебаний в теле бетона. Обычно измерения производят в поперечном сечении конструкции, для чего излучатель и приемник импульсов устанавливают соосно с двух ее сторон. К УЗ относятся приборы АМ, ЛИМ-Б, УКБ-1 и др.

Радиометрический метод контроля основан на законах взаимодействия ядерных излучений с материалом конструкций. Он заключается в замере интенсивности прохождения γ -лучей в исследуемом материале в сравнении с ее интенсивностью в эталонных образцах. Гамма-лучи, обладающие значительной проникающей способностью, наиболее эффективно используются при обследовании, поскольку их энергия достигает десятков миллионов электрон-вольт (эВ). В состав аппаратуры для радиометрического контроля входят радиометр и счетчики радиоактивного излучения, используемые в качестве выносных элементов. С помощью этого метода оценивается плотность материала конструкции, и обнаруживаются в них дефекты.

Для определения расположения и сечения арматуры, а также толщины защитного слоя служат приборы, основанные на взаимодействии металла с электромагнитным полем, т.е. на измерении магнитной проницаемости или магнитного сопротивления.

«Поиск-2,3/2,4» и «ИПА-МГ4» – приборы для определения толщины защитного слоя, диаметра и расположения арматуры. Прибор ИСМ (измеритель сечения металла) состоит из двух генераторов высокой частоты, усилителя-ограничителя, второго ограничительного каскада, дифференцированного контура и индикатора. Принцип работы прибора основан на изменении частот генератора под действием металла на колебательный контур: при наличии под щупом металла стрелка прибора покажет наибольшее значение. К прибору приложены тарифовочные таблицы, с помощью которых по показаниям прибора определяют сечения металлических элементов.

Толщину защитного слоя и диаметр арматуры определяют аналогично прибором ИЗС-2. Для измерения напряжений и колебаний в элементах стержневой, проволочной и прядевой (канатной) арматуры применяют приборы «ИНК-2,3/2,3к», «ДО-МГ4» и «ЗИН-МГ4», основанные на том же принципе.

Вибрационный метод, в основе которого лежит явление механических колебаний твердых тел, позволяет определить главные характеристики, обуславливающие несущую способность и деформативность изгибаемых элементов: марку бетона, предельную разрушающую нагрузку, прогиб от нормативной нагрузки. Эти параметры определяются по частоте, амплитуде собственных колебаний конструкций и характеристике их затухания, поскольку известно, что

колебания с частотой, присущей данной системе, зависят от ее массы, размеров конструкции и характера опирания. Этот метод применяется главным образом на ДСК (домостроительный комбинат) при контроле изготовления отдельных конструкций. Прибором (виброметром) «Вист-2,3» определяют среднеквадратичное значение виброскорости, амплитуды и частоты колебаний виброустановок, используемых для изготовления железобетонных изделий, а также для измерения параметров вибрации (амплитуда виброперемещения – X^m , м; амплитуда колебательной скорости (виброскорости) – V^m , м/с; амплитуда колебательного ускорения (виброускорения) – a^m , м/с²; период колебаний – T , с; частота колебаний – f , Гц = 1/с).

Герметичность сборных, сборно-монолитных и монолитных зданий и сооружений определяется степенью воздухопроницаемости стыков, мест пропуска инженерных коммуникаций, а также самих конструкций. Воздухопроницаемость зависит от толщины строительных элементов, плотности материалов и качества работ по изготовлению конструкций, герметизации стыков.

Герметичность конструкций проверяется простейшими способами – на слух, на вид, на ощупь, а также инструментально с помощью приборов ИВС-2М, ДСКЗ-1.

Коэффициентом воздушной проницаемости i называется количество воздуха в единицах массы или объемных единицах (кг, м, м³), протекающее за 1 ч через 1 пог. м стыка (1 м² площади ограждения) при разности давлений по обе стороны ограждения равной 1 мм. вод. ст.

Наиболее уязвимыми местами в отношении герметичности ограждающих конструкций являются стыки между сборными элементами. Поэтому контроль и оценка их производятся в первую очередь в стыках панелей, оконных и дверных заполнений (определяется коэффициент воздухопроницаемости этих элементов).

Полученное при измерениях значение i сравнивают с нормативным или вычисленным по формулам СНИП; если оно больше нормативного, то герметичность стыка д.б. улучшена.

Коэффициент i связан с толщиной конструкции δ и фактическим сопротивлением воздухопроницанию $R^{\Phi}_{u.c.}$ зависимостью:

$$i_l = \delta / R^{\Phi}_{u.c.}$$

При этом $R^{\Phi}_{u.c.}$ должно быть больше $R^{mp}_{u.c.}$, определяемого по формуле:

$$R^{mp}_{u.c.} \geq 0,13v^2 R_0^{mp},$$

где v – расчетная скорость ветра (м/с), которая принимается по СНИП, но не менее 5 м/с; R_0^{mp} – требуемое сопротивление теплопередачи ограждения, м²·°С/Вт, вычисленное по формуле:

$$R_0^{mp} \geq \frac{1,1(t_e - t_n)n \cdot b \cdot R_e}{\Delta t^{norm}},$$

где t_e – расчетная температура внутреннего воздуха, °С; t_n – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С; n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху; b – коэффициент качества теплоизоляции ограждения; R_e – сопротивление тепловосприятию, м²·°С/Вт; Δt^{norm} – нормируемый температурный перепад между температурами внутреннего воздуха и внутренней поверхностью ограждения, °С; 1,1 – коэффициент учета теплопроводных включений в наружные стены и покрытия.

Фактическое значение показателя сопротивления конструкции или стыка воздухопроницанию определяется расходом воздуха в кг (л) при разности давлений по обе стороны ограждения 1мм вод. ст. по формуле:

$$t = \frac{17,316 - Q}{H \cdot \gamma_t},$$

где 17,316 – коэффициент прибора ИВС-2М или ДСКЗ-1; Q – расход воздуха, измеряемый прибором; γ_t – плотность воздуха при температуре испытаний, кг/м³; H – разрежение внутри камеры прибора, мм вод. ст.

Для повышения степени достоверности число измерений д.б. как можно большим.

Кроме проверки герметичности отдельных стыков или конструкций может производиться проверка герметичности помещений в целом, например, подвалов, убежищ и т.д.

Это осуществляется одним из 2-х методов:

- 1) замером падения давления в помещении от первоначального подпора до определенной величины, сравниваемой с проектной за установленное время;
- 2) замером расхода воздуха при поддержании постоянным заданного подпора.

При восстановлении герметичности стыков тиоколовыми герметиками, широко применяемыми на практике, производится проверка прочности сцепления (адгезии) герметика к бетону, толщины слоя герметика и относительного удлинения при разрыве. Для измерения прочности сцепления применяется прибор «ПСО-МГ4».

Тиоколовые (или полисульфидные) **герметики** – это герметики, созданные на основе жидких полисульфидных каучуков (тиоколов). Имеют двухкомпонентную структуру, после смешивания становятся твердыми в течение нескольких часов (или даже суток), дают усадку, имеют хорошую адгезию. Из всех видов герметиков, это самые прочные, эластичные и долговечные.

Лекция 3. Обследование и испытание конструкций зданий и сооружений.

3.1. Физико-механические параметры, определяемые магнитными и электромагнитными испытаниями.

Наиболее простым и надежным способом обнаружения трещин на поверхности материалов является магнитная порошковая дефектоскопия. Поверхность металлической конструкции очищают от окалины и коррозии пескоструйным аппаратом. Затем металл в месте испытания намагничивают (например, соленоидом). После нанесения порошка из металлов, обладающих высокой магнитной проницаемостью, в зоне дефекта возникают два магнитных полюса, которые обозначают дефект удерживанием магнитного порошка строго по контуру дефекта. Дефект, расположенный на большой глубине, очерчен менее контрастно, но достаточно четко для определения его местоположения.

