ГЛАВА 3. ФАКТОРЫ ФИЗИЧЕСКОГО ИЗНОСА УЧИТЫВАЕМЫЕ В ХОДЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

3.1. Причины и механизм износа: разрушительные действия агрессивных сред

В работе конструкций из бетона различают *период упрочения* — набора прочности, главным образом вследствие дальнейшей гидратации цемента, и *период разрушения*, снижения прочности из-за разрушения скелета материала. Для строительных конструкций, в частности бетонных, характерен хрупкий вид разрушения без заметных остаточных деформаций; при этом на величину разрывного усилия оказывает существенное влияние время, в течение которого действует усилие, происходит «подготовка» разрушения, «накапливаются» микротрещины.

При эксплуатации сооружений различают *силовое воздействие* нагрузок, вызывающее объемное напряженное состояние, и *агрессивное воздействие* окружающей среды, в результате чего сооружения изнашиваются и выходят из строя.

Агрессивной средой является такая среда, под воздействием которой изменяются структура и свойства материалов, что приводит к непрерывному снижению прочности и разрушению структуры; разрушение при этом называется *коррозией*.

Развитие промышленности и городов идет по линии использования более высоких скоростей технологических потоков, давлений, температур, образования агрессивных сред, т. е. по линии возникновения условий, когда на сооружения воздействуют более агрессивные среды и механические нагрузки, чем прежде, что, естественно, приводит к более быстрому их разрушению и необходимости более эффективной защиты.

Способность материалов сопротивляться разрушительному воздействию внешней среды называется *коррозионной стойкостью*, а предельный срок службы сооружений, в течение которого они сохраняют заданные эксплуатационные качества, и есть их долговечность.

Вещества и явления, способствующие разрушению, коррозии, называют *стимуляторами* или *факторами, содействующими коррозии*. Вещества и явления, затрудняющие и замедляющие разрушение, коррозию, называют пассиваторами или ингибиторами коррозии.

Агрессивность или пассивность среды не имеют универсального характера, т. е. они могут меняться ролями: в одних условиях определенная среда агрессивна, а в других — она же пассивна. Так, теплый, влажный воздух весьма агрессивен но отношению к стали, но цементный бетон он упрочняет.

Разрушение строительных материалов носит весьма разнообразный характер: химический, электрохимический, физический, физико-химический. Детально это будет рассмотрено далее применительно к основным строительным материалам: металлу, бетону, дереву. Агрессивные среды делятся на газовые, жидкие и твердые. Ниже дается их краткая характеристика.

Газовые среды — это прежде всего такие соединения, как сероуглерод (CS_2), углекислый газ (CO_2), сернистый газ ($S0_2$) и др. Их агрессивность определяют три главных фактора, или показателя: вид и концентрация газов, растворимость газов в воде, влажность и температура газов.

Жидкие среды — это растворы кислот, щелочей, солей, а также масла, нефть, растворители и др. Агрессивность таких сред определяется тремя показателями: концентрацией агрессивных агентов, их температурой, скоростью движения или величиной напора у поверхности конструкции. Коррозионные процессы более интенсивно протекают в жидкой агрессивной среде.

Твердые среды — это пыль, грунты и т. п. Их агрессивность оценивается четырьмя показателями: дисперсностью, растворимостью в воде, гигроскопичностью и влажностью окружающей среды. Влага в твердых средах играет особенно активную роль.

На рисунке показаны внешние и внутренние воздействия на здания и сооружения. Все они учитываются в нормах и при разработке проектов, однако страна наша так велика, столь разнообразны климатические, гидрогеологические условия строительства, а также и внутренние воздействия, вызванные происходящими в сооружениях процессами, что не всегда удается найти оптимальные решения, учитывающие все воздействия, относительно долговечности, экономичности и других показателей. Поэтому важной задачей

персонала эксплуатационной службы является учет специфических воздействий на сооружения, что способствует обеспечению заданной их долговечности. Рассмотрим основные факторы, воздействующие на сооружения.

В износе конструкций и оборудования можно выделить три участка:

участок I — период приработки, деформаций, повышенного износа; этот период краток, и на него распространяется гарантия, выданная строителями сроком на два года; в данный период производится так называемый послеосадочный ремонт;
участок II — период нормальной эксплуатации, медленного износа, во время которого накапливаются необратимые деформации, приводящие к структурным изменениям материала, медленному его разрушению;
участок III — период ускоренного износа, когда он достигает критического значения и возникает вопрос о целесообразности ремонта или списания и разборки сооружения.

В строительных материалах конструкций сооружений все типы воздействий вызывают процесс *коррозии*. По механизму коррозионного процесса различают следующие основные виды коррозии: химическую, электрохимическую, физико-химическую и физическую.

Химическая коррозия материала конструкций сопровождается необратимыми изменениями в структуре вещества под действием сухой агрессивной среды.

Если агрессивная среда является электролитом, то необратимые изменения в структуре материала происходят в результате возникновения электрического тока на границе «металл — агрессивная среда» и начинается электрохимическая коррозия.

Если физическое разрушение конструкции сопровождается изменением и структуры материала, например выщелачиванием, кристаллизационным разрушением, то такая *коррозия* называется *физико-химической*.

Чаще всего здания, их конструктивные элементы и оборудование преждевременно выходят из строя в результате воздействия не одного, а суммарного воздействия многих факторов; это, прежде всего, увлажнение и переменные температуры, а также механическое, химическое, биологическое и другие воздействия. При этом заметное влияние одного какого-либо фактора обычно способствует резкому усилению воздействия на конструкции иных факторов. Ремонт здания производят путём укрепления несущих и ограждающих конструкций. Для удаления сильно поверженных коррозией блоков применяется резательная машина, после чего усиливают арматуру и заливают новые железобетонные блоки.

По степени разрушения или значимости последствий можно выделить три категории повреждений:

- I — повреждения аварийного характера, вызванные дефектами проектирования, строительства, стихийными явлениями, а также нарушением правил эксплуатации зданий и сооружений; восстановление всего здания или его части в этом случае производится путем замены всех или некоторых конструкций по специально разработанным проектам;
- II — повреждения основных элементов, но не аварийного характера, устраняемые при капитальном ремонте;
- III — повреждения второстепенных элементов (отпадение штукатурки и т. п.), устраняемые при текущем ремонте.

