

ОБСЛЕДОВАНИЕ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Содержание

Вводная часть

1. Повреждение строительных конструкций
2. Методы защиты бетона эксплуатируемых конструкций при физико-химических и физико-механических агрессивных воздействиях
3. Виды коррозии арматуры
4. Восстановление эксплуатационных качеств конструкции с корродированной арматурой
5. Способы залечивания трещин
6. Повреждения конструкций при пожарах

Вводная часть

Анализ дефектов конструкций, выполненный отечественными исследователями, показал, что дефекты возникают как из-за ошибок проектирования (4%), неудовлетворительной эксплуатации зданий (8%), некачественного изготовления конструкций (17,8%), низкого качества монтажа (41,6%), так и совокупности указанных причин и факторов (17,6%).

Целью инструментального обследования зданий является получение количественных данных о состоянии несущих и ограждающих конструкций: деформациях, прочности, трещинообразовании и влажности.

Инструментальному обследованию подлежат конструкции с явно выраженными дефектами и разрушениями, обнаруженными при визуальном осмотре, либо конструкции, определяемые выборочно по условию: не менее 10% и не менее трёх штук в температурном блоке, методы инструментального обследования и используемая для этого аппаратура приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Методы инструментального обследования

№ п/п	Исследуемый параметр	Метод испытания или измерения	Инструменты, приборы, оборудование
1	2	3	4
1.	Объёмная деформация здания	Нивелирование; теодолитная съёмка	Нивелиры: Н-3, Н-10, НА-3 и др. Теодолиты: Т-2, Т-15, ТаН и др. Фотоаппараты, стереокомпаратор
2.	Прогибы и перемещения	Нивелирование Прогибомерами: а) механического действия б) жидкостными на принципе сообщающихся сосудов	Нивелиры: Н-3, Н-10, НА-1 и др. ПМ-2, ПМ-3, ПАО-5 П-1
3.	Прочность бетона	Метод пластических деформаций (ГОСТ 22690.0-88) Ультразвуковой метод (ГОСТ 17624-87) Метод отрыва со скалыванием (ГОСТ 226900-88) Метод сдавливания	Молоток Физделя, молоток Кашкарова, пружинистые приборы: КМ, ПМ, ХПС и др. УКБ-2, Бетон-5, УК-14П, Бетон-12 и др. ГПНВ-5, ГПНС-4 Динамометрические клещи
4.	Прочность раствора	Метод пластической деформации	Склерометр СД-2
5.	Скрытые дефекты материала конструкции	Ультразвуковой метод Радиометрический метод	Приборы: УКБ-1, УКБ-2, Бетон-12, Бетон-5, УК-14П Приборы: РПП-1, РПП-2, РП6С
6.	Глубина трещин в бетоне и каменной кладке	Подсечка трещин Ультразвуковой метод	Молоток, зубило, линейка УК-10ПМ, Бетон-12, УК-14П, Бетон-5, Бетон-8УРЦ и др.
7.	Ширина раскрытия трещин	Измерение стальными щупами и пр. С помощью отчётного микроскопа	Щуп, линейка, штангенциркуль МИР-2
8.	Толщина защитного слоя бетона	Магнитометрический метод	Приборы: ИЗС-2, МИ-1, ИСМ

9.	Плотность бетона, камня и сыпучих материалов	Радиометрический метод (ГОСТ 17623-87)	Источники излучения Cs-137, Co-60 Высочайший элемент типа ИП-3 Счётные устройства (радиометры): Б-3, Б-4, Бетон-8-УРЦ
10.	Влажность бетона и камня	Нейтронный метод	Источник излучения Ra-Be, Датчик НВ-3 Счётные устройства: СЧ-3, СЧ-4, «Бамбук»
11.	Воздухопроницаемость	Пневматический метод	ДСК-3-1, ИВС-2М
12.	Теплозащитные качества стенового ограждения	Электрический метод	Термошупы: ТМ, ЦЛЭМ, Теплометр ЛТИХП
13.	Звукопроводность стен и перекрытий	Акустический метод	Генератор «белого» шума ГШН-1 Усилители: УМ-50, У-50 Шумомер Ш-60В Спектрометр 2112
14.	Параметры вибрации конструкции	Визуальный метод Механический метод Электрооптический метод	Вибромарка Виброграф Гейгера, ручной виброграф ВР-1 Осциллографы: Н-105, Н-700, ОТ-24-51, комплект вибродатчиков
15.	Осадка фундамента	Нивелирование	Нивелиры: Н-3, Н-10, НА-1 и др.

1. Повреждение строительных конструкций



Рис.1. Классификация причин, вызывающих повреждения

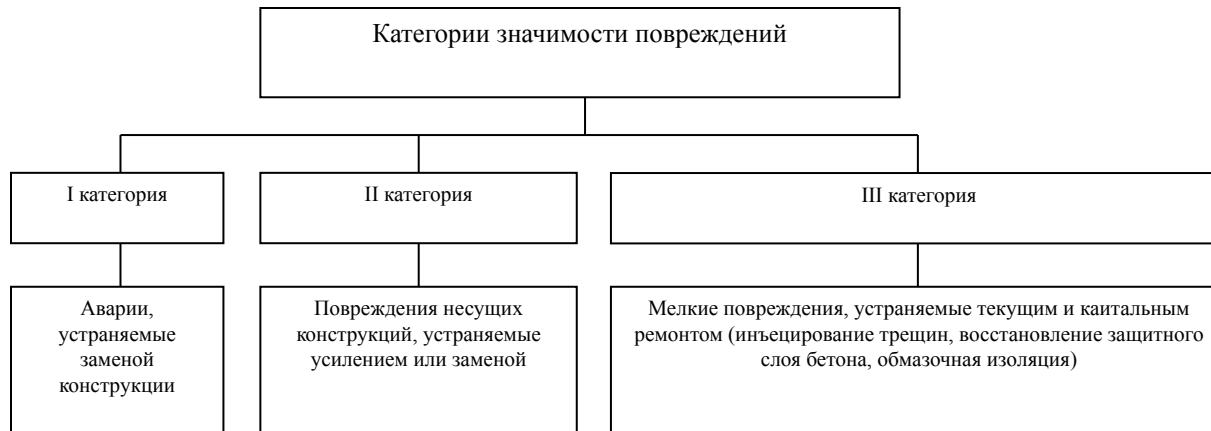


Рис.2. Классификация категорий значимости повреждений

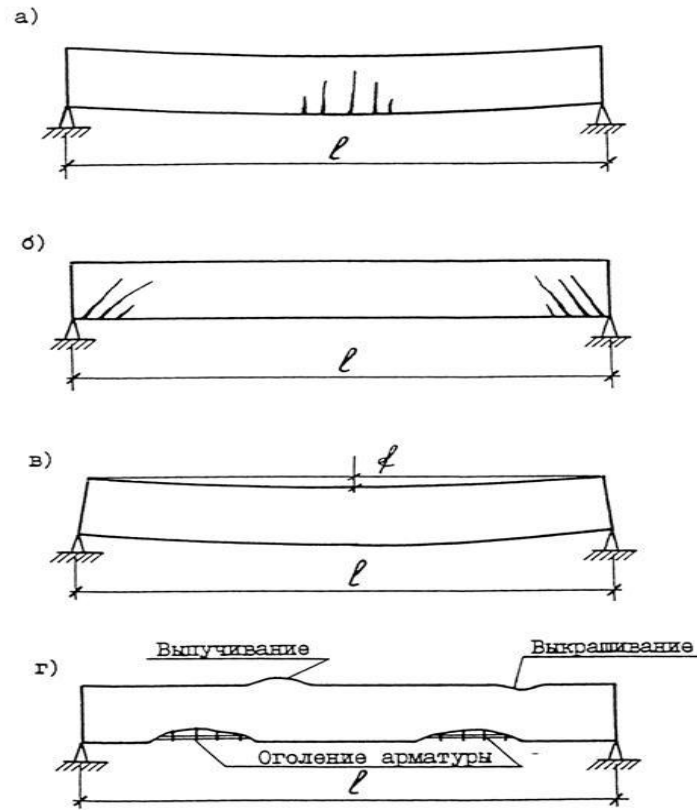


Рис. 3. Дефекты и повреждения железобетонных балок
 а - вертикальные нормальные трещины в пролете;
 б - наклонные трещины у опор;
 в - прогиб;
 г - разрушение бетона, коррозия арматуры и бетона