Для контроля напряжений в материале конструкций используют зависимость между его магнитной проницаемостью и изменением напряжения.

Принцип работы трассоискателя ТПК-1 основан на обнаружении э/м поля, создаваемого вокруг обследуемой конструкции. Трассу силового кабеля, находящегося под напряжением, определяют без подключения генератора с использованием только приемного устройства. В остальных случаях подключают генератор переменного тока частотой 1000 ± 50 Гц. По изменению громкости звука в телефонах приемного устройства в зависимости от ориентации системы устанавливают направление и глубину залегания коммуникации. Положение щупа, при котором уровень звука в наушниках имеет наибольшую громкость, соответствует месту расположения оси подземного трубопровода, а при уровне звука, имеющего наименьшую громкость, – расстоянию, равному глубине заложения трубопровода.

3.2. Определение физического и морального износа.

Под **физическим износом** (материальным) подразумевается постепенная частичная или полная потеря зданием или его элементом с течением времени первоначальных качеств в результате воздействия природно-климатических факторов и жизнедеятельности человека, т.е. ухудшение эксплуатационных свойств и снижение стоимости. Физический износ зависит от срока службы основных фондов; качества материала; сырья, из которого изготовлено изделие (конструкция); интенсивности использования и технологических процессов; качества и своевременности проведения осмотров и ремонтов; квалификации рабочих; климатических условий и др. Интенсивность физического износа конструкции зависит от вида производства; нагрузок и условий содержания; воздействия природных факторов (температура, влажность и т.д.).

Моральный износ – это снижение восстановительной стоимости вследствие уменьшения затрат на воспроизводство или разница в стоимости здания в период возведения и в текущий момент (первая форма или первый род морального износа). Моральный износ зависит от научно-технического прогресса. Технологическое старение вызывает потребность в улучшении благоустройства и модернизации инженерного оснащения зданий (вторая форма или второй род морального износа). О моральном износе можно говорить в том случае, когда появляются более современные материалы, элементы благоустройства здания (или квартиры) или техническое

оборудование, которые повышают культурно- бытовой уровень проживающих и снижают затраты труда при эксплуатации здания. Появление эффективных строительных материалов, конструкций или более совершенных архитектурных и инженерных решений не приводят к «устареванию дома» и нецелесообразности его дальнейшего использования. Технический прогресс в области основных конструкций здания (фундаменты, стены, перекрытия, и лестницы и др.) имеет значение при их сооружении, но не обуславливает их морального износа. В жилых домах, находящихся в эксплуатации, эти конструкции не влияют непосредственно на уровень обслуживания жителей и на уровень труда, затрачиваемого на эксплуатацию зданий. Можно говорить о моральном износе тех элементов благоустройства, технического оборудования и частей здания, которые создают более благоприятные условия проживающим или облегчают труд персонала эксплуатационных служб; появление более современного оснащения санитарных узлов в квартирах, газовой и электроаппаратуры, горячего водоснабжения, терморегулирования отопления, внедрение труб и сантехоборудования из металлопластиковых материалов, использование более совершенных лакокрасочных покрытий, тепло- и звукоизолирующих отделочных материалов для перегородок, автоматического управления лифтами и т.д. Такое техническое оборудование, усовершенствованное, конструктивные элементы здания внедряются при проведении капитального ремонта, заменяя собой технически устаревшее, но вместе с тем и изношенное оборудование.

Т. об., модернизация дома и преодоление его морального износа будут происходить не за счет его капитальных конструкций, что потребовало бы специальных ассигнований, а за счет конструктивных элементов с более короткими сроками службы, которые при очередном капитальном ремонте будут восстанавливаться (заменяться) новыми, прогрессивными материалами и оборудованием.

Для первой формы морального износа обесценивание зданий рассчитывают по формуле:

$$C_m = M_I C_{пер}, \quad (3.1)$$

где C_m – стоимость морального износа первого рода, руб.; M_I – коэффициент, учитывающий отношение новой стоимости конструкций и инженерных систем к стоимости аналогичных старых зданий и инженерных систем; $C_{пер}$ – первоначальная стоимость зданий и инженерных систем, руб.

Для второй формы морального износа расходы на модернизацию здания $C_{мод}$ (улучшение планировки, конструктивных решений и инженерного оборудования) подсчитываются по формуле (3.1) или (3.2)

$$C_{мод} = C_{пер} K, \quad (3.2)$$

где K – показатель второй формы морального износа, определяется расчетом (по стоимости затрат на приведение здания к требованиям действующих нормативов);

$$C_{мод} = (\sum \Delta ИМ_2 - 100) / (100 - 0,5 \sum \Delta ИМ_2) C_{пер} / 100,$$

где $\Delta ИМ_2$ – показатели морального износа, зависящие от качества конструктивных частей здания и планировки квартир, отсутствие элементов инженерного оборудования и изношенности инженерных сетей.

Общая величина морального износа $C_{мор}$ определяется суммированием двух форм морального износа:

$$C_{мор} = C_m + C_{мод} = M_I C_{пер} + (\sum \Delta ИМ_2 - 100) / (100 - 0,5 \sum \Delta ИМ_2) C_{пер} / 100 = C_{пер} (ИМ_1 + ИМ_2) / 100, \quad (3.3)$$

где $ИМ_1$ и $ИМ_2$ – моральные износы соответственно первого и второго рода, %.

При капитальном ремонте зданий и сооружений устраняют и моральный, и физический износ. Нередко строительные конструктивные элементы и инженерные системы с малым износом требуют замены из-за их морального износа. Если моральный износ и физический износ совпадают, то это идеально, т.е. отношение физического износа к моральному равно единице.

Основные причины физического износа можно классифицировать так:

- долгосрочная эксплуатация строительных конструкций, приводящая к постепенной утрате их первоначальных характеристик и прочности;
- истираемость материалов, примененных в конструкциях и отделочных элементах здания;
- агрессивное воздействие внешней среды (эрозия и коррозия строительных материалов; размыв фундамента; неравномерная осадка и промерзание оснований; механические и

динамические воздействия; боковое давление ветра на стены и крыши; воздействие биологических факторов: грибки, бактерии, насекомые);

- воздействие стихийных бедствий (пожары, наводнения, ураганы, землетрясения и т.д.);

- ошибки в проекте (неправильно выбран материал наружных стен, герметиков и др.);

- дефекты возведения здания (неправильный уход за бетоном, качество кладки и др.);

- неудовлетворительная эксплуатация здания.

3.3. Оценка износа. Методы определения признаков износа отдельных конструктивных элементов.

Существуют 4 способа оценки физического износа: визуальный (*органолептический*), инструментальный, экспертный и расчетный.

Признаки износа чаще всего определяются *органолептическим* способом, в частности, визуальным: трещины, прогибы, деформации, отслоения и др.

Повреждения фундаментов и подвальных стен можно свести к трем основным видам:

- 1) нарушение до полного разрушения структуры материала, из которого выполнен фундамент или подвальные стены. Эти повреждения могут вызываться грунтовыми или поверхностными водами, поражением грибком, механическими повреждениями из-за аварии или неправильной эксплуатации здания;
- 2) трещины фундаментов и стен из-за местной перегрузки или ослабления основания, а также вследствие нарушения структуры материала;
- 3) боковой прогиб подвальных стен, вызванный односторонним давлением грунта или распором.

Повреждения стен или колонн:

- нарушение до полного разрушения структуры материала, из которого возведены стены. Эти повреждения возникают из-за стихийных бедствий, а также эрозии и коррозии, поражения грибком;

- отклонение стен от вертикали;

- трещины в стенах и колоннах. Причины их возникновения разнообразны: нахождение на грунтах разной несущей способности; неравномерная осадка стен из-за заложения фундаментов на разной глубине; трещины в межколонных простенках, возникающие из-за их перегрузки;

- боковой прогиб несущих стен надземной части, встречаемый значительно чаще, чем прогиб подвальных стен, особенно в зданиях, с распорными конструкциями перекрытий или крыши.