Пользуясь приведенной методикой классификации и оценки повреждений, необходимо в каждом конкретном случае правильно определить опасность повреждения и срочность принятия мер по его устранению, чтобы не упустить аварийную ситуацию и не направлять все силы и средства эксплуатационной службы при появлении малейшего повреждения.

Износ сооружений ускоряется и разрушения усугубляются, если они вызваны дефектами, допущенными в проекте, при возведении или эксплуатации сооружений.

3.2. Причины и механизм износа: воздействие воздушной среды

В атмосфере содержатся пыль и газы, способствующие разрушению зданий. Загрязненный воздух, особенно в сочетании с влагой, вызывает преждевременный износ, коррозию или загрязнение, растрескивание и разрушение строительных конструкций. Вместе с тем в чистой и сухой атмосфере камни, бетоны и даже металлы могут сохраняться сотни и тысячи лет. Это значит, что воздушная среда, в которой находятся такие материалы, слабо агрессивна или совсем не агрессивна.

Основным загрязнителем воздуха являются продукты сгорания различных топлив; поэтому в городах и промышленных центрах металлы корродируют в два-четыре раза быстрее, чем в сельской местности, где сжигается значительно меньше угля и нефтепродуктов.

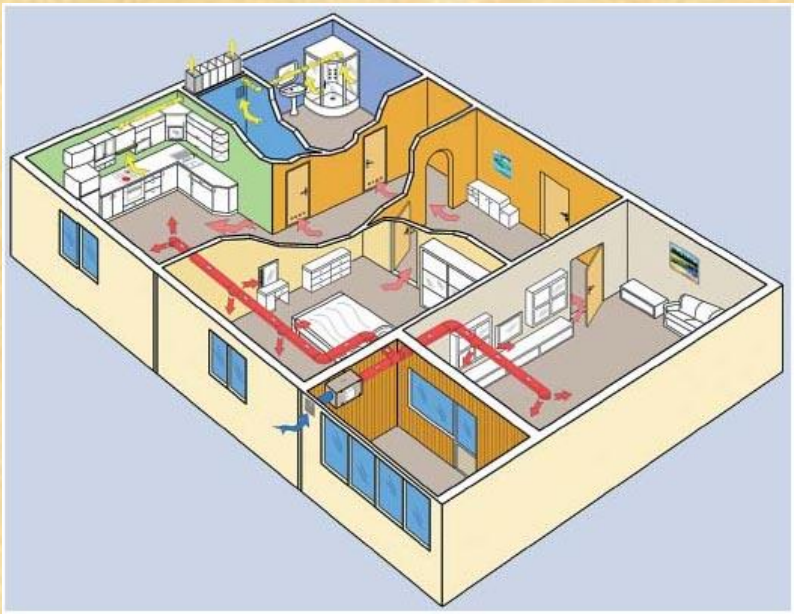
Загрязненность воздуха газами и твердыми частицами в зимнее время выше и зависит от вида топлива. Больше всего загрязняет атмосферу пылевидное топливо, ибо при его сжигании вместе с дымом уносится много золы и пыли, меньше всего — природные газы.

Основными продуктами сгорания большинства видов топлива являются углекислый ($C0_2$) и сернистый ($S0_2$) газы. При растворении углекислого газа в воде образуется углекислота — конечный продукт сгорания многих видов топлива; она разрушающе действует на бетон и иные материалы. При растворении сернистого газа в воде образуется серная кислота, также разрушающая бетон.

Кроме углекислоты и серной кислоты, в дымах накапливаются и другие (свыше ста) вредные соединения: азотная и фосфорная кислоты, смолистые и иные

вещества, несгоревшие частицы, которые, попадая на конструкции, загрязняют их и способствуют разрушению.

В приморских районах в атмосфере могут содержаться хлориды, соли серной кислоты и другие вредные для строительных материалов вещества. Влажность воздуха повышает его агрессивное воздействие, в частности на металлы.



Воздухопроницаемость — фильтрация воздуха через ограждающие конструкции — происходит под влиянием разности его давлений на противоположных поверхностях конструкций и вследствие пористости их структуры. Фильтрации воздуха через стык или конструкцию может и не быть, если энергетический уровень давления воздуха не превышает энергетический уровень сопротивления потоку. Так, плотная керамика не пропускает воздух при давлении $\Delta p < 5$ Па. Разность давлений возникает под влиянием теплового напора (пропорционального разности температур в здании и наружного воздуха) или при давлении ветра.

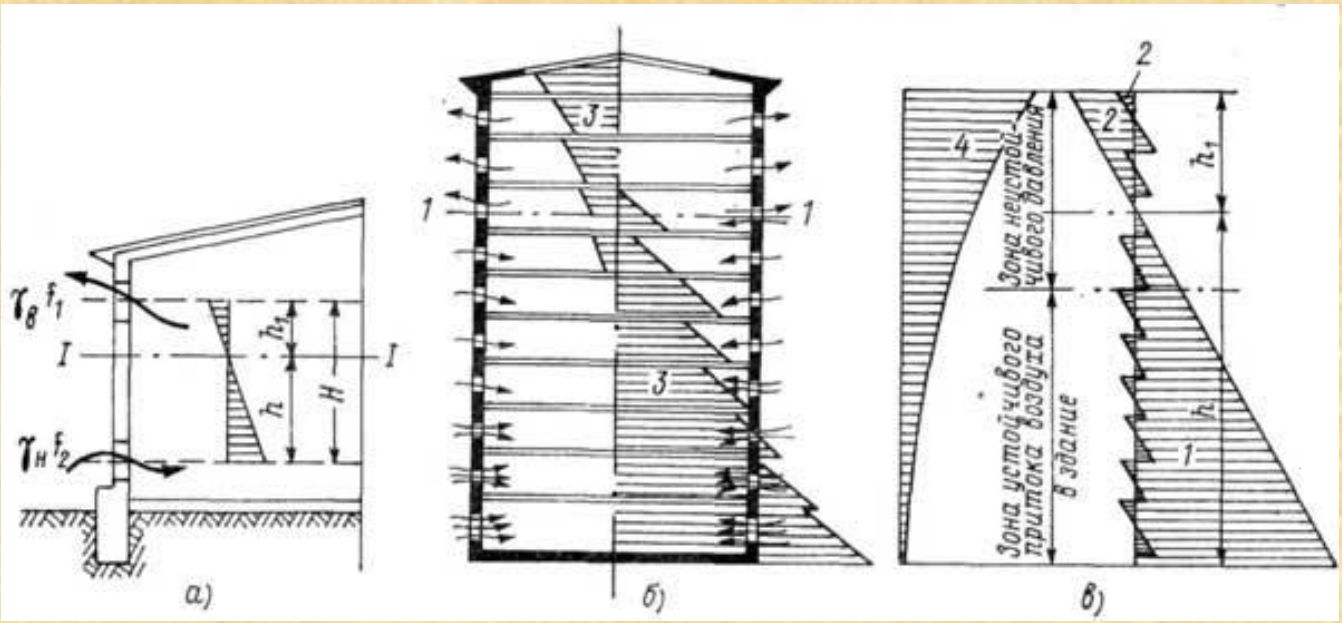
Величина теплового напора зависит от разности температур и высоты помещения (здания) и возрастает по мере их увеличения. При совместном действии теплового и ветрового напоров воздействие их суммируется.