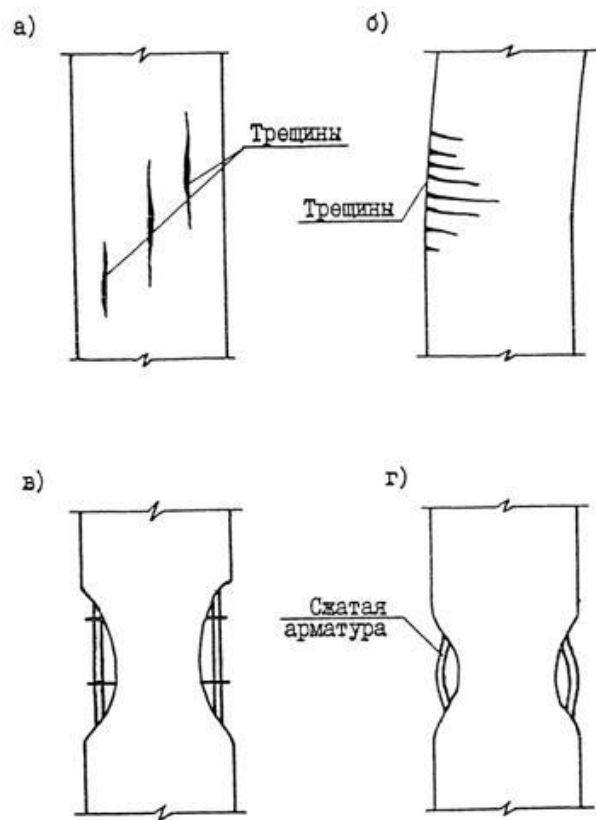


Рис. 4. Дефекты и повреждения железобетонных колонн

а - продольные трещины;

б - поперечные трещины;

в - коррозия бетона и арматуры;

г - выпучивание сжатых стержней арматуры.

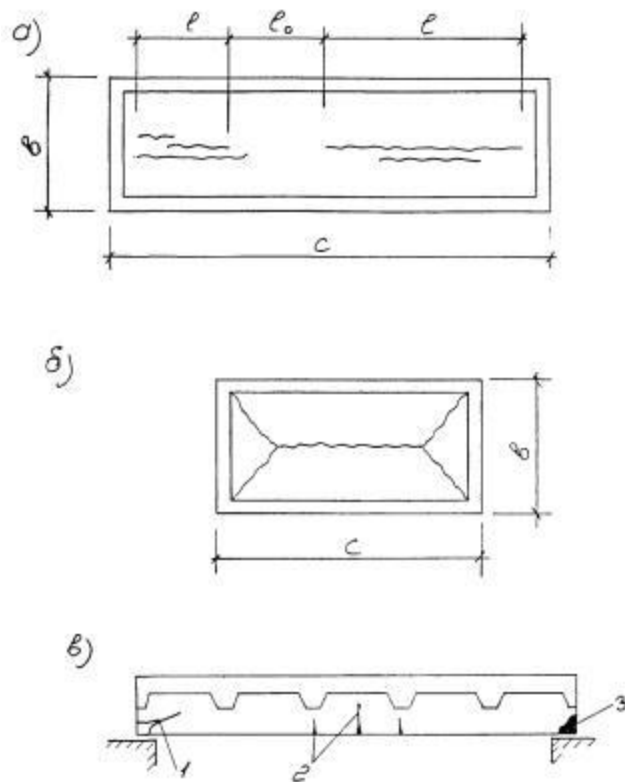


Рис. 5. Трещины в железобетонных плитах.
 а - балочной (вид снизу);
 б - опертой по контуру (вид снизу);
 в - сборной панели перекрытия;
 1 - наклонные трещины до нижней грани ребра;
 2 - вертикальные трещины;
 3 - откол бетона опоры.

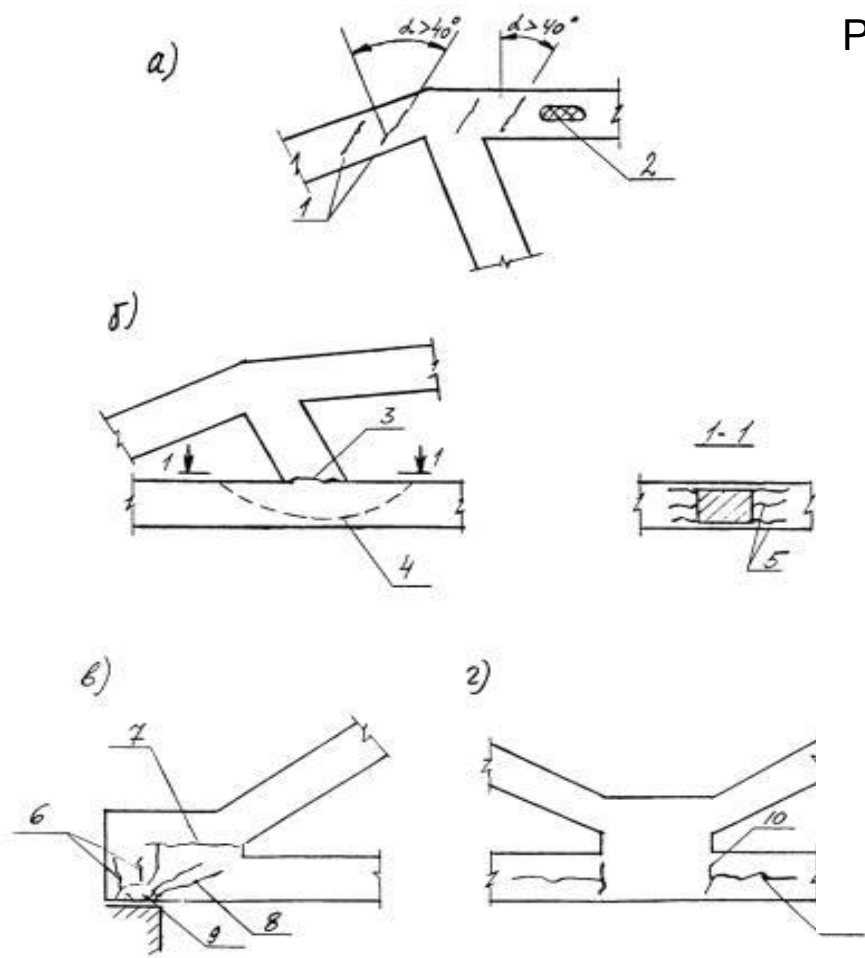


Рис. 6. Трещины в железобетонных фермах

а - в сжатом поясе и узле;

б - в растянутом раскосе;

в - в опорном узле;

г - в растянутом поясе и узле;

1 - серия наклонных трещин;

2 - лещадка;

3 - трещина в месте сопряжения раскоса и пояса;

4, 5 - трещины в поясе фермы;

6 - серия вертикальных трещин;

7 - горизонтальная трещина;

8 - наклонная трещина, доходящая до нижней грани пояса;

9 - откол лещадок;

10 - вертикальные трещины;

11 - горизонтальные трещины.