Повреждения перекрытий или сводов:

- прогиб вследствие перегрузки или частичной потери несущей способности. При ограниченных прогибах трещины на перекрытии не появляются, однако при дальнейшем прогибе может произойти обвал всего перекрытия. В железобетонных балках трещины могут возникнуть вследствие неправильного армирования в опорах.

Повреждение элементов отделки зданий являются наименее опасными. К ним относятся: боковой прогиб перегородки (выпучивание); повреждения внутренней и наружной штукатурки, слоя окраски стен и потолков (в виде трещин, отслоений и т.д.); повреждения столярных изделий, электросети, сантехнического оборудования, фактуры наружных стен и теплоизоляции внутреннего слоя в сборных конструкциях.

Экспертный способ оценки физического износа отдельных конструкций, элементов, систем или их участков предусматривает сравнение признаков физического износа, выявленных в результате визуального и инструментального обследования, с их значениями, приведенными в таблицах 1 – 71 данных ВСН 53-86 (ведомственные строительные нормы) «Правила оценки физического износа жилых зданий».

Лекция 4. Динамика сооружений.

4.1. Факторы, вызывающие коррозию материалов.

Коррозия – самопроизвольное разрушение твердых тел, вызванное химическими, электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой. Нередко коррозия отождествляется с износом.

Действие коррозии на строительные конструкции зависит от их материала и от агрессивности окружающей среды. По агрегатному состоянию агрессивная среда может быть газообразной, жидкой, твердой или многофазной. Примером многофазной агрессивной среды могут быть фундаменты зданий, которые контактируют с минерализованными грунтовыми водами, часто загрязненными промышленными стоками, заполняющими поры твердого вещества скелета грунта, растворяют газы, находящиеся в этих порах.

Коррозионные процессы более интенсивно протекают в жидкой агрессивной среде. По отношению к сухим материалам конструкций газообразная среда, содержащая газообразные пылевидные твердые частицы, неагрессивна. Однако поверхность элементов зданий всегда содержит адсорбированную из атмосферного воздуха влагу, в результате чего на ней образуется тончайший слой насыщенного раствора минеральных веществ, агрессивного по отношению к материалу строительных конструкций и инженерных систем.

Степень агрессивного воздействия среды на строительные конструкции характеризуется среднегодовой потерей прочности в зоне коррозии, а также скоростью разрушения материала.

Среднегодовую скорость разрушения поверхностного слоя материала и снижение его прочности в зоне коррозии определяют по данным натурных обследований в течение нескольких лет (не менее трех).

4.2. Коррозия каменных, бетонных и железобетонных конструкций.

По механизму протекания различают физическую, химическую и биологическую коррозию материала каменных конструкций. Вид коррозионных процессов зависит от местоположения конструктивного элемента и характера среды. Так, подземные конструкции могут подвергаться всем видам коррозии, надземные конструкции – преимущественно физической, реже – химической.

Наибольшее влияние на износ конструкций оказывает водная среда. Поскольку большинство конструкций зданий (фундаменты, стены, перегородки, перекрытия и элементы крыш) выполнены из искусственных каменных материалов с пористо-капиллярной структурой, при контакте с водой они интенсивно увлажняются.

В зависимости от вида связи с материалом различают химически связанную, адсорбционно-связанную, капиллярную и свободную влагу.

Свободная влага заполняет крупные пустоты и поры материала и удерживается в них гидростатическими силами. Эта влага легко удаляется из материала конструкции при высушивании.

В крупных порах и пустотах вода превращается в лед при температуре ниже 0°C , т.к. в ней растворены вещества, понижающие температуру замерзания. В капиллярах диаметром 10^{-5} см и менее вода замерзает при температуре ниже -25°C .

Влияние влаги на процесс разрушения конструкций неодинаково. В одних случаях она как поверхностно-активное вещество ускоряет разрушение, в других, являясь хорошим растворителем, действует в качестве химически активной агрессивной среды.

Наличие на поверхности и в теле каменных материалов пор, пустот, капилляров и микротрещин приводит к увеличению площади их удельной поверхности, что повышает возможность контакта конструкции со всеми видами влаги.

Молекулы воды обладают дипольными моментами. Они ориентируются в зоне действия силовых полей, образование которых связано с развитием микротрещин или дефектов кристаллических структур. Дипольная ориентация воды в адсорбционном слое повышает ее плотность и вязкость. В результате этого вода приобретает упругость, близкую к упругости материала конструкции. По мере сужения микротрещин упругость воды повышается, вследствие чего усиливается ее расклинивающее действие. Возрастание внутренних напряжений, вызванных расклинивающим действием влаги, приводит к значительному снижению прочности материала.

Толщина слоя *адсорбционно-связанной* воды примерно $1,5 \cdot 10^{-5}$ см; расклинивающее действие влаги возникает при толщине полимолекулярных пленок около $3 \cdot 10^{-5}$ см.

Силы капиллярного давления воды при заполнении пор и капилляров вызывают сложные напряжения в материале каменной конструкции. Растягивающие напряжения зависят от поверхностного натяжения:

$$P_e = (2\alpha/r)\cos\theta,$$

где α – коэффициент поверхностного натяжения воды, Н/м; r – радиус капилляра, м; θ – угол смачивания, град.

Эти напряжения вызывают снижение давления жидкости в капиллярах и возникновение напряжений сжатия и изгиба в материале стенок капилляра. В условиях эксплуатации указанное взаимодействие имеет более сложный характер, т.к. капилляры связаны между собой, однако принятое упрощение дает полное удовлетворительное представление о влиянии капиллярных сил на напряжения в материале, возникающие при его увлажнении. Например, пользуясь приведенной формулой, можно определить капиллярное давление при полном смачивании материала, имеющего капилляры со средним радиусом $r = 10^{-5}$ см, $P_e = 4,9 \cdot 10^6$ Па.

Разрушение каменных материалов связано с одновременным воздействием отрицательных температур и влаги. Замерзающая в порах и капиллярах вода увеличивается в объеме, вызывая значительные напряжения в материале конструкции. При естественном увлажнении в условиях эксплуатации вода в крупных порах и капиллярах поднимается на меньшую высоту, чем в мелких. Кроме того, вода из крупных пор перемещается в смежные мелкие, т.к. сила капиллярного отсоса в них больше.

При замерзании влаги свободные крупные поры служат резервным объемом для компенсации расширения влаги в мелких порах и капиллярах. В связи с этим крупнопористые материалы более морозостойки. При замораживании материала, поры которого полностью заполнены водой, могут возникнуть значительные напряжения, во много раз превосходящие прочность наиболее стойких материалов. Давление в порах при замерзании:

$$(QdT)/T = V_e dP_e - V_l dP_l,$$

где Q – скрытая теплота плавления льда, $3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг; T – абсолютная температура замерзания воды, -273 °С; V_e , V_l – удельный объем соответственно воды и льда, м³; dP_e , dP_l – давление соответственно воды и льда, Па.

Когда изменение давления воды и льда одинаковое, т.е. $dP_e = dP_l$, приведенная выше формула, примет следующий вид:

$$Q/T = (V_e - V_l)dP.$$

Если задать определенные значения температуры, можно вычислить то давление, которое оказывает замерзшая вода на материал конструкции. Подставив численные значения в формулу, получим:

$$(3,35 \cdot 10^5)/273 = (1 - 0,091) \cdot 10^{-5} dP,$$

где $1 \cdot 10^{-5}$ и $0,091 \cdot 10^{-5}$ – объем 1 кг воды и льда соответственно, м³.