Во время эксплуатации зданий теплозащитные качества их ограждающих конструкций могут изменяться вследствие переноса в них тепла, влаги и воздуха. При этом следует иметь в виду, что механизм переноса тепла как вида энергии, влаги и воздуха как веществ — неодинаков.

Параметры, определяющие интенсивность и направление движения тепло- и массообмена при переносе влаги и воздуха, называют *потенциалами переноса*. Таким потенциалом в тепловых процессах является температура, а в процессах

переноса влаги и воздуха — энергия, отнесенная к единице массы. Эту энергию выражают либо парциальным давлением водяного пара при переносе влаги, диффундирующей в ограждении в парообразной форме, либо общим давлением, создаваемым, например, силой тяжести, действием ветра, при переносе влаги или увлажненного воздуха.

Количество переносимого тепла Q пропорционально разности температур. Интенсивность переноса влаги и воздуха зависит от структуры материала ограждающих конструкций. Количество переносимой влаги пропорционально разности между энергетическим уровнем внешнего потенциала Δр и сопротивлением ее переносу внутри ограждения Δр*. Поскольку внешние параметры температуры, теплового и ветрового напоров и относительной влажности воздуха непрерывно меняются, то непрерывно изменяются и теплозащитные качества ограждений, причем нередко в худшую сторону (в северных, например, районах ограждения переохлаждаются и отсыревают, что нарушает комфортные условия в помещениях). Поэтому персонал эксплуатационной службы должен уметь контролировать и (при необходимости) улучшать теплозащитные качества ограждающих конструкций.



Тепловой напор в одноэтажном здании (а), тепловой и ветровой напоры в многоэтажных зданиях (б и в): 1 — давление наружного воздуха; 2 —давление воздуха внутри помещения; 3 — суммарное давление; 4 — ветровой напор

В гигиеническом отношении воздухопроницаемость конструкций полезна, так как способствует обмену воздуха в помещениях. В теплотехническом же отношении воздухопроницаемость— явление отрицательное по двум причинам: во-первых, движение потока холодного воздуха внутрь помещения понижает температуру в толще ограждения, приближает холодную зону к

внутренней поверхности; во-вторых, поток водяного пара, тепла влажного воздуха из помещений вызывает конденсацию влаги в толще ограждения и тем самым ухудшает влажностный режим конструкции; из этого следует, что воздухопроницаемость конструкций, особенно стыков и швов ограждающих конструкций, допустима и желательна, но в определенных пределах, так как чрезмерная фильтрация через стыки холодного наружного воздуха может существенно изменить теплозащитные качества ограждений.

3.3. Причины и механизм износа: воздействие грунтовой воды

Воздействие грунтовой воды. Имеющаяся в природе грунтовая вода может быть: *связанной* (химически, гигроскопически и осмотически впитанной или пленочной); *свободной*; *парообразной* (перемещающейся по порам из мест с большой упругостью водяного пара в места с меньшей его упругостью).

Грунтовая вода взаимодействует физически и химически с минеральными и органическими частицами грунта. Все ее виды находятся во взаимодействии друг с другом и переходят один в другой. Вода в грунтах всегда представляет собой раствор с изменяющимися концентрацией и химическим составом, что отражается и на степени ее агрессивности.

Оценивая агрессивность грунтовых вод, следует учитывать переменный ее характер: с течением времени возле подземных частей сооружений водный режим может изменяться, в связи с чем агрессивность среды будет повышаться или снижаться.

Атмосферные осадки, проникая в грунт, превращаются либо в парообразную, либо в гигроскопическую влагу, удерживающуюся в виде молекул на частицах грунта молекулярными силами, либо в пленочную, поверх молекулярной, либо в гравитационную, свободно перемещающуюся в грунте под действием сил

тяжести. Гравитационная влага может доходить до грунтовой воды и, сливаясь с ней, повышать ее уровень.

Грунтовая вода, в свою очередь, вследствие капиллярного поднятия перемещается вверх на значительную высоту и обводняет верхние слои грунта. В некоторых условиях капиллярная и грунтовая воды могут сливаться и устойчиво обводнять подземные части сооружений, в результате чего усиливается коррозия конструкций, снижается прочность оснований.

Изменение минералогического состава грунтовых вод меняет их агрессивность по отношению к подземным частям сооружений. В районах с большим количеством осадков (в северных) уровень грунтовых вод поднимается и снижается их карбонатная жесткость (в результате разбавления осадками); это усиливает способность вод к выщелачиванию извести в бетонных конструкциях. В засушливых районах, наоборот, из-за большого испарения влаги повышается концентрация минеральных солей в воде, что вызывает кристаллизационное разрушение бетонных конструкций.

Испарение из грунтов влаги и их увлажнение приводят к движению в грунтах воздуха (кислорода), что также повышает их коррозионную активность.

Существует много разновидностей агрессивности грунтовых вод. Из них чаще всего выделяют общекислотную, выщелачивающую, сульфатную, магнезиальную и углекислотную в зависимости от наличия в воде соответствующих примесей и их концентрации.

3.4. Причины и механизм износа: воздействие отрицательной температуры

Воздействие отрицательной температуры. Некоторые конструкции, например, цокольные части, находятся в зоне переменного увлажнения и периодического замораживания. Отрицательная температура (если она ниже расчетной или не приняты специальные меры для защиты конструкций от увлажнения), приводящая к замерзанию влаги в конструкциях и грунтах оснований, разрушающе действует на здания.