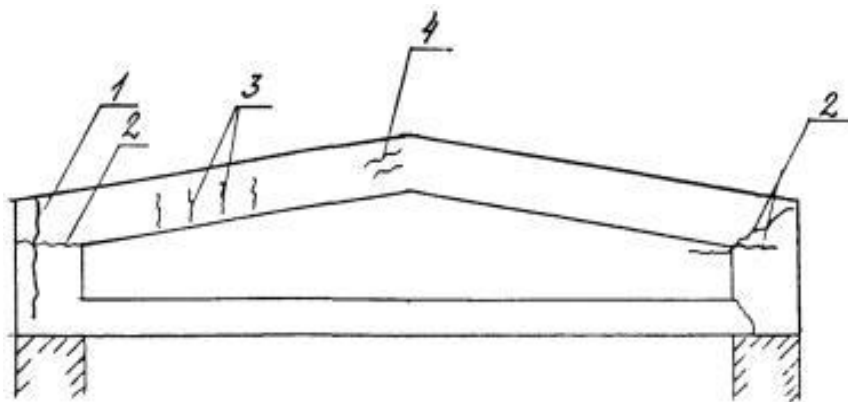


Рис. 7. Трещины в железобетонной балке покрытия
1, 2 - от расслоения и зависания бетонной массы при
бетонировании;
3 -усадочные; 4 - от расслоения при бетонировании и от
усадки.

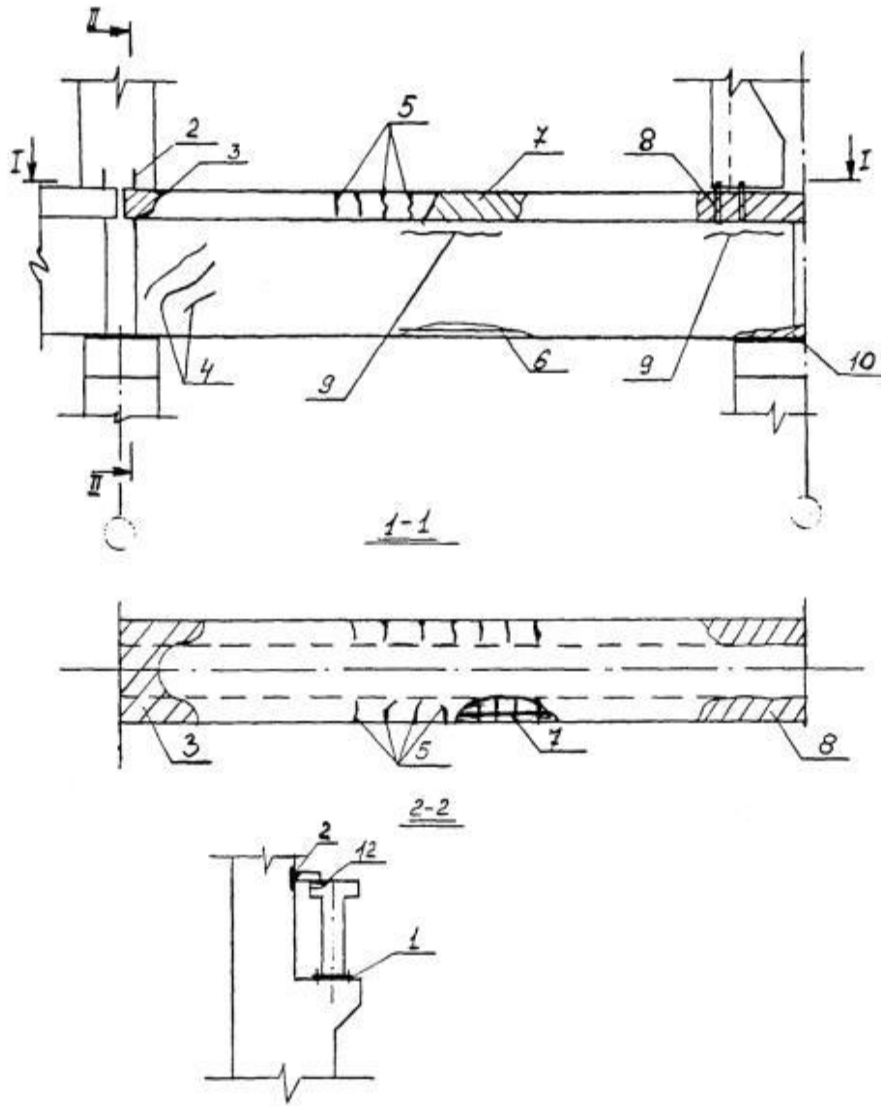


Рис. 8. Дефекты железобетонных подкрановых балок

- 1 - непроектное крепление балки к колонне, повреждение крепления;
- 2 - обрыв элемента крепления балки к надкрановой части колонны;
- 3 - разрушение бетона полки в опорной зоне;
- 4 - косые трещины у опоры;
- 5 - силовые вертикальные трещины в свесах полок;
- 6 - оголение арматуры от ее коррозии;
- 7 - местное разрушение свесов полок;
- 8 - разрушение свесов полок в местах установки упоров;
- 9 - горизонтальные трещины;
- 10 - разрушение бетона в опорной зоне;
- 12 - нарушение анкеровки закладной детали.

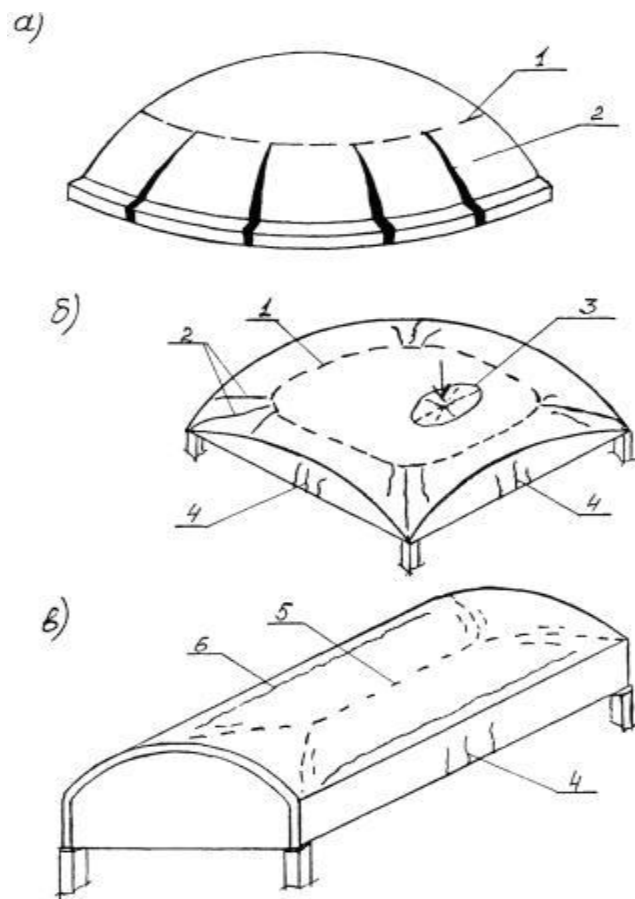


Рис. 9. Трещины в железобетонных оболочках
 а - куполов; б - двоякой кривизны; в -цилиндрических;
 1 - кольцевая трещина с внутренней стороны;
 2 - меридианальные трещины;
 3 - трещины при местном разрушении;
 4 - трещины от изгиба;
 5, 6 -продольные трещины с внутренней и наружной поверхности