По приведенной формуле можно определить, что при понижении температуры на 1 °С давление в порах материала каменной конструкции увеличится на $dP = 1,347 \cdot 10^7$ Па (135 кг/см^2). Следовательно, при понижении температуры до -20 °С в материале, поры которого полностью заполнены водой, напряжения, вызванные давлением льда, достигнут $2,7 \cdot 10^8$ Па (2700 кг/см^2). Когда вода свободно вытекает из пор, в которых образуется лед, ее давление равно нулю. Давление льда увеличивается с понижением температуры. Для этого случая расчетная формула примет вид:

$$(QdT)/T = -V_l dP.$$

При изменении температуры на $dT = 1$ °С давление увеличивается на $dP/dT = 1,13 \cdot 10^6$ Па ($11,3 \text{ кг/см}^2$).

Таким образом, при понижении температуры до -20 °С давление достигает $2,26 \cdot 10^7$ Па (226 кг/см^2). По-видимому, в реальных условиях механизм разрушения увлажненных материалов каменных конструкций при знакопеременных температурах отличен от описанного выше, однако усилия, возникающие при протекании этих процессов, соизмеримы с приведенными в расчетах.

На долговечность каменных конструкций, кроме упомянутых факторов, влияет также попеременное увлажнение и высыхание материала даже при отсутствии отрицательных

температур. При высыхании влага из конструкции испаряется сначала из крупных пор, а затем из более мелких пор капилляров. В абсолютно сухом воздухе капиллярная и адсорбционно связанная вода в течение некоторого времени может полностью испариться из тела конструкции. При этом на конструкцию перестают действовать расклинивающие силы, и как следствие, в материале возникают значительные напряжения усадки.

При увеличении относительной влажности окружающей воздушной среды материал вновь увлажняется, трещины раскрываются. Скорость разрушения каменных конструкций под действием напряжений, усадки и набухания зависит от интенсивности увлажнения и высыхания.

Одной из причин разрушения увлажненного каменного материала является осмотическое давление в порах конструкций. В порах и капиллярах вода образует растворы неодинаковой концентрации. В материалах каменных конструкций всегда есть расположенные рядом поры с растворами разной концентрации, разделенные проницаемыми для воды стенками и непроницаемыми для нерастворенного в ней вещества. Стремясь выровнять концентрацию, влага проходит через материал, разделяющий поры, из раствора меньшей концентрации в раствор большей концентрации. Если раствор, имеющий большую концентрацию, находится в замкнутом объеме, то в нем может возникнуть осмотическое давление, достигающее $1,5 \cdot 10^7$ Па (150 кг/см²).

Причиной физической коррозии каменных, бетонных, железобетонных конструкций м.б. отложение продуктов коррозии закладных металлических деталей, а также арматуры.

В воде, находящейся в порах и капиллярах каменных конструкций, находятся в растворенном состоянии вещества, составляющие материал конструкции. Наличие в воде гидроксидов кальция, натрия, калия и других металлов обуславливает ее высокую щелочность (рН=12-13). Стальная арматура и металлические детали подвергаются коррозии при рН<10, особенно интенсивно она протекает при рН<5, а при рН=14 практически прекращается, что связано с образованием на поверхности стали защитной пленки из нерастворимого гидроксида железа Fe(OH)₃ и других соединений.

Щелочность среды может уменьшиться вследствие карбонизации бетона (**карбонизация бетона** — процесс взаимодействия цементного камня с углекислым газом, приводящий к снижению щелочности жидкой фазы **бетона**; **карбонизация** является самой частой причиной разрушения **бетона**). В карбонизованном бетоне рН=9, что приводит к разрушению защитных пленок на металлических деталях железобетона и активизирует коррозию. Поэтому обязательным условием защиты закладных стальных деталей и арматуры железобетона является плотность защитного слоя бетона.

Т.об., интенсивность коррозии каменных конструкций зависит от структуры материала, степени и вида его увлажнения, а также от химического состава водной среды. Так, дождевая вода смывает со стен адсорбированные частицы и различные агрессивные вещества; влага-конденсат вступает с такими веществами во взаимодействие, образуя растворы кислот и щелочей, которые вызывают разрушение материала каменных конструкций. Повышенный конденсат возникает весной или осенью, когда температура наружного воздуха имеет знакопеременные значения. В этот период температура каменных наружных конструкций изменяется с некоторым отставанием от суточной температуры наружного воздуха (температурный гистерезис). Контакт воздушной среды с участками конструкций, имеющих более низкую температуру по сравнению с температурой наружного воздуха, приводит к выпадению конденсата на этих участках, особенно в углах зданий.

Скорость и характер разрушений каменных конструкций, как уже отмечалось, зависят от структуры пор материала. Долговечность кирпичных стен в значительной степени определяется технологией изготовления кирпича. Например, кирпич сухого прессования имеет сеть капилляров и пор, сообщающихся между собой и открытых на поверхности. Такой материал быстро насыщается влагой, ускоряющей его физическую коррозию. Кирпич пластического прессования имеет закрытые поры, поэтому медленнее насыщается влагой. Насыщение влагой каменных материалов в естественных условиях происходит значительно быстрее, чем высыхание.

При эксплуатации зданий следует обращать внимание на состояние тех конструктивных элементов, которые выполнены из материалов, имеющих разную плотность. Так, в конструкциях из песчаника и известняка в месте их контакта наблюдается ускоренное разрушение песчаника. Объясняется это тем, что известняк, как материал с более крупными порами, быстрее впитывает и отдает влагу плотному песчанику, имеющему мелкие поры. При этом количества влаги на границе

контакта этих двух материалов достаточно для того, чтобы все поры песчаника были полностью заполнены водой. Влага, поступающая из пор известняка, содержит растворенные соли, которые при испарении влаги кристаллизуются и создают большие поровые напряжения. Значительно большие напряжения возникают в мелкопористых материалах, контактирующих с крупнопористыми при замерзании в них влаги.

Аналогичные действия происходят в швах каменной кладки, если использовали раствор более плотного состава, чем материал кладки. В этом случае раствор в швах кладки быстро разрушается и выветривается. Одновременно разрушается и кирпич по кромкам в месте примыкания к раствору, т.к. на нем скапливается влага, не успевающая мигрировать в раствор.

Причиной разрушения каменных конструкций является также устройство на наружных стенах фасадов плотных штукатурок. Кирпичные стены, например, при нормальном режиме эксплуатации содержат 0,055-0,53 % влаги (по массе). Миграция происходит тем интенсивнее, чем больше перепад температур, при этом влага перемещается в сторону низких температур. Наличие плотной штукатурки приводит к скоплению влаги между штукатурным слоем и наружной гранью кирпичной кладки. При отрицательных температурах влага замерзает, возникают напряжения, разрушающие штукатурку и поверхностный слой каменной кладки. Кроме того, плотная цементная штукатурка создает значительные напряжения из-за разности линейных температурных расширений: линейные расширения кирпичной кладки примерно в 2 раза меньше линейных расширений цементного раствора; для кладки из шлакобетонных камней эта разница еще больше. При этом надо иметь в виду, что температура штукатурного слоя фасада всегда выше температуры слоя кладки, находящейся под штукатуркой.

Одним из видов физической коррозии каменных, бетонных и железобетонных конструкций является также растворение влагой и унос некоторых веществ из тела конструкций. К этому виду относится *коррозия выщелачивания*. Фильтрующиеся через конструкцию воды могут растворять и уносить находящийся в ее материале гидроксид кальция, снижая прочность материала.

Если наружные стены покрыты плотной штукатуркой из цементного раствора, то их воздухопроницаемость снижается в 20 раз. Коэффициент линейной усадки (набухания) материала штукатурки в 35 раз больше, чем кирпича. Кроме того, в этом случае создаются условия для интенсивного накопления влаги на границе кирпичная кладка – цементная штукатурка. Эти явления сопровождаются разрушением каменных и кирпичных кладок, при этом термическое сопротивление стен снижается.