При замерзании воды в порах материала объем ее увеличивается, что создает внутренние напряжения, которые все возрастают вследствие сжатия массы самого материала под влиянием охлаждения. Давление льда в замкнутых порах весьма велико — до 20 Па. Разрушение конструкций в результате замораживания происходит только при полном (критическом) влагосодержании, насыщении

материала.

Вода начинает замерзать у поверхности конструкций, а поэтому разрушение их под воздействием отрицательной температуры начинается с поверхности, особенно с углов и ребер. Максимальный объем льда получается при температуре — 22 °С, когда вся вода превращается в лед. Интенсивность замерзания влаги зависит от объема пор. Так, если вода в больших порах начинает переходить в лед при 0 °С, то в капиллярах она замерзает только при 17 °С.

Самым устойчивым к замораживанию является материал с однородными и равномерными порами, наименее устойчивым — с крупными порами, соединенными тонкими капиллярами, так как перераспределение в них влаги затруднено.

Напряжение в конструкциях зависит не только от температуры охлаждения, но и от скорости замерзания и числа переходов через 0 °С; оно тем сильнее, чем быстрее происходит замораживание.

Камни и бетоны с пористостью до 15 % выдерживают 100 — 300 циклов замораживания. Уменьшение пористости, а следовательно, и количества влаги повышает морозостойкость конструкций.

Из сказанного следует, что при замерзании разрушаются те конструкции, которые увлажняются. Защитить конструкции от разрушения при отрицательных температурах — это прежде всего защитить их от увлажнения.

Промерзание грунтов в основаниях опасно для зданий, построенных на глинистых и пылеватых грунтах, мелко- и среднезернистых песках, в которых вода по капиллярам и порам поднимается над уровнем грунтовых вод и находится в связанном виде. Связанная вода замерзает не сразу и по мере замерзания перемещается из зон толстых оболочек в зоны с оболочками меньшей толщины; это объясняется подсасыванием воды из нижних слоев в зону замерзающего грунта.

Промерзание и выпучивание грунтов опасны только для наземных сооружений, поскольку уже на глубине примерно 1,5 м от поверхности нет разницы в колебаниях дневной и ночной температур, а на глубине 10—30 м не ощущается изменение зимних и летних температур.

Вода в грунте основания независимо от того, является ли она поверхностной, грунтовой или капиллярной, всегда создает

опасность промерзания грунта из-за повышения его теплопроводности при увлажнении.
Повреждения зданий из-за промерзания и выпучивания оснований могут произойти после многих лет эксплуатации, если будут допущены срезка грунта вокруг них, увлажнение оснований и действие факторов, способствующих их промерзанию.

3.5. Главный фактор физического износа - увлажнение конструкций

Влага является наиболее распространенным и сильно действующим фактором в износе строительных конструкций. Ее воздействие усиливается, если в ней содержатся агрессивные примеси, а также происходят колебания температуры.
При эксплуатации зданий часто приходится встречаться с увлажнением стен первого этажа из-за повреждения гидроизоляции и подсоса влаги; это приводит к развитию физико-химических процессов в конструкциях и нарушению температурно-влажностного режима в помещениях.
Увлажнение конструкций вызывается и другими причинами:

- выпадением зимой конденсата при недостаточной толщине стен,
- завышенной по сравнению с расчетной объемной массой (плотностью) материала конструкций,
- большими колебаниями температуры воздуха в течение суток,
- действием атмосферных осадков.

Высокая влажность воздуха в помещениях способствует развитию микроорганизмов. Грибы и плесень, интенсивно поражающие стены сырых помещений и оборудование, придают воздуху неприятный запах, нарушают санитарно-гигиенические условия труда. Пребывание людей во влажных помещениях вызывает повышенную отдачу тепла, уменьшает выделение влаги кожей и легкими, что отрицательно сказывается на жизнедеятельности. Металл в таких условиях подвергается коррозии.
В зданиях с нормальным температурно-влажностным режимом сухие кирпичи стены имеют массовую влажность около 3—4%. Если же она достигает 6% и более, то такие помещения считаются непригодными для длительного пребывания людей (бани, некоторые производственные здания).
Увлажнение конструкций бывает:

- *капельно-жидкое* (например, атмосферной влагой);
- *капиллярное* (грунтовой влагой, поднявшейся по капиллярам);
- гигроскопическое (влагой, поглощенной из воздуха при температуре конструкции выше точки росы);
- *конденсационное* (влагой, которая перешла из парообразного состояния в жидкое при температуре окружающей среды ниже точки росы).

Максимальное количество влаги, удерживаемое материалом конструкции при определенных параметрах наружного воздуха, называется ***равновесной влажностью***. Ее значения при 0 °С и относительной влажности воздуха 80%

для кирпича — около 0,5%, пенобетона — около 5%, а для сосны и фибролита — 17—20%.

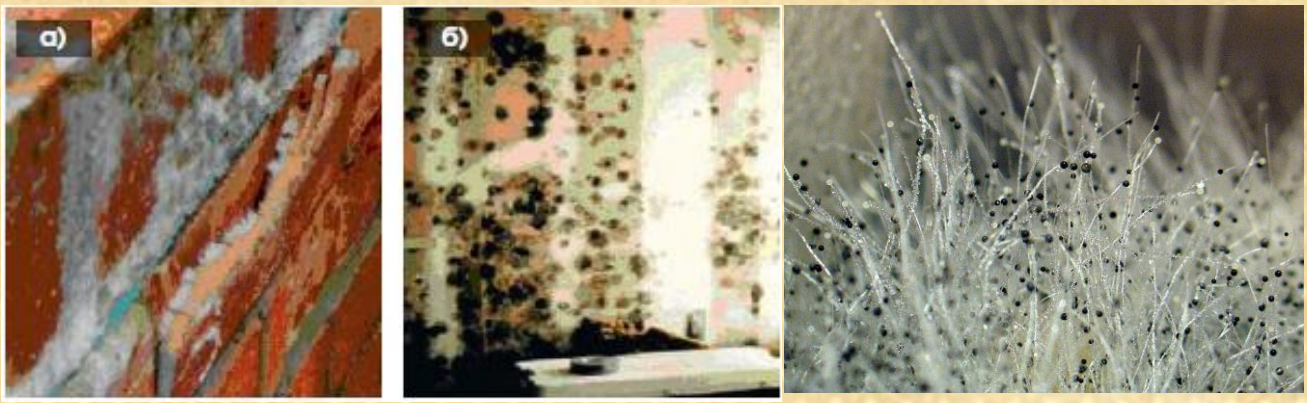
Виды и формы увлажнения конструкций

Влажность воздуха в помещениях зависит от атмосферной влажности, материала и состояния ограждающих конструкций, их толщины, от качества гидроизоляции стен, от протекающих в помещениях процессов, а также от интенсивности отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха. Допустимая влажность воздуха в помещениях в зависимости от его температуры нормирована. По допустимой величине среднесуточного показателя относительной влажности воздуха все помещения делятся *на четыре категории*.