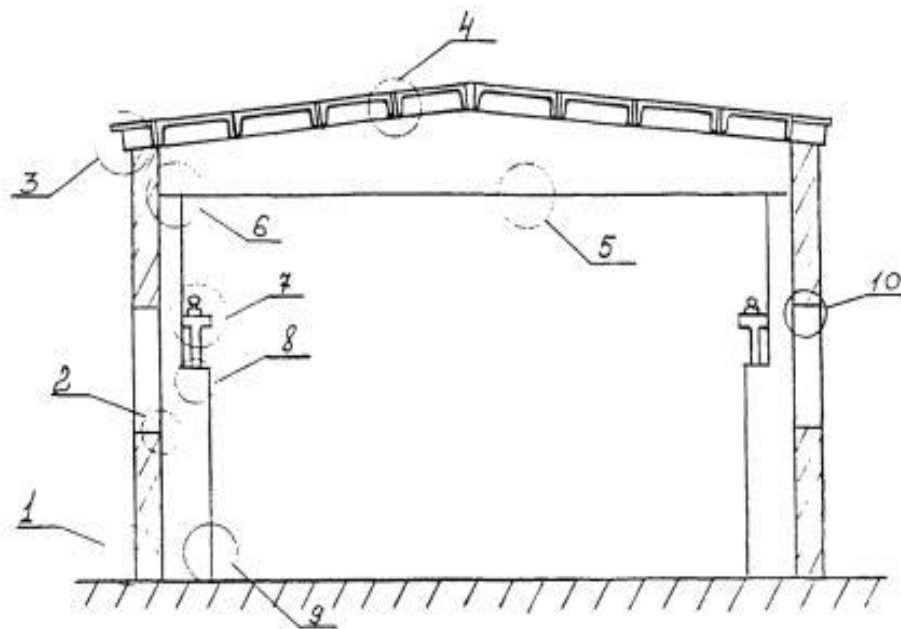


Рис. 10. Характерные повреждения конструкций одноэтажных промзданий.

- 1 - расслоение цоколя; 2 - повреждение крепления стены к колонне;
- 3 - трещины и расслоение карниза; 4 - разрушение железобетонных плит;
- 5 - коррозия нижнего пояса пролетного строения;
- 6 - трещины в опорном узле;
- 7 - разрушение подкрановых балок;
- 8 - разрушение креплений подкрановых балок к колоннам;
- 9 - коррозия арматуры железобетонных колонн, механические повреждения;
- 10 - разрушение перемычек над окнами

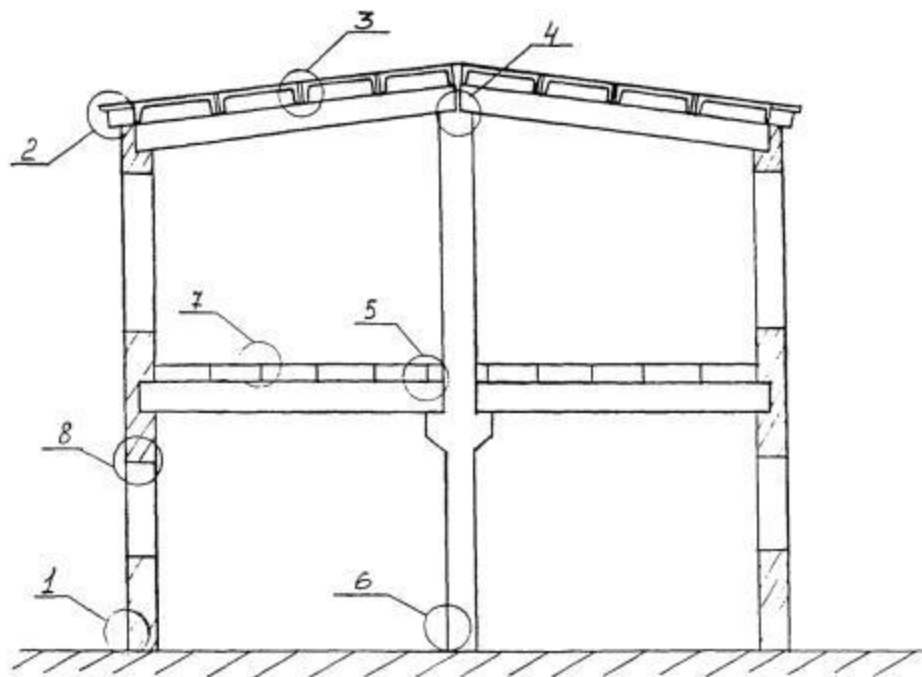


Рис. 11. Характерные повреждения конструкций многоэтажных промзданий

1 - расслоение цоколя; 2 - трещины и расслоение карниза;

3 - разрушение железобетонных плит покрытия;

4 -расстройство стыка ригеля;

5 - расстройство стыка балок перекрытия;

6 -коррозия арматуры железобетонных колонн, механические повреждения;

7 -разрушение плит перекрытия; 8 - разрушение перемычек над окнами.

Бетон, как искусственный конгломерат, по составу исходных материалов достаточно долговечен и не нуждается в специальном уходе, если эксплуатируется в нормальных температурно-влажностных условиях и отсутствии агрессивной среды. В таких условиях работает относительно небольшой класс конструкций, расположенных внутри жилых и общественных зданий или же в сооружениях, эксплуатируемых в тёплых и сухих климатических районах. Для большинства же конструкций промышленных предприятий свойственны агрессивная и слабоагрессивная среды, характеристика которых по степени их воздействия на бетон представлена на рис.12.



Рис. 12.
Характеристик
а
среды
и её
воздействие
на
конструкции

Под влиянием агрессии в бетоне развиваются физико-химические и физико-механические деструктивные процессы, представленные на рис. 13.



Рис. 13. Классификация видов разрушения бетона

Различаются три вида физико-химической коррозии.

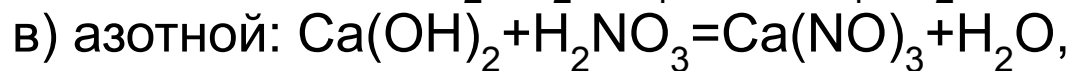
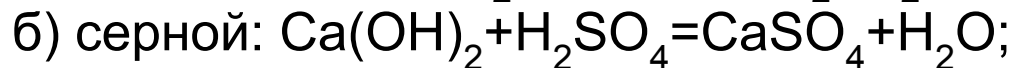
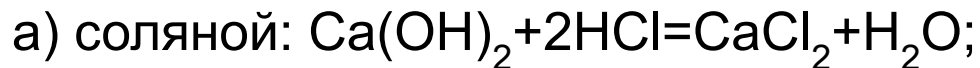
Коррозия I вида. Внешним ее признаком является налёт на поверхности бетона в месте испарения или фильтрации свободной воды. Коррозия вызывается фильтрацией мягкой воды сквозь толщину бетона и вымыванием из него гидрата окиси кальция: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гашёная известь) и CaO (негашёная известь). В связи с этим происходит разрушение и других компонентов цементного камня: гидросиликатов, гидроалюминатов, гидроферритов, так как их стабильное существование возможно лишь в растворах $\text{Ca}(\text{OH})_2$ определённой концентрации. Описанный процесс называется выщелачиванием цементного камня. По результатам исследований выщелачивание из бетона 16% извести приводит к снижению его прочности примерно на 20%, при 30%-ном выщелачивании прочность снижается уже на 50%. Полное исчерпание прочности бетона наступает при 40-50%-ной потере извести.

Следует учитывать, что если приток мягкой воды незначительный и она испаряется на поверхности бетона, то гидрат окиси кальция не вымывается, а остаётся в бетоне, уплотняет его, тем самым прекращая его дальнейшую фильтрацию. Этот процесс называется *самозалечиванием* бетона.