Лучшими эксплуатационными параметрами обладают известково-песчаные растворы, штукатурки из которых имеют коэффициент воздухопроницаемости, почти совпадающий с таковым каменных кладок, а в некоторых случаях даже больше. Это создает благоприятные условия для беспрепятственного удаления мигрирующей влаги из материала кладки. Известковый раствор устойчив при знакопеременных температурах, т.к. коэффициенты его линейного температурного расширения и кирпичной кладки почти совпадают.

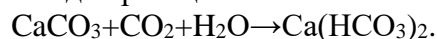
Химическая коррозия. Рассмотренные выше явления, вызывающие износ каменных конструкций, представляют опасность при воздействии на конструкции знакопеременных температур и интенсивной фильтрации пресной влаги через тело материала конструктивных элементов. Если скорость фильтрации соизмерима со скоростью испарения влаги, на поверхности конструкции может образоваться карбонатный слой в виде плотной оболочки. Накопление малорастворимых веществ у наружной поверхности происходит в результате растворения и уменьшения их во внутренних слоях. Первые 2 наружных слоя образуются вследствие адсорбции солей и их диффузии.

На начало разрушения каменных конструкций указывают появляющиеся на поверхности конструктивного элемента белые высолы, которые свидетельствуют о том, что в материале протекает растворение солей материала и вынос их наружу в сторону более низких температур.

Во многих случаях при отсутствии постоянного увлажнения карбонатная оболочка CaCO_3 является своего рода самозащитой каменных конструкций. В связи с этим не следует применять механическую очистку каменных конструкций без изучения их состояния и мер защиты. Такая очистка может ускорить процесс разрушения, т.к. вновь образовавшиеся (обнаженные после очистки) участки обладают значительной свободной поверхностной энергией, которая способствует активной сорбции веществ окружающей среды сначала наружным слоем, а затем и

объемом материала. Если в окружающей среде находятся агрессивно-активные компоненты, они вступают в химическое взаимодействие с веществами материала конструктивного элемента.

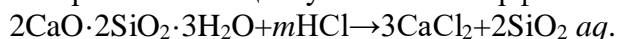
Опасны для каменных и бетонных конструкций воды, содержащие химически активные вещества. Наиболее распространенной коррозией бетонных и железобетонных конструкций является кислотная коррозия. На бетон разрушительно действует угольная кислота (H_2CO_3). Она в начальный период, взаимодействуя с гидроксидом кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), образует нерастворимую соль CaCO_3 и воду, в которой ионы H^+ , HCO_3^{2-} , находятся в равновесии. При увеличении диоксида углерода сверх равновесного, происходит реакция:



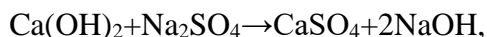
Карбонатная оболочка CaCO_3 растворяется, а образующийся дикарбонат кальция легко вымывается водой.

Бетонные конструкции активно взаимодействуют с органическими кислотами: уксусной, олеиновой, молочной и др. Действие олеиновой к-ты, например, сопровождается разрушением бетона вследствие интенсивного взаимодействия кислоты с гидроксидом кальция. Аналогично разрушают бетонные и железобетонные конструкции стеариновая, пальметиновая и другие кислоты жирного ряда, а также растворы глицерина.

Бетонные конструкции интенсивно разрушаются под действием некоторых солей, например, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$, NH_4SO_4 , FeCl_3 , которые, взаимодействуя с водой, образуют сильные кислоты, разлагающие материал на кальциевую соль и аморфные массы:

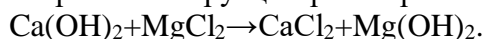


Сульфоалюминатная коррозия бетона и железобетона опасна при наличии в водном растворе, контактирующем с материалом конструкций, 250-1000 мг/л сульфатных ионов SO_4^{2-} . При большем их содержании коррозия переходит в сульфатно-гипсовую. Сульфоалюминатная коррозия протекает при наличии в воде сульфатов кальция, магния, натрия, которые вступают во взаимодействие с составляющим цементного камня. Полученное в результате этой реакции вещество увеличивает объем твердой фазы в 2,5 раза, что вызывает разрушение материала. Если в воде содержатся сульфаты натрия, то сначала они взаимодействуют с гидроксидом кальция по схеме:



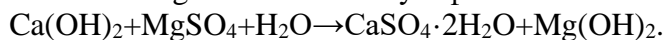
а затем реакция протекает по механизму сульфоалюминатной коррозии.

Чисто *магнезиальная* коррозия бетонных и железобетонных конструкций происходит при действии на материал конструкций растворимых солей магния:



Гидроксид магния мало растворим в воде, поэтому такая реакция идет, пока полностью не израсходуется гидроксид кальция. Под действием солей магния возможно также разложение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция.

Сульфат магния MgSO_4 вызывает сульфатно-магнезиальную коррозию:



Образование рыхлого гидроксида магния и кристаллов гипса приводит к разрушению материала под действием значительных пороговых напряжений, вызванных вновь образованными веществами, объем которых больше размера пор.

На бетон агрессивно действуют растворы хлорида кальция. Все хлориды, накапливающиеся в железобетонных конструкциях, ускоряют коррозию арматуры и закладных деталей.

Закладные материалы – это стальные детали в металлоконструкциях, предназначенные для соединения их между собой.

При применении щебня из горных пород, содержащих аморфный кремнезем, в качестве заполнителя для бетонов они могут разрушаться, если в материале бетона есть повышенные концентрации соединений щелочных металлов – натрия и калия.

При гидратации цемента щелочные соединения подвергаются гидролизу, образуя в водном растворе гидроксиды натрия и калия. При контакте этих растворов с аморфным кремнеземом образуются гидросиликаты натрия типа $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \text{aq}$. В дальнейшем из-за процессов осмоса в микрообъемах цементного камня бетона возникают внутренние давления, разрушающие скелет бетона. Интенсивность коррозионного процесса зависит от количества аморфного кремнезема и от размера зерен заполнителя, в котором он содержится.

4.3. Коррозия конструкций из силикатных материалов.

Силикатные материалы представляют собой соли кремневых или поликремневых кислот, алюмосиликаты, кальциевые силикаты или чистый кремнезем с примесями других соединений. Скорость коррозии конструкций из силикатных материалов, как и других каменных конструкций, зависит от ряда факторов: химического и минералогического составов, характера и пористости (открытые или закрытые), тип структуры материала (аморфная или кристаллическая), характера агрессивной среды и концентрации химически активных веществ и др.

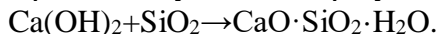
Разрушение пористых силикатных конструкций при наличии сообщающихся пор происходит не только на поверхности, но и в толще материала. В замкнутых, не сообщающихся друг с другом порах (например, в красном кирпиче мокрого прессования) разрушительное влияние агрессивных сред проявляется в более ограниченном объеме, чем в открытых порах.

При кристаллической структуре материала силикатных конструкций коррозия протекает медленнее, чем при аморфной. Интенсивное разрушение силикатных материалов происходит во всех случаях, когда для изготовления конструкций применяется аморфный кремнезем. Механизм разрушения силикатных конструкций при действии на аморфный кремнезем щелочей аналогичен рассмотренному ранее.

Коррозионная стойкость конструкций из *силикатного кирпича* определяется в основном свойствами входящих в состав материала конструкций веществ, главным образом, извести, обладающей невысокой стойкостью к кислым агрессивным средам. Только в разбавленных растворах щелочей силикатный кирпич достаточно устойчив.