Поддержание требуемой влажности воздуха в помещениях имеет большое значение как для сохранности расположенного в них оборудования и конструкций здания, так и для людей, причем важную роль в этом играет влажностное состояние конструкций. В зависимости от основных источников увлажнения различают четыре вида и ряд форм увлажнения ограждающих

конструкций: *строительное, атмосферное, технологическое (бытовое) и увлажнение грунтовой влагой*.

Строительная влага — это влага, попадающая в конструкции в ходе строительства зданий и сооружений вследствие применения влагоемких и гигроскопичных материалов, обильного увлажнения конструкций при транспортировке и хранении, при мокрых процессах производства работ (кирпичная кладка, мокрая штукатурка) и т. п. В 1 м^3 новой кирпичной кладки содержится до 200 л воды, что составляет более 10 % массы кладки. Строительная влага удаляется из конструкций в процессе естественной сушки в течение первых двух лет эксплуатации сооружений; она может удаляться также искусственной сушкой и усиленной вентиляцией, например горелками с инфракрасным излучением.



Деструктивное воздействие влаги на строительные конструкции
а) морозная деструкция наружной поверхности стены;
б) образование плесени на внутренней поверхности стены под обоями; плесень под микроскопом

Атмосферная влага в конструкциях накапливается вследствие смачивания их дождевой водой в случае неорганизованного водоотвода с крыши, малого выноса карниза, а также повреждения водосточных труб и желобов, покрытий карнизов, парапетов, балконов или в результате гигроскопического увлажнения атмосферным воздухом. Смачивание конструкций атмосферными осадками носит временный или периодический характер, и их можно защитить от него специальными покрытиями. Более устойчиво равновесное увлажнение, но оно не изменяет влажности конструкций (не более 2—3%) и зависит от климата: в сухом климате оно ниже.

Источником *технологической влаги* являются происходящие в здании процессы, в том числе сгорание природного газа на кухнях: 1 м^3 газа дает 1,6 л воды. При низкой температуре внутренней поверхности стены на ней или внутри конструкции из паровоздушной смеси выпадает влага — конденсат.

Насыщение конструкций конденсатом зависит от их плотности, в частности наружного и внутреннего штукатурных слоев, и от способности материала поглощать (сорбировать) влагу из воздуха.

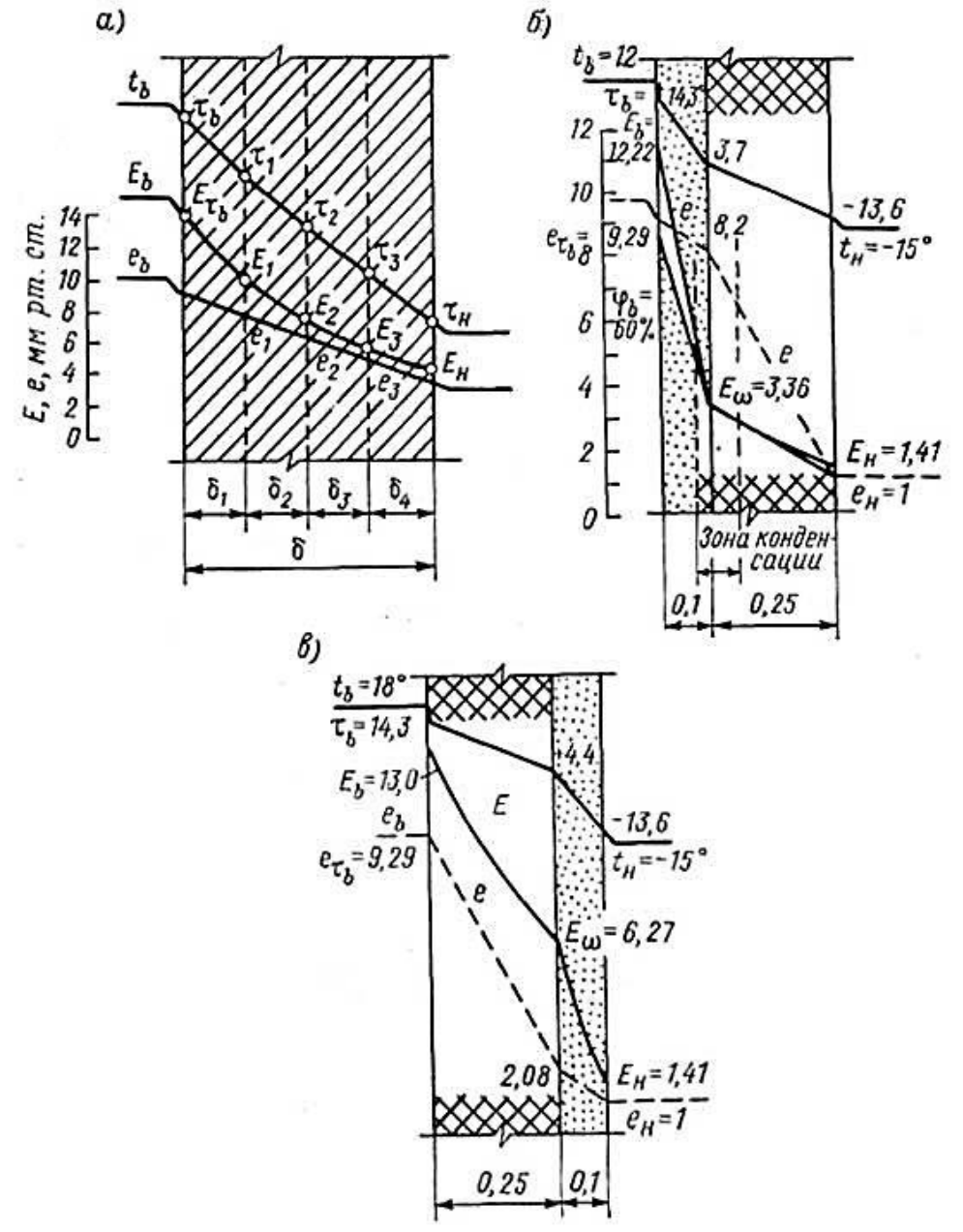
Проникновение *грунтовой влаги* в конструкции объясняется притоком ее из грунта под действием капиллярных и осмотических сил, когда повреждена гидроизоляция. Наиболее распространенным и серьезным последствием увлажнения стен и покрытий является их промерзание: теплопроводность влажного материала, а тем более с прослойками воды, во много раз выше, чем сухого; еще больше теплопроводность материала, в котором вода превратилась в лед. Усиление стен и покрытий нужно начинать с устранения источника увлажнения и осушения конструкций.