Коррозии I вида особо подвержены бетоны на портландцементе. Стойкими оказываются бетоны на пуццолановом портландцементе и шлакопортландцементе с гидравлическими добавками.

Коррозии II вида. Характерным для коррозии II вида является химическое разрушение компонентов бетона (цементного камня и заполнителей) под воздействием кислот и щелочей.

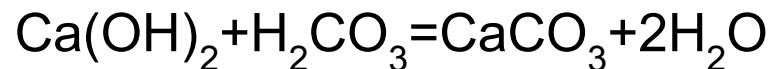
Кислотная коррозия цементного камня обусловлена химическим взаимодействием гидрата окиси кальция с кислотами:



в результате чего гидрат окиси $\text{Ca}(\text{OH})_2$ разрушается.

При фильтрации кислотных растворов через толщу бетона продукты разрушения вымываются, его структура делается пористой, и конструкция утрачивает несущую способность. Таким образом, скорость коррозии возрастает с увеличением концентрации кислоты и скорости фильтрации.

Влияния углекислоты на бетон неоднозначно. При малой концентрации CO_2 углекислота, взаимодействуя с известью, карбонизирует её, т.е.



Щелочная коррозия цементного камня происходит при высокой концентрации щелочей и положительной температуре среды. В этих условиях растворяются составляющие цементного клинкера (кремнезём и полуторные окислы), что и вызывает разрушение бетона. Более стойкими к щелочной коррозии являются бетоны на портландцементе и заполнителях карбонатных пород.

К особо агрессивным средам, вызывающим коррозию II вида, следует отнести:

а) свободные органические кислоты (например, уксусная, молочная), растворяющие кальций;

б) сульфаты, способствующие образованию сульфоалюмината кальция или гипса;

в) соли магния, снижающие прочность соединений, содержащих известь;

г) соли аммония, разрушающе действующие на композиты, содержащие известь.

Помимо названных химикатов вредными для бетона являются растительные и животные жиры и масла, так как они, превращая известь в мягкие соли жирных кислот, разрушают цементный камень.

Коррозия III вида. Признаком кристаллизационной коррозии III вида является разрушение структуры бетона продуктами кристаллообразования солей, накапливающихся в порах и капиллярах.

Кристаллизация солей может идти двумя путями:

- а) химическим взаимодействием агрессивной среды с компонентами камня;
- б) подсосом извне соляных растворов.

И в том, и в другом случаях кристаллы соли выпадают в осадок, кальматируя (заполняя) пустоты в бетоне. На начальном этапе это позитивный процесс, ведущий к уплотнению бетона и повышению его прочности. Однако в последующем продукты кристаллизации настолько увеличиваются в объёме, что начинают рвать структурные связи, приводя к интенсивному трещинообразованию и многочисленным локальным разрушениям бетона.

Определяющим фактором кристаллизационной коррозии является наличие в водных растворах сульфатов кальция, магния, натрия, способных при взаимодействии с трёхкальциевым гидроалюминатом цемента образовывать кристаллы. Следовательно, к более стойкими к коррозии III вида следует относить такие бетоны, в которых использованы цементы с низким содержанием трёхкальциевого алюмината, а именно: в портландцементе – до 5%, в пуццолановом и шлакопортландцементе – до 7%.

Физико-механическая деструкция (разрушение) бетона при периодическом замораживании и оттаивании характерна для многих конструкций, незащищённых от атмосферных воздействий (открытые эстакады, путепроводы, опоры ЛЭП и др.). Разрушающих факторов при замораживании бетона в водонасыщенном состоянии несколько: кристаллизационное давление льда; гидравлическое давление воды, возникающее в капиллярах вследствие отжатия ее из зоны замерзания; различие в коэффициентах линейного расширения льда и скелета материала и пр.

Постепенное разрушение бетона при замораживании происходит вследствие накопления дефектов, образующихся во время отдельных циклов. Скорость разрушения зависит от степени водонасыщения бетона, пористости цементного камня, вида заполнителя. Более морозостойки бетоны плотной структуры с низким коэффициентом водопоглощения.

Влияние производственных масел (нефтепродуктов) на прочность бетона неоднозначно. Разрушающе действуют на бетон только те нефтепродукты, которые в значительном количестве содержат поверхностно-активные смолы. К ним относятся все минеральные масла, дизельное топливо. В то же время бензин, керосин, вазелиновое масло практически не снижают прочности бетона, однако, как и другие нефтепродукты, уменьшают сцепление бетона с гладкой арматурой примерно на 50%.

Прочность промасленного бетона при свободной фильтрации минерального масла можно определить по формуле:

$$R_t^m = R_0 \cdot (1 - 0,1t)$$

где t – продолжительность пропитки маслом, г.:

R_0 – первоначальная прочность бетона, МПа.

Если время пропитки более 8 лет, прочность бетона следует принимать равной 1/3 от первоначальной.

При периодическом попадании масел на конструкцию (1-2 раза в год) прочность промасленного бетона следует подсчитывать по формуле

$$R_m^m = R_0 \cdot (1 - 0,023t)$$

Формула справедлива при воздействии масла в течение 25-30 лет. В более поздние сроки прочность бетона следует принимать равной 1/3 от первоначальной.

2. Методы защиты бетона эксплуатируемых конструкций при физико-химических и физико-механических агрессивных воздействиях

Защита бетона эксплуатируемых конструкций осуществляется различными способами в зависимости от характера разрушительного воздействия. Классификация методов защиты приведена на рисунке 5.

Подготовка бетонной поверхности к проведению ремонтно-восстановительных работ состоит в тщательной очистке разрушенных участков от посторонних включений и наслоений. Очистка может быть проведена вручную с помощью зубила и металлической щётки, механическим способом с применением вращающихся проволочных щёток или с помощью пескоструйного аппарата. Подготовленная поверхность грунтуется специальными составами, обладающими высокими адгезионными свойствами. Для этого часто используется растворная смесь из портландцемента и кварцевой муки, замешанная на воде с добавлением синтетических смол. Свежая грунтовка посыпается сухим кварцевым песком крупностью 0,2-0,7 мм. В качестве грунта могут быть использованы синтетические смолы в «чистом виде».

Наложение *шпаклёвочной* массы необходимо производить по несхватившейся поверхности грунтовки. В шпаклёвку желательно добавить кварцевый песок крупностью 0,1-0,4 мм.