Механизм коррозии силикатного кирпича в солевых растворах объясняется осаждением в порах материала кристаллов, которые, увеличиваясь в объеме, создают растягивающие усилия, приводящие к его разрушению.

Коррозия силикатного кирпича и силикатных изделий. Силикатный кирпич и изделия из силиката представляют собой гидросиликат кальция, который является продуктом автоклавной обработки материала, получаемого в результате взаимодействия извести и кремнезема:



При дальнейшем твердении на воздухе изделия из гидросиликата кальция под воздействием диоксида углерода карбонизируются. Присутствие в силикатных изделиях извести и углекислого кальция делает конструкции, изготовленные из силикатного кирпича и блоков, нестойкими даже против слабых водных растворов минеральных и органических кислот. Силикатные конструкции стойки по отношению к щелочным агрессивным средам. Вследствие наличия в воздухе и грунтовой воде веществ (оксидов, газов), образующих растворы кислот, во влажной среде силикатные изделия быстро разрушаются.

4.4. Коррозия строительных конструкций из минеральных строительных материалов.

Минеральные материалы отличаются от металлов строением составляющих их веществ. Они имеют молекулярную структуру преимущественно с ионными связями. Это обуславливает их относительно легкую реакцию с водой, вследствие чего образуются ионные растворы. Химические свойства материалов характеризуются их способностью к химическим превращениям под влиянием вещества, с которым данный материал находится в контакте. Стойкость неорганических материалов в кислых и щелочных средах характеризуется модулем основности M_0 , который определяется из выражения:

$$M_0 = [\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O}(\text{K}_2\text{O})] / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3),$$

где CaO, MgO, Na₂O, K₂O, SiO₂, Al₂O₃ – содержание оксидов металлов в составе данного материала, %.

Если преобладает диоксид кремния (кремнезем), то материал стоек по отношению к кислотам, но взаимодействует с основными оксидами; если преобладают основные оксиды, то конструкция из данного вида материала нестойка к действию кислых агрессивных сред, но в щелочных средах не разрушается.

Важной особенностью большинства минеральных материалов является их незначительная пористость, которая увеличивает капиллярный подсос и фильтрацию влаги, приводит к

увлажнению материала конструкции вследствие конденсации водяных паров, а также интенсивному взаимодействию с жидкой агрессивной средой.

Глиняный кирпич разрушается под действием щелочей, водных растворов органических и минеральных кислот, а также многих солей. Конструкции из глиняного кирпича устойчивы в слабых кислотах и кислых газах. Из всех сортов глиняного кирпича наиболее устойчив к агрессивным средам плотный клинкерный кирпич.

Клинкерный кирпич — экологически чистый строительный и отделочный материал, который производится из специального вида глины. В процессе изготовления она обжигается до полного запекания (при температуре около 1200 °С), что придаёт данным **кирпичам** различные оттенки. Одной из особенностей **клинкерных кирпичей** является высокая прочность, низкая водопоглощаемость.

Конструкции из *шлакобетонных камней и материалов* неустойчивы к действию кислых агрессивных сред и мало устойчивы к действию влажной среды и растворов щелочей (за исключением слабо концентрированных). Слабо устойчивы к попеременному увлажнению и замораживанию.

Минеральные материалы условно делят на 3 группы в зависимости от поведения в агрессивных средах.

К *первой* группе относятся бетон и железобетон на портландцементе (**Портландцемент** — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем совместного помола цементного клинкера, гипса и добавок, в составе которого преобладают силикаты кальция (70-80 %). Название получил по имени острова **Портленд** (Portland) в **Англии**, т.к. получаемый с его добавками искусственный камень (**бетон**) по цвету похож на добываемый там природный камень.

Основой портландцемента являются силикаты (**алит и белит**) и его производных, растворы для кладки и штукатурки, асбестоцементные изделия, силикатный кирпич и блоки, а также природный известняк и доломит.

Доломит — минерал из класса карбонатов химического состава $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$; **доломитом** называют также осадочную карбонатную горную породу, состоящую из минерала **доломита** на 95 % и более. Получил название в честь французского инженера и геолога Деода де Доломье (1750—1801), описавшего признаки...

Эти материалы содержат гидраты или карбонаты кальция и магния, имеют модуль основности больше единицы, а поэтому обладают высокой щелочестойкостью и низкой кислотостойкостью.

Ко *второй* группе относятся бетоны на жидком стекле с кремнефтористым натрием, а также кислые природные каменные материалы, состоящие преимущественно из кремнезема, различных солей кремниевых и поликремниевых кислот, алюмосиликатов и др. Модуль основности этих материалов меньше единицы, и они имеют высокую кислотостойкость и низкую щелочестойкость. Плотные и прочные кислые вулканические породы (кварц, гранит, диабаз, базальт, керамзит и др.) отличаются высокой стойкостью не только к кислотам, но и к щелочным агрессивным средам при нормальной температуре.

К *третьей* группе относятся изделия из обожженной глины (кирпич, керамические плитки, трубы и т.д.), которые имеют очень высокую кислотостойкость.

4.5. Коррозия природных каменных материалов.

Кроме того, что устойчивость природных и искусственных каменных материалов главным образом определяется модулем основности, вместе с тем коррозионная стойкость природных каменных материалов зависит от свойств горных пород, из которых они получены. Вулканические породы отличаются высокой кислото- и щелочестойкостью. Важнейшие из них используют в строительных конструкциях: гранит, сиснит, диорит, габбро, порфиры, диабаз, базальт, андезит. Эти материалы применяют в основном в виде блоков для отделки ответственных сооружений и уникальных зданий, а также в качестве щебня для бетона, при устройстве фундаментов, стен, перекрытий и др.

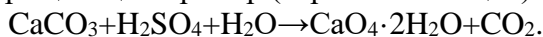
Осадочные породы отличаются высокой коррозионной стойкостью. Среди них можно назвать: песчаники, состоящие из зерен кварцевого песка, сцементированного карбонатом кальция, кремнеземом, гипсом, оксидами железа, глинистыми материалами; известняки, состоящие из кальцита. Песчаники и плотные известняки используют в виде плит и фасонных деталей для облицовки стен, изготовления лестничных проступей, подоконников. Пористые

известняки и известняк-ракушечник с плотностью 1500-2000 кг/м³ и прочностью на сжатие $2,5 \cdot 10^6$ - $13,5 \cdot 10^6$ Па применяют для наружных облицовок, а также для получения щебня.

К осадочным породам относятся также мраморовидные известняки, доломиты, гипс и травертин (известковый туф, поликристаллическая хрупкая тонкозернистая гомогенная горная порода, образованная минералами карбоната кальция (в основном арагонит с меньшей долей кальцита), известковые отложения углекислых источников. Поддается шлифованию и полировке). Травертин применяют в основном для облицовки внутренних стен и потолков. Конструкции из известняков менее кислотостойки, если в качестве материала в них применен обычный известняк CaCO₃ или магнезит MgCO₃. Несколько более кислотостойки конструкции из доломитов и плотных кремнистых известняков. Гипсовый камень CaSO₄·2H₂O и ангидрид CaSO₄ легко поддаются коррозионному разрушению под действием кислот; эти материалы растворимы в воде, поэтому их используют в элементах, эксплуатирующихся только внутри помещений.

Из метаморфических горных пород наиболее распространены в строительных конструкциях известняковые песчаники, гнейс, кварциты и мрамор. Известняковые песчаники, сцементированные оксидом кремния, SiO₂ или SiO₂·nH₂O, весьма кислотостойки и достаточно щелочестойки. Железистые песчаники, скрепленные гидратированными железа, некоррозионностойки.