В кирпичных стенах действуют электрические поля, вызванные физико-химическими процессами, протекающими в кладке, например термопарным эффектом, блуждающими токами, воздействием электромагнитных волн, солнечной радиации, а также трением воздушных масс при сильном ветре и т. п. Чем больше разность потенциалов на отдельных участках стен, тем резче проявляется электроосмос — протекание влаги вслед за выравниванием электрических потенциалов.

Все виды повышенной влажности конструкций вредны, а потому ее необходимо устранять путем их осушения. Строительное и атмосферное увлажнение и осушение от влаги не нуждаются в пояснениях. Остановимся подробнее на причинах и сущности конденсационного увлажнения и увлажнения грунтовой влагой.

Конденсационное увлажнение конструкций. Конденсат может выпадать на внутренней поверхности стены, если ее температура совпадает с точкой росы, или внутри конструкций в результате диффузии водяных паров к холодной ее части; это зависит от распределения температуры в стене, парциального

давления водяных паров воздуха и способности материала конструкции поглощать влагу из воздуха.



Условия в стене конденсата: а — расчетная схема; б - образование зоны конденсации при длительном накоплении влаги; в – нет зоны конденсации

Диффузия водяных паров сквозь толщу конструкции вызывается парциальным давлением (упругостью) паров воздуха, которое зависит от его температуры: с ее повышением оно увеличивается. Так, при температуре — 20 °С и 100 %-ной относительной влажности оно составляет 0,77 мм рт. ст., а при +100 °С равно 760 мм. Следовательно, движение воздуха с парами воды через конструкцию происходит с той стороны, где температура более высокая. Парциальное давление вызывает молекулярный процесс — *диффузию пара*, а общее

давление — *молекулярный перенос вещества*, который может совершаться в любом направлении. Диффузия зависит от напряжения и знака электрического поля и представляет собой перенос влаги от плюса к минусу.

Парциальное давление паров воздуха на 1 м^2 поверхности определяется из условия, что давление 1 мм рт. ст. соответствует давлению воздуха 1,36 МПа. При большой разнице наружной и внутренней температур по обе стороны от ограждения парциальное давление становится значительным. Так, при температурном перепаде от —20 до +20 °С перепад парциального давления составляет (17,54—0,77) • 13,66 = 22,8 МПа.

Зависимость давления *p* и плотности ρ́ насыщенного водяного пара от температуры

t, °С	*p*, кПа	ρ, г/м^3	*t*, °С	*p*, кПа	ρ, г/м^3
−5	0,40	3,2	11	1,33	10,0
0	0,61	4,8	12	1,40	10,7
1	0,65	5,2	13	1,49	11,4
2	0,71	5,6	14	1,60	12,1
3	0,76	6,0	15	1,71	12,8
4	0,81	6,4	16	1,81	13,6
5	0,88	6,8	17	1,93	14,5
6	0,93	7,3	18	2,07	15,4
7	1,0	7,8	19	2,20	16,3
8	1,06	8,3	20	2,33	17,3
9	1,14	8,8	25	3,17	23,0
10	1,23	9,4	50	12,3	83,0

В средних и северных климатических зонах большую часть года температура воздуха в помещениях выше наружной, особенно в кухнях, ванных комнатах, банях, прачечных и т. п. В этих условиях воздух через неплотности в конструкциях проникает наружу, главным образом вверху, и по мере его охлаждения влага конденсируется и задерживается в толще ограждения. Повышенное насыщение конструкций влагой приводит к слиянию воды в пустотах и порах в теплопроводящий канал, в результате чего теплопроводность конструкций повышается. Объясняется это тем, что теплопроводность воды (λ = 0,5) в 25 раз выше, чем воздуха (λ = 0,02). Таким образом, чем больше воды в порах конструкции на пути теплового потока, тем выше теплопроводность ее материала. Высокое конденсационное увлажнение влечет за собой повышение теплопроводности стен, интенсивный перенос

тепла и значительные потери его при испарении влаги; это весьма распространенное и нежелательное увлажнение стен.

В однородной стене конденсат не образуется, если ее наружный слой не очень плотен, не способствует накоплению
влаги и не препятствует естественному ее удалению, а температура внутренней поверхности выше точки росы. Проверка возможности образования конденсата производится путем построения трех кривых (см. рис. выше): t — линии фактического распределения температур в стене, E — линии изменения насыщенного парциального давления водяного пара (по справочным данным), e — линии фактического парциального давления водяного пара, определяемого по формуле:

$$e_x = e_в - (e_в - e_н)/ R_{в.п} * (\sum_{x=1} R_п + R_{в.п}); \qquad (3.1)$$

здесь e_x — парциальное давление водяного пара в произвольном сечении; $R_{в.п}$ — сопротивление влагообмену на внутренней поверхности ограждающей конструкции; $\sum R_п$ — сумма сопротивлений паропроницанию слоев конструкции, расположенных между внутренней поверхностью и рассматриваемым сечением;

$$R_п = \delta / \mu \qquad (3.2)$$

где δ — толщина слоя; μ — коэффициент паропроницаемости материала.