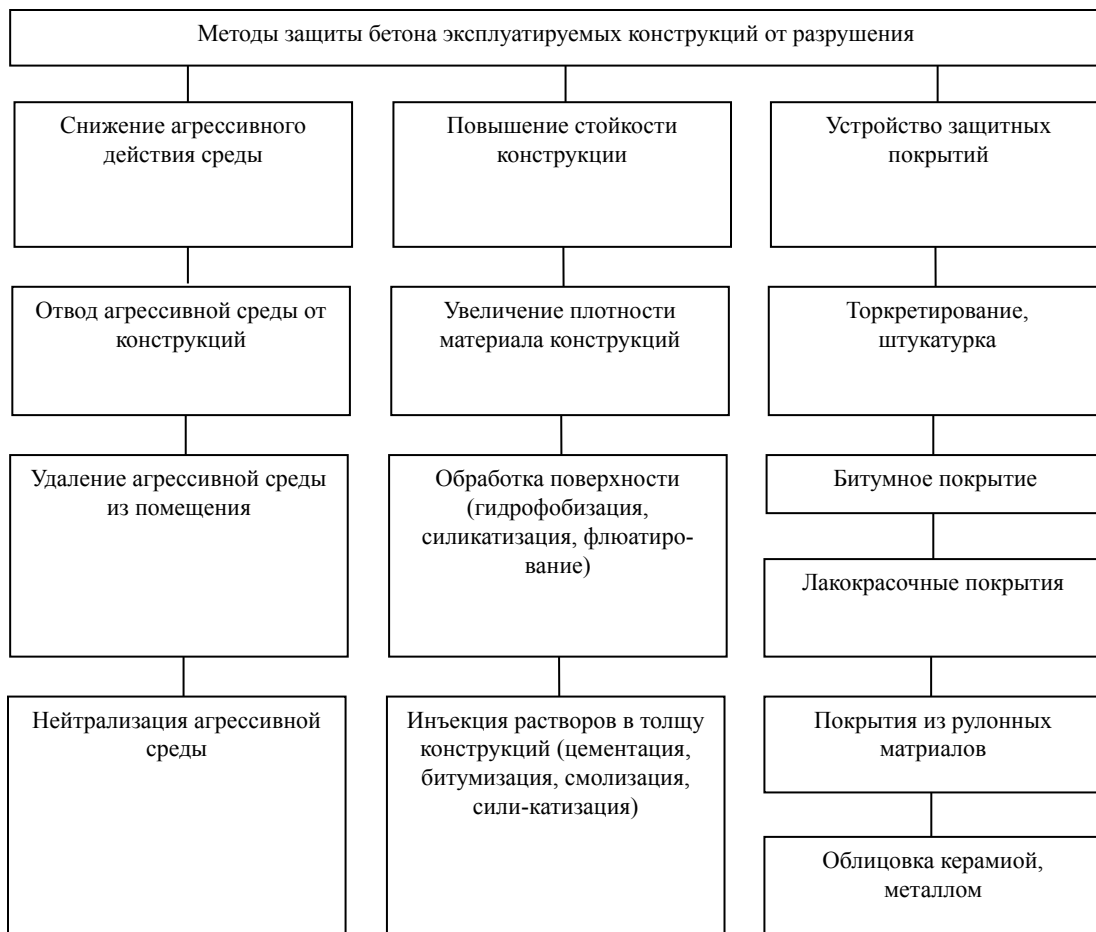


Рис. 14. Защита бетона эксплуатируемых конструкций от разрушения

Если поверхность ремонтируемого участка достаточно большая (0,5 м и более), то целесообразно делать набрызг цементного раствора и торкретирование.

Торкретирование производится растворной смесью в соотношении цемент:песок = 1:3. Смесью подаётся с помощью цемент-пушки под давлением 5-6 атм. Разбрызгивающее сопло располагается на расстоянии 0,5-1 м от ремонтируемой поверхности. Торкретирование ведётся слоями, толщина каждого из которых не более 4 см. Все последующие слои можно наносить только после схватывания предыдущего.

На отремонтированные участки и окружающие бетонные поверхности наносится защитный слой покрытия, вид которого обусловлен возможными агрессивными воздействиями.

Эффективной защитой железобетонных конструкций от атмосферных осадков может служить их *гидрофобизация или флюатирование*. В первом случае бетон пропитывается на глубину 2-10 мм гидрофобными (водоотталкивающими) составами на основе кремнийорганических полимерных материалов: ГКЖ-94, ГКЖ-10. Составы наносятся кистью или пульвезизатором на предварительно очищенную сухую поверхность конструкции.

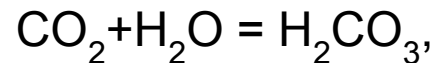
Во втором случае делается обработка бетона 3-7%-ным раствором кремнийфтористоводородной кислоты. При этом кремнийфтористомагний $MgSiF_6$, реагируя с ионами кальция, образует на стенках пор и капилляров цементного камня нерастворимый защитный слой из кристаллов фтористого кальция и кремнезёма.

Флюат наносится на поверхность бетона в 3-4 слоя. Интервал между нанесением слоёв обычно составляет 4 часа.

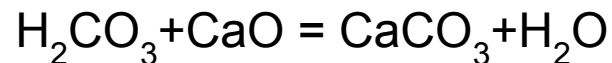
Под влиянием щелочной среды цементного бетона (pH=12,5-12,6) стальная арматура пассивируется, т.е. защищается от окисления. Однако щелочность защитного слоя бетона в результате воздействия воды и содержащихся в воздухе двуокисей углерода CO₂ и серы SO₂ постепенно снижается, и, если она оказывается ниже значений pH=9,5, в арматуре начинаются окислительные процессы.

Последовательность образования агрессивной среды и депассивация арматуры происходит следующим образом:

образование и воздействие углекислоты

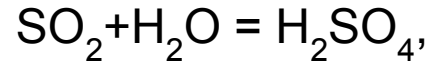


которая, реагируя с окисью кальция, содержащейся в бетоне, образует карбонат кальция и остаточную воду

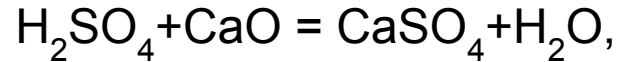


(указанная реакция протекает в течение нескольких лет, понижая величину pH в защитном слое бетона на 2,5-4 ед.);

образование и воздействие серной кислоты



которая, реагируя с окисью кальция, образует гипс и остаточную воду



(в результате этой реакции величина pH дополнительно может снижаться на 1-3 ед., достигая величины pH=6(7)).

Скорость депассивации арматуры зависит главным образом от толщины защитного слоя бетона и степени агрессивности среды. Нормы регламентируют эти величины также с учётом показателя проницаемости бетона и типа арматурной стали.

3. Виды коррозии арматуры

Коррозия арматуры может быть вызвана разными неблагоприятными факторами, обуславливающими химическое и электрохимическое воздействие. К ним относятся растворы кислот, щелочей, солей, влажные газы, природные и промышленные воды, а также блуждающие токи.

В кислотах, не обладающих окислительными свойствами (соляная кислота), стальная арматура сильно корродирует в результате образования растворимых в воде и кислоте продуктов коррозии, причём с увеличением концентрации соляной кислоты скорость коррозии возрастает.

В кислотах, обладающих окислительными свойствами (азотная, серная и др.), при высоких концентрациях скорость коррозии, наоборот, уменьшается из-за пассивации поверхности арматуры.

Скорость коррозии арматуры в щелочных растворах при $\text{pH} > 10$ резко снижается из-за образования нерастворимых гидратов закиси железа. Растворы едких щелочей и карбонаты щелочных металлов практически не разрушают арматуру, если их концентрация не превышает 40%.

Солевая коррозия арматуры зависит от природы анионов и катионов, содержащихся в водных растворах солей.

В присутствии сульфатов, хлоридов и нитратов щелочных металлов, хорошо растворимых в воде, солевая коррозия усиливается. И, наоборот, присутствие карбонатов и фосфатов, образующих нерастворимые продукты коррозии на анодных участках, способствует затуханию коррозии. На интенсивность солевой коррозии арматуры влияет кислород, который окисляет ионы двухвалентного железа и понижает перенапряжение водорода на катодных участках. С повышением концентрации кислорода скорость коррозии увеличивается.

Рассматривая воздействие газов, следует особо отметить агрессивность окислов азота NO , NO_2 , N_2O и хлора Cl , которые в присутствии влаги вызывают сильную коррозию арматуры.