Мрамор применяют в качестве облицовочного материала. Он корродирует с сернистыми газами и влагой. Вначале на поверхности мрамора образуется сернистая (H₂SO₃), а затем серная кислота, превращающая мрамор (карбонат кальция) в растворимый гипсовый камень:



Особенность химической коррозии конструкций из природных каменных материалов заключается в том, что она зависит от химической стойкости по отношению к агрессивной среде. Агрессивная среда характеризуется модулем основности M_o, определяемым из выражения:

$$M_o = \{(\% \text{CaO} + \% \text{Mg} + \% \text{Na}_2\text{O})(\text{K}_2\text{O})\} / (\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3).$$

Преобладание в материале конструкции диоксида кремния повышает стойкость к действию кислот, но делает его недостаточно стойким к основным оксидам. И наоборот, если в составе материала преобладают основные оксиды, он устойчив к действию щелочей и недостаточно устойчив к действию кислот (табл. 4.1.).

Таблица 4.1.

Стойкость некоторых строительных материалов к агрессивным воздействиям

Материал	Модуль основности	Стойкость в среде
Природный камень, содержащий 95-96 % SiO ₂	<1/4	Устойчив в кислой среде, кроме плавиковой кислоты, неустойчив к основным оксидам
Природный камень, содержащий CaO и CaCO ₃	3/2	Неустойчив в кислой среде, устойчив в щелочной
Жидкое стекло	4-1/2	С кварцевым песком образует кислотоупорную массу, неустойчивую в щелочной среде

Естественные каменные материалы, подвергаясь длительному воздействию климатических и других природных факторов среды, в которой находится конструкция, испытывает многократное увлажнение и высыхание, замерзание и оттаивание. Величина и характер напряжений, возникающих в результате этих воздействий, аналогичны рассмотренным выше. При этом степень воздействия зависит от размера поверхности, контактирующей с материалом. Чем больше внешняя и внутренняя площадь поверхности (поры, микротрещины, каверны) и чем менее устойчив материал конструкции в данной среде, тем интенсивнее процесс коррозии.

Конструкции из карбонатных пород – известняков, доломитов, мрамора – относительно быстрее корродируют, чем силикатные материалы, т.к. в атмосферной среде преимущественно содержатся кислые примеси.

4.6. Коррозия конструкции из глиняного кирпича и керамических изделий.

Уже отмечалось, что керамические изделия и глиняный кирпич устойчивы к кислотам, но обыкновенный глиняный кирпич нестойк против действия водных растворов щелочей. Кирпичные стены часто разрушаются под действием кристаллогидратов, образующихся в материале стен из р-ра солей, особенно сульфатов натрия и магния.

Разрушение кирпичных стен может происходить при периодическом увлажнении и высыхании, поэтому конструкции из кирпича наиболее интенсивно подвергаются химической и физической коррозии в систематически увлажняемых местах (фундаменты, стены подвалов, стены и перегородки влажных помещений, карнизы, сандрики и другие элементы зданий, незащищенные от попадания влаги из атмосферных осадков).

Сандрик – декоративный архитектурный элемент в виде небольшого карниза. Сандрик располагается над окном или дверью.

Керамическая плитка, содержащая алюмосиликаты, стойка против действия органических и минеральных кислот (кроме плавиковой: HF/водный р-р фтороводорода/). Хорошей щелочестойкостью отличаются плитки с плотным, хорошо обожженным черепком. Для придания керамическим изделиям устойчивости по отношению к агрессивным средам их изготавливают с добавкой соответствующих материалов. Например, кислотоупорные изделия готовят из тугоплавких и огнеупорных основных и полукислых глин высокой и средней пластичности.

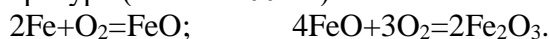
4.7. Коррозия металлических конструкций.

Металлические конструкции и арматура в бетоне подвергаются значительной коррозии вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой.

Коррозия металлов – это разрушение их вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой. По характеру разрушения различают *общую* и *местную* коррозию металла. Если на поверхности конструкции образуется равномерная коррозионная пленка, то поверхность становится микроскопически шероховатой, но макроскопически ровной с небольшими углублениями. Более опасна коррозия, поражающая отдельные участки поверхности, в результате которой образуются язвенные углубления, а также коррозия небольших по размеру участков, проникающая в глубь материала. Такой тип коррозии наблюдается на металлических элементах, эксплуатирующихся в сильно загрязненной примесями воздушной среде города (стальная кровля, открытые металлоконструкции зданий, балконные балки и др.). Образующаяся при неполном сгорании углерода копоть и частицы пыли адсорбируются на поверхности конструкции и вызывают усиленную конденсацию водяных паров, которые формируются в виде капель электролита. Возникающий процесс электрохимической коррозии сопровождается образованием местных очагов – язв. То же самое происходит на поверхности конструкции, соприкасающейся с электролитом, в котором растворено разное количество кислорода.

Значительную опасность вызывает коррозия на границах блоков кристаллов, т.к. конструкция может разрушиться без видимых изменений.

Химическая коррозия. Примерами такого вида коррозии являются реакции, протекающие при соприкосновении металлоконструкций с кислородом или другим окисляющими газами при высокой температуре (свыше 100 °С):



Металлы менее активны по отношению к кислороду при высоких температурах, чем при низких. При нагревании оксида металла до определенной температуры происходит его диссоциация (разложение). Оксид образуется на поверхности металлоконструкций, если давление диссоциации меньше, чем давление кислорода в окружающей среде. У оксида железа FeO давление диссоциации очень мало даже при температуре 2000 °С, поэтому окисление стальных конструкций происходит и при более высоких температурах. Аналогично ведут себя алюминиевые, медные, никелевые конструкции.

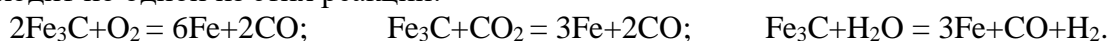
Если в результате химической коррозии образуется сплошная оксидная пленка, имеющая достаточно прочную адгезию с поверхностью металлоконструкции, то доступ кислорода к металлу затрудняется, коррозия замедляется, а затем и совсем прекращается. Пористая, плохо связанная с поверхностью конструкции оксидная пленка не защищает металл от коррозии. Когда объем оксида больше объема вступившего в реакцию окисления металла и оксид имеет

достаточную адгезию с поверхностью металлоконструкции, такая пленка хорошо защищает металл от дальнейшего разрушения. Толщина защитной пленки оксида колеблется от нескольких молекулярных слоев $(5-10) \cdot 10^{-5}$ м до нескольких микронов.

Толщина оксидной пленки увеличивается только в том случае, если через нее диффундирует кислород. Если ионы металла и принадлежащие им электроны диффундируют из металла через оксидную пленку намного быстрее, чем кислород, то толщина оксидной пленки увеличивается над границей газа и оксида.

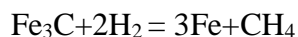
Обычно в условиях эксплуатации наблюдается именно такой механизм роста оксидной пленки металла, т.к. размер ионов самого металла меньше молекул кислорода. Окисление материала металлоконструкций, соприкасающихся с газовой средой, происходит в котлах, дымовых трубах котельных, водонагревателях, работающих на газовом топливе, теплообменниках, работающих на жидком и твердом топливе. Если бы газообразная среда не содержала диоксида серы или других агрессивных примесей, а взаимодействие металлоконструкций со средой происходило при постоянной температуре по всей плоскости конструкции, то относительно толстая оксидная пленка служила бы достаточно хорошей защитой от дальнейшей коррозии. В действительности распределение температуры по поверхности и объему металла неодинаково, особенно в чугунных котлах, работающих на газовом топливе. В связи с тем, что тепловое расширение металла и оксида различно, оксидная пленка отслаивается местами, что создает условия для дальнейшей коррозии. При взаимодействии со стальной конструкцией диоксида серы, содержащегося в продуктах горения топлива, образуется сульфид железа, который при высокой температуре разлагается и окисляет металл. Вторичный оксид железа, который сопровождает этот процесс, более пористый и не защищает металл от дальнейшей коррозии. Коррозия металла ускоряется диоксидом углерода.