Конденсат внутри стены может выпадать, если разные по тепловому сопротивлению слои конструкции расположены неправильно: изнутри поставлен теплый слой, в результате чего образуется зона конденсата — линии E и e пересекаются. Если теплый слой поставлен снаружи, зона конденсации не образуется— линии E и e не пересекаются. На практике утеплять стену приходится изнутри, но при этом ставят надежную пароизоляцию.
В однородной стене, даже в помещениях с высокой влажностью, но при плотном защитном слое изнутри, зона конденсации не образуется и линии E и e не пересекаются.

Капиллярное и электроосмотическое увлажнение конструкций грунтовой влагой. Наиболее устойчивым и трудноустранимым видом сырости является грунтовая сырость, образующаяся в результате увлажнения стен влагой из грунта. При повреждении гидроизоляции или при подсыпке грунта вокруг здания выше гидроизоляции стены увлажняются двумя путями: капиллярным поднятием влаги в конструкции; электроосмотическим ее поднятием.
Высота смачивания и капиллярного поднятия влаги [м] в конструкции зависит от диаметра капилляров:

$$H = 2*a/r*g*d, \qquad (3.3)$$

где а — поверхностное натяжение воды (константа капиллярности); r — радиус капилляра; g — ускорение силы тяжести; d — плотность воды при данной температуре.

Анализ формулы (3.3) показывает, что вода по капиллярам поднимается тем выше, чем они тоньше. Поскольку кирпичные стены (кирпич и раствор) неоднородны, высота поднятия воды в их капиллярах находится в пределах 0,5—1 м. На практике же зачастую наблюдается увлажнение целых этажей, т. е. подъем влаги на 5—6 м, что обусловлено ее электроосмотическим поднятием; при этом чем больше разность потенциалов на участках стены, тем активнее подсасывается влага.

Из изложенного следует, что образование сырости в стенах объясняется двумя группами причин:

- дефектами зданий, допущенными в проекте и при строительстве (тонкие и промерзающие стены, отсутствует или неудовлетворительна гидроизоляция стен от фундаментов и т. п.);
- нарушением правил эксплуатации зданий (подтопление при разрушении отмостки, подсыпка грунта выше гидроизоляции, плохой дренаж, утечка жидкости из инженерных сетей и т.п.).

Признаки и последствия увлажнения конструкций. Высокая влажность конструкций определяется по внешним признакам (по их цвету, запаху, на ощупь) или путем исследования проб. Об избыточности влаги в конструкциях свидетельствуют мокрые темно-серые или выцветшие пятна на стенах, растрескивание и выпучивание штукатурки и др.

Увлажнение конструкций при наличии трещин в защитном слое способствует коррозии закладных деталей и связей, арматуры, снижая надежность и долговечность зданий. Увлажнение конструкций может иметь и другие последствия. Так, содержание в грунтовых водах, увлажняющих конструкции, азотно-калиевых солей приводит обычно к образованию на их поверхности «стенной» селитры, впитывающей влагу из воздуха и тем самым дополнительно увлажняющей конструкции. Нежелательными результатами увлажнения являются коррозия бетонных и железобетонных конструкций и гниение деревянных. Фильтрация мягких вод

через конструкции вызывает выщелачивание извести, а фильтрация засоленных вод — кристаллизационное разрушение бетона, названное физико-химической коррозией.

Распространенным и отрицательным последствием увлажнения стен и покрытий является их промерзание.

Защита стен от увлажнения и их осушение

Наиболее сложна защита конструкций от грунтовой влаги. Эффективность осушения кирпичных стен во многом зависит от точности обнаружения места повреждения скрытой от визуального осмотра гидроизоляции и определения требуемого объема ремонтных работ. Методы защиты стен от увлажнения можно объединить в четыре группы.

Первая группа — создание препятствий на пути влаги к конструкциям:

водонепроницаемая преграда в грунте на пути воды к конструкции, выполняемая набивкой глины, нагнетанием битума, петролатума, посредством электросиликатизации и т. п.;

дренаж вокруг здания или со стороны притока воды;

водонепроницаемый экран (гидроизоляция) на поверхности конструкции из битума, химических пленок, рулонных материалов на битуме и т. п.

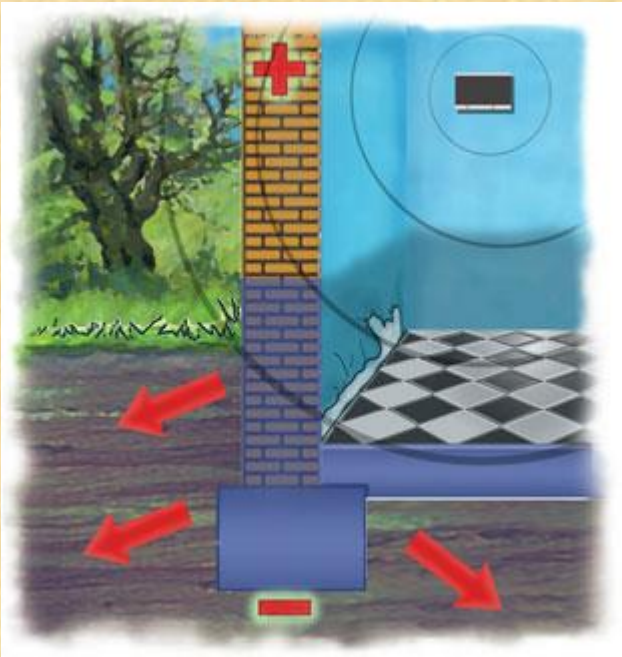
Вторая группа — восстановление или устройство новой гидроизоляции путем пробивки в цокольной части паза с закладкой в него слоя гидроизоляции, путем плавления кладки током и перемещения нагретого до 1900 °С электрода в стене.

Третья группа — электроосмотическая защита: пассивная и активная, в том числе гальваноосмос.

Четвертая группа — устройство водонепроницаемой преграды путем тампонажа.

Осушают конструкции только после выполнения мер по прекращению увлажнения.

Методы защиты стен от увлажнения выбираются исходя из условий объекта: при малых объемах работ, например при местном повреждении гидроизоляции, может быть применен метод восстановления гидроизоляции, а при больших объемах используются такие методы, как понижение уровня воды посредством нового дренажа, устройства непроницаемой зоны в цокольной части путем нагнетания тампонажных растворов или электроосмоса. Рассмотрим подробнее наиболее эффективные методы защиты зданий от увлажнения.



Электроосмотическое осушение стен. Данный метод основан на движении жидкости через поры, капилляры и другие пустоты при наложении электрического поля.