Практика обследования железобетонных конструкций, соприкасающихся с грунтом, указывает на частные случаи разрушения арматуры блуждающими токами, которые появляются из-за утечек электроэнергии с рельсов электрифицированных железных дорог, работающих на постоянном токе, или других источников. В месте входа тока в конструкцию образуется катодная зона, а в месте выхода – анодная, или зона коррозии. Опыты показывают, что блуждающие токи распространяются на десятки километров в стороны от источника, практически не утрачивая силы тока, которая может достигать сотни ампер. Расчёты с использованием закона Фарадея показывают, что ток силой всего в 1-2А, стекая с конструкции, в течение года может уносить до 10кг железа. Обычно скорость разрушения арматуры блуждающими токами заметно превышает скорость разрушения от химической коррозии. Опасной для конструкции считается плотность тока. При анализе агрессивных воздействий на железобетонные конструкции учитываются факторы, сопутствующие коррозии арматуры (рис. 15), и, кроме того, разрабатываются соответствующие защитные мероприятия.

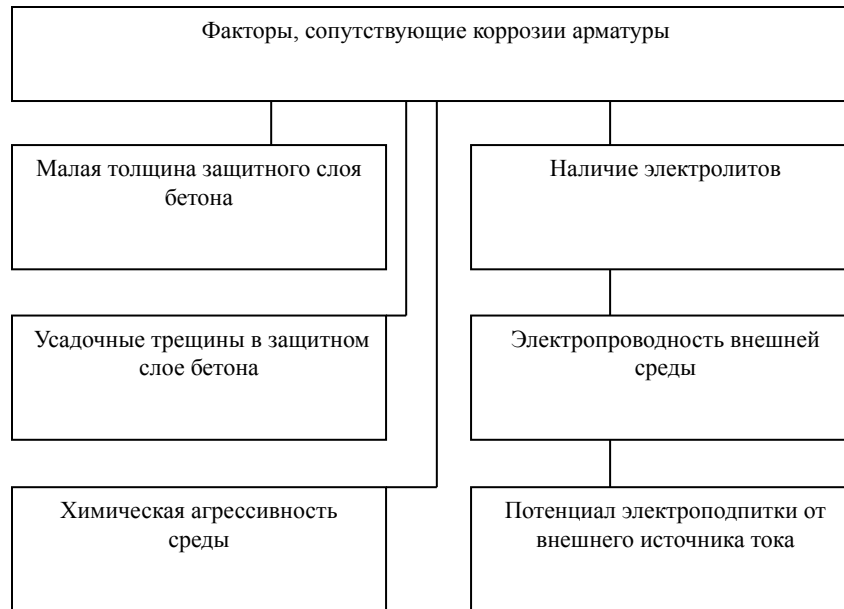


Рис. 15. Классификация факторов, сопутствующих коррозии арматуры

4. Восстановление эксплуатационных качеств конструкции с корродированной арматурой

Образование продуктов химической коррозии на арматуре увеличивает её объём, вследствие чего бетон защитного слоя механически разрушается. Это выражается в появлении волосяных трещин по направлению арматурного стержня. Со временем трещины раскрываются, бетон защитного слоя отслаивается, и корродированная арматура оголяется. Для восстановления эксплуатационных качеств необходимо с помощью металлической щётки или пескоструйного аппарата очистить арматуру от ржавчины и оценить степень её коррозии. Если коррозией повреждено более 50% площади сечения арматурного стержня, то повреждённый участок вырезается и производится его замена на новый, равноценный по площади стержень, привариваемый электродуговой сваркой. При площади менее 50% повреждённый участок не вырезается, а на него наваривается дополнительный стержень усиления, компенсирующий разрушенное сечение.

На все оголённые участки арматуры наносится защитное покрытие из эпоксидной смолы, обладающей хорошей адгезией к бетону и стали.

Хорошей защитой арматуры также является послойное нанесение торкретбетона толщиной слоёв 1-1,5 см, приготовленного на смеси цемент:песок = 1:2 (1:3) и наносимого на обрабатываемую поверхность с расстояния 1-1,2 м.

Характеристики бетонного покрытия (плотность бетона, толщина защитного слоя), независимо от способа нанесения покрытия, должны соответствовать показателям и требованиям, представленным в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Требования к бетону конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах

Плотность бетона	Условное обозначение	Показатели, характеризующие плотность бетона		
		марка бетона по водонепроницаемости	водопоглощение, %, по массе	водоцементные отношения, не более
Нормальная	Н	В-4	5,7-4,8	0,6
Повышенная	П	В-6	4,7-4,3	0,55
Особо высокая	О	В-8	4,2 и менее	0,45

Таблица 2

Требования к плотности и толщине защитного слоя бетона

Степень агрессивного воздействия	Минимальная толщина защитного слоя бетона, мм, для конструкций, эксплуатируемых			Плотность бетона конструкций, армированных сталью, классов		
	в газообразной среде		в жидкой среде	АI, АII, АIII, АIV, ВpI	ВП, ВРП, каналы	AV, AVI, Ат-IVC, АтV, АтVI
	ребристых плит, балок	ферм, колонн				
Слабая	15	20	25	Н	П	П
Средняя	15	20	30	П	О	О
Сильная	20	25	35	О	О	Не допускается

5. Способы залечивания трещин

Залечивание трещин в конструкциях производится разными методами, одним из которых является инъецирование, т.е. нагнетание в трещины растворов. В зависимости от вида конструкции, формы и размеров дефектов инъецирование осуществляется различными видами растворов, по названию которых даются определения: силикатизация, битумизация, смолизация и цементация.

Силикатизация состоит из двух этапов. На первом – через пробуренные в конструкции отверстия нагнетается жидкое стекло, которое, проникая через трещины в тело конструкции, заполняет их; на втором – нагнетается раствор хлористого кальция, который, реагируя с жидким стеклом, образует труднорастворимый гидросиликат кальция $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ и нерастворимый гель кремнезёма $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Силикатизация используется для залечивания трещин в конструкциях, работающих в агрессивных и слабоагрессивных средах.

Битумизация заключается в нагнетании в конструкцию разогретого до $200\text{-}300^\circ\text{C}$ битума марки III, причём конструкция должна иметь низкую влажность, чтобы не было парообразования. Битумизация не увеличивает прочности конструкции, однако она является хорошим средством повышения её водонепроницаемости и коррозионной стойкости.

Смолизация состоит в нагнетании в трещины и пустоты компаундов эпоксидных смол, что является надёжным способом повышения коррозионной стойкости и существенного увеличения прочности конструкции.

Цементация трещин представляет собой наиболее распространённый способ залечивания конструкций, при котором используется цементная смесь разных составов в зависимости от ширины раскрытия трещин. Виды цементных составов даны в табл. 9 Цементная смесь готовится на портландцементе или тампонажном цементе марок 400 и 500, засыпаемых в воду с последующим интенсивным перемешиванием в течение 2-3 мин. Готовая смесь процеживается через сито с ячейками 0,5-1 мм. Смесь должна быть использована в течение 30 мин.

Инъектирование трещин, т.е. процесс нагнетания смеси в залечиваемую конструкцию, состоит из трёх операций:

- подготовка скважин;
- установка и омоноличивание инъекционных трубок;
- нагнетание смеси.

Таблица 3

Характеристика цементных составов

Ширина раскрытия трещин, мм	Цементно-водное соотношение (Ц/В)	Плотность смеси, т/м ³
1-3	0,7	1,366
3-5	1	1,7
5-8	1,5	1,58
8-10	2	1,62

Подготовка заключается в расчистке и расширении участка конструкции с трещинами, где предполагается установить трубки, при этом удаляются грязь, наплывы раствора и инородные включения. Количество подготавливаемых скважин определяется рабочей схемой из расчёта не менее двух трубок на одну трещину. Глубина скважин должна составлять 50-70 мм, диаметр – 18-25 мм. Скважины желательно делать под углом 60-80° к вертикальной поверхности, обеспечивая хорошее стекание смеси в дефектный участок.