Интенсивность газовой коррозии зависит от свойств и скорости движения газов или воздушной среды, их температуры, равномерности нагрева материала конструкции и др. Для сплавов значительное влияние на скорость коррозии оказывает разница в интенсивности окисления различных компонентов. При нагревании стальных конструкций в результате контакта их с газообразной средой, содержащей кислород, диоксид углерода или водяные пары, окисление происходит по одной из этих реакций:



Содержание углерода в поверхностном слое конструкции уменьшается, и сталь превращается в мягкое железо – обезуглероживается. Так как углерод в стали диффундирует быстрее, чем ионы металла, из сплава на поверхность выходят все новые и новые атомы углерода, которые окисляются до оксида углерода. Вследствие этого сталь приобретает свойство текучести, и конструкции сильно деформируются, а затем разрушаются.

Газовая коррозия стальных конструкций может протекать вследствие не только окислительных, но и восстановительных процессов. При сильном нагреве стальных конструкций под высоким давлением в среде, содержащей водород, водород диффундирует в объем стали и разрушает материал по двойному механизму – обезуглероживания стали из-за взаимодействия водорода с углеродом:

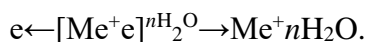


И придания стали свойств хрупкости вследствие растворения в ней водорода – «водородная хрупкость».

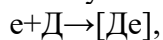
Электрохимическая коррозия. При контакте с воздухом на поверхности конструкции появляется тонкая пленка влаги, в которой растворяются примеси, находящиеся в воздухе, например, диоксид углерода. При этом образуются растворы, вызывающие электрохимическую коррозию.

Электрохимическая коррозия протекает на поверхности металлов под действием электрических токов, то есть происходят **окислительно-восстановительные химические реакции**, характеризующиеся отдачей электронов и их переносом, так как образуются катодные и анодные участки. Образованию катодов и анодов способствуют химическая неоднородность металлов (примеси и включения), наличие участков остаточной деформации, неоднородность покрывающих металл защитных плёнок, анизотропность материала и т.д. Наиболее часто в образовании данного вида разрушения металла участвуют не один фактор, а несколько. Когда металл начинает корродировать, он превращается в многоэлектронный гальванический элемент. На анодных

участках протекает анодный процесс – в раствор переходят ионы металла (Me), а избыточные электроны (e), оставаясь в металле, движутся к катодному участку. Схема этого процесса:



На катодных участках поверхности металла избыточные электроны поглощаются ионами, атомами или молекулами электролита (деполяризаторами), которые восстанавливаются:



где Д – деполяризатор; e – электрон.

Интенсивность коррозионного электрохимического процесса зависит от скорости анодной реакции, при которой ион металла переходит из кристаллической решетки в раствор электролита, и катодной, заключающейся в ассимиляции освобождающихся при анодной реакции электронов. Возможность перехода иона металла в электролит определяется силой связи с электронами в междоузлиях кристаллической решетки. Чем сильнее связь между электронами и атомами, тем труднее вызвать переход иона металла в электролит.

Лекция 5. Особенности определения напряжений и давлений в грунтах.

5.1. Определение свойств оснований под фундаменты.

Для определения допустимых давлений на основание, возможные сдвиги, просадки кранов применяют *полевые методы* испытания грунтов.

Испытания грунта штампом. Штамп представляет собой жесткую недеформированную плиту размером 50×50, 71×71 или 100×100 см. Давление создается гидравлическим домкратом, расположенном на штампе. Давление на штамп передается от домкрата противогрузом, установленным на специальные стеллажи. При испытании изменяют нагрузку ступенями по $(0,25-1) \cdot 10^5$ Па с выдержкой между очередными нагрузками 15-30 мин. По данным испытаний строят графики приращений осадок грунта как функцию времени и как функцию нагрузок. Модуль деформации определяют по графику зависимости деформации грунта от нагрузок. Начальный участок в расчет не принимают, т.к. осадка штампа на нем обычно преувеличена из-за недостаточно плотного контакта плоскости штампа и поверхности грунта в начальный момент. Для расчетов принимают только данные, полученные на основании анализа участка, где увеличение давления на грунт вызывает пропорциональные изменения осадки грунта. Поскольку модуль сжимаемости грунта E_n зависит от давления для соответствующего интервала, его можно определить по формуле:

$$E_n - m = (1 - m^2)(P_n - P_m) / [(\Delta H_n - \Delta H_m)d],$$

где P_n, P_m – полное давление соответственно в момент n, m , Па; $\Delta H_n, \Delta H_m$ – осадка штампа в соответствующие моменты, см; m – коэффициент Пуассона – для песка – 0,25-0,3; для суглинка $m = 0,33-0,37$; для глины $m = 0,38-0,45$.

При испытании грунтов на сдвиг на дно *шурфа вдавливают кольцо диаметром около 400 мм. Грунт с внешней стороны кольца убирают и устанавливают домкраты, один из которых создает вертикальную нагрузку, а другой – сдвигающие усилия. Нагрузку от домкратов увеличивают ступенями по $(0,2-0,5) \cdot 10^5$ Па с выдержкой каждой не менее 15-30 мин. в зависимости от характеристики вида грунта, пока не доведут до значения, соответствующего фактическому давлению на подошву фундамента от существующего здания. Сдвигающее усилие также увеличивают ступенями с меньшей выдержкой. Момент, когда сдвигающее усилие преодолет силы трения и сцепления в грунте, фиксируется резким падением давления в манометре домкрата. Испытания заканчивают, если кольцо сместилось от первоначального положения на 2-3см. По результатам испытания 3-4 шурфов однородного грунта при разных нагрузках строят графики зависимости сдвигающих усилий s в грунте от нормальной нагрузки P , по которым находят угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C грунта.

В скважинах грунт обследуют лопастными приборами – *крыльчатками*. Двух- или четырехлопастную крыльчатку, закрепленную на штанге, вдавливают в скважину ниже обсадных труб. По измеренному предельному моменту, при котором начинает вращаться крыльчатка, вычисляют *сопротивление сдвигу, угол внутреннего трения и удельное сопротивление грунта*.

Наряду с **физико-механическими характеристиками грунтов**, важное значение имеют **гидрогеологические характеристики**: *глубина залегания и мощность водоносных пластов, коэффициент фильтрации грунтов, химический состав грунтовых вод*. Наблюдение за колебанием уровня грунтовых вод ведут в скважинах, расположенных в определенном порядке вокруг обследуемых зданий.

Для определения **скорости потока грунтовых подземных вод** устраивают не менее двух скважин, расположенных по направлению движения потока. В одну скважину (верхнюю по отметкам уровня подземных вод) в определенный момент вводят индикатор (краску или др.), а из нижней скважины берут пробы воды и фиксируют момент, когда в скважине обнаружится максимальная концентрация индикатора. По времени появления этого максимума и расстоянию между скважинами определяют скорость потока.

Сравнительно простой **метод нахождения коэффициента фильтрации** разработан А.К. Болдыревым. В шурф размером $1 \times 1,5$ м шлангом наливают воду, регистрируя ее расход по водомерной трубке бака. Регулируя краном расход воды из бака, добиваются значения, которое соответствует фильтрационному расходу воды в шурфе. Если в течение продолжительного времени колебание уровня воды в шурфе не будет превышать 1 см, а отклонение измеренного несколько раз расхода q_{ϕ} от среднего – не более 10 %, то коэффициент фильтрации рассчитывается по количеству израсходованной воды в единицу времени.

***Шурф** – вертикальная (редко наклонная) горная выработка квадратного или прямоугольного сечения, небольшой глубины (редко более 20-30 м).