Инъекционные трубки заделываются в конструкцию цементным раствором состава 1:3 с осадкой конуса 2-3 см. При больших размерах трещин вокруг трубки укладывается пропитанная смолой или жидким стеклом пакля, которая плотно зачеканивается. Конец трубки должен выступать над поверхностью конструкции на 50-80 мм для крепления к ней шланга.

6. Повреждения конструкций при пожарах

Повреждения конструкций при пожарах происходят в результате воздействия высоких температур. При этом ухудшаются эксплуатационные качества конструкций, снижается прочность материала, сила сцепления арматуры с бетоном, уменьшаются размеры рабочего сечения. Из-за неравномерного температурного нагрева может изменяться расчётная схема элементов, работающих в составе неразрезных систем.

При пожарах большой интенсивности и длительности деревянные и металлические конструкции как правило приходят в негодность, в то время как железобетонные и каменные конструкции частично сохраняют эксплуатационные качества.

Рассмотрим более подробно поведение железобетонных конструкций при пожарах.

Бетон является несгораемым и достаточно огнестойким материалом. Однако под воздействием высоких температур снижаются его прочность и защитные свойства по отношению к заключённой в нём арматуре. Кроме того, при продолжительном пожаре сильно нагревается сама арматура, в которой появляются значительные пластические деформации. В результате этого изгибаемые элементы получают недопустимые прогибы и чрезмерно раскрытые трещины, а внецентренно сжатые элементы теряют устойчивость.

При температуре пожара 1000-1100⁰С в течение одного часа арматура, расположенная в бетоне, на глубине 2,5 см может нагреваться до температуры 550⁰С, при этом модуль упругости снижается на 40...60%.

В соответствии с «Рекомендациями по оценке состояния и усилению строительных конструкций зданий и сооружений» степень повреждения железобетонных конструкций после пожара характеризуется показателями, приведёнными в табл. 4.

По итогам анализа повреждений принимаются решения о ремонте или усилении конструкций. Так, например, конструкции, имеющие слабую степень повреждений, подвергают косметическому ремонту, при средней степени повреждений конструкции ремонтируют путём инъецирования трещин или наращиванием сечения бетона, при сильной степени повреждений конструкции усиливают введением дополнительных опор, наращиванием сечения бетона и арматуры или другими методами, обеспечивающими прочность, жёсткость и долговечность конструкции. При полной степени повреждений состояние конструкций считается аварийным и восстановление их нецелесообразно. Конструкции в этом случае требуют полной или частичной замены.

Таблица 4

Повреждения конструкций после пожара	
Степень повреждения	Характеристика повреждений
Слабая	Повреждения, не снижающие несущей способности конструкций: наличие следов сажи и копоти; шелушение отдельных слоёв поверхности бетона; незначительные сколы бетона
Средняя	Повреждения, снижающие несущую способность конструкций: изменение серого цвета бетона до розового и буро-жёлтого; элементы, полностью покрытые сажей и копотью; наличие сколов бетона по углам; обнажение арматурной сетки на плоских элементах площадью около 10%; обнажение угловой арматуры в пределах прямоугольной формы; отделение наружных слоёв бетона без их обрушения; трещины шириной до 0,5мм.
Сильная	Повреждения, значительно снижающие несущую способность конструкции: цвет бетона – жёлтый, сколы бетона – до 30% сечения элемента; обнажение арматурной сетки в плоских элементах на площади более 10%; обнажено более 50% рабочей арматуры прямоугольных элементов; выпучен один стержень арматуры элемента; отвалились поверхностные слои бетона; трещины шириной до 1мм. Повреждения, свидетельствующие о критическом состоянии конструкции: цвет бетона – жёлтый; сколы бетона – от 30 до 50% площади сечения элемента; обнажено до 90% арматуры; выпучилось более одного стержня арматуры; нарушена анкеровка, сцепление арматуры с бетоном; нагрев арматуры свыше 3000С; отрыв закладных и опорных деталей; зыбкость конструкции; прогибы свыше 1/50 пролёта; трещины шириной более 1мм.

Определение температуры нагрева бетона по цвету
и другим характерным признакам

Таблица 5

Цвет бетона	Максимальная температура нагрева, 0С	Возможные дополнительные эффекты
1	2	3
Нормальный	300	Нет
Розовый до красного	300-600	Начиная с 3000С – поверхностные трещины, с 5000С – глубокие трещины, с 5720С – раскол или вывал заполнителей, содержащих кварц
Серовато-черноватый до тёмно-жёлтого	600-950	700-8000С – отколы бетона, обнажающие в ряде случаев арматуру, 9000С – диссоциированный известняковый заполнитель и цементный дегидратированный камень сыплются, крошатся
Тёмно-жёлтый	Более 950	Много трещин, отделение крупного заполнителя от растворной части

Таблица 6

Определение величины снижения прочности бетона после пожара

Вид и условия твердения	Снижение прочности, %, при максимальной температуре нагрева, 0С						
	60	120	150	200	300	400	500
1	2	3	4	5	6	7	8
Тяжёлый с гранитным заполнителем, естественное	30	30	30	30	40	60	70
То же, тепловлажностная обработка	15	20	20	20	20	30	45
То же, с известняковым заполнителем	15	20	20	25	25	40	60
Лёгкий с керамзитовым заполнителем, тепловлажностная обработка	10	10	10	10	10	15	20

Примечание: 1. После нагрева до температуры выше 5000С значения прочности бетона принимаются равными нулю. 2. Промежуточные значения прочности бетона устанавливаются линейной интерполяцией.

Таблица 7

Определение величины снижения прочности арматуры после пожара

Положение арматуры в конструкции, наличие предварительного напряжения	Класс арматуры	Снижение прочности, %, при максимальной температуре нагрева, 0С		
		300	400	500
1	2	3	4	5
За пределами зоны анкеровки независимо от преднапряжения	A-I, A-II, A-III	нет	нет	нет
	A-IV, A-V, A-VI	то же	5	10
	AT-IV, AT-V, AT-VI	-, -	10	20
	B-II, Bp-II, K-7	-, -	30	60
В зоне анкеровки арматуры, ненапрягаемой	A-II, A-III, A-IV	-, -	20	40
	A-V, AT-III, AT-IV	-, -	20	40
	AT-V	-, -	20	40
То же, предварительно напрягаемой	A-IV, AT-IV	-, -	25	50
	A-V, AT-V	-, -	30	60
	A-VI, AT-VI	-, -	35	70
	Bp-II, K-7	-, -	45	90
	B-II	-, -	60	-

Примечания: 1. Прочность арматуры (за исключением класса B-II) после нагрева до температуры выше 500⁰С принимается равной нулю; для класса B-II это значение принимается после температуры нагрева выше 400⁰С. 2. Промежуточные значения снижения прочности арматуры устанавливаются линейной интерполяцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.С. Гучкин. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2001.
2. Бойко М.Д. Диагностика повреждений и методы восстановления эксплуатационных качеств зданий. – Л.: Стройиздат, 1975.
3. Васильев Н.М. Влияние нефтепродуктов на прочность бетона //Бетон и железобетон. – 1981. - №3. – с. 36-37.
4. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозий. – М.: Стройиздат, 1986.
5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжёлых и лёгких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84). М.: ЦИТП, 1989.
6. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1989.
7. Правила оценки физического износа жилых зданий. ВСН 53-86 (р). – М.: Гражданстрой, 1988.
8. Фридман О.М. Электроомотическая сушка зданий. – М.: Стройиздат, 1970.
9. Грачёв И.А. и др. Гидроизоляция подвалов и стен зданий. – Л., 1970.
10. Балалаев Г.А. и др. Защита строительных конструкций от коррозии. – М.: Стройиздат, 1966.
11. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, повреждённых пожаром/ НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1987.
12. Методические рекомендации по оценке свойств бетона после пожара/НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1985.