Если нейтрализовать разность потенциалов в мокрой стене коротким замыканием, то электроосмотическое воздействие на конструкции прекратится и влага перестанет перемещаться; если изменить естественную полярность между стеной и фундаментом, подав в верхнюю часть стены ток, то влага пойдет в обратном направлении, будет отжиматься вниз, в результате чего конструкция начнет осушаться. Электрический ток здесь выполняет роль своеобразного всасывающе-нагнетающего насоса: анод как бы нагнетает воду, а катод всасывает ее.

Электроосмотическое осушение может быть пассивным и активным. *Пассивное* осуществляется посредством короткого замыкания проводом двух участков влажной стены, *активное* — с помощью наложенного тока или гальванических элементов.

Установлены следующие закономерности электроосмотического перемещения влаги в конструкциях:

1. количество перенесенной жидкости прямо пропорционально силе тока;
2. удельное количество перенесенной жидкости или ее объем на единицу силы тока не зависят от площади сечения и длины капилляров, оно возрастает с увеличением сопротивления жидкости (уменьшением концентрации раствора);
3. высота поднятия жидкости, определяемая максимальным электроосмотическим давлением, при данном радиусе капилляров пропорциональна силе тока.

Строительные конструкции представляют собой жесткие капиллярно-пористые системы. Движение воды в них при электроосмосе носит ламинарный характер и является следствием одновременного действия электрических и гидродинамических сил.

Наиболее важными характеристиками стены, создающими возможность электроосмотического осушения, служат ее параметры по вертикали, с которыми связаны подъем и опускание жидкости и которые поддаются определению.

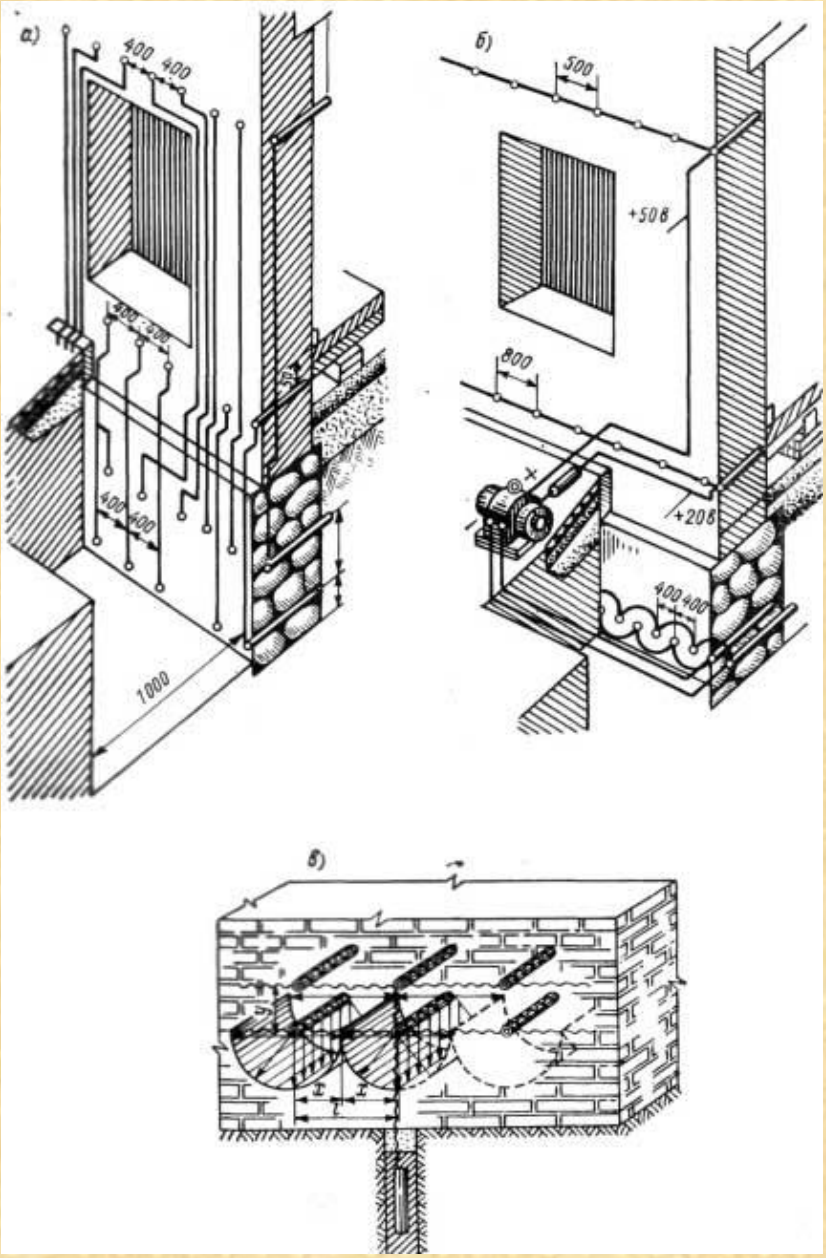
При постоянных влажности и температуре уравнение скорости движения воды при электроосмосе имеет вид:

$$v = v_м + v_э = —к_ф*grad*h — k_э*grad\varphi. \quad (3.4)$$

где $v_м$ — составляющая скорости фильтрации v, обусловленная силами давления или пьезометрическим напором; $v_э$ — составляющая скорости фильтрации v, обусловленная электроосмотическим воздействием; h — пьезометрический (измеряемый) напор; φ — электрический потенциал; $k_э$ — коэффициент электроосмоса; $к_ф$ — коэффициент фильтрации.

Расход воды через элемент конструкции в единицу времени под воздействием механических сил определяется по формуле:

$$Q_м= k_ф|_\omega grad*h*d*\omega = k_ф*\omega*h/l = k_ф*\omega*I \quad (3.5)$$



Электроосмотическое осушение стен: пассивное (а), активное (б) и с помощью гальванических элементов (в)

Расход воды через образец под воздействием электроосмотических сил вычисляется по формуле:

$$Q_э = k_э |_{\omega} grad*\varphi*d*\omega = k_э*E/e*\omega, \qquad (3.6)$$

где ω — площадь поверхности конструкции, через которую фильтруется вода; I — гидравлический уклон; L — длина пути фильтрации; E/e— градиент внешней разности потенциалов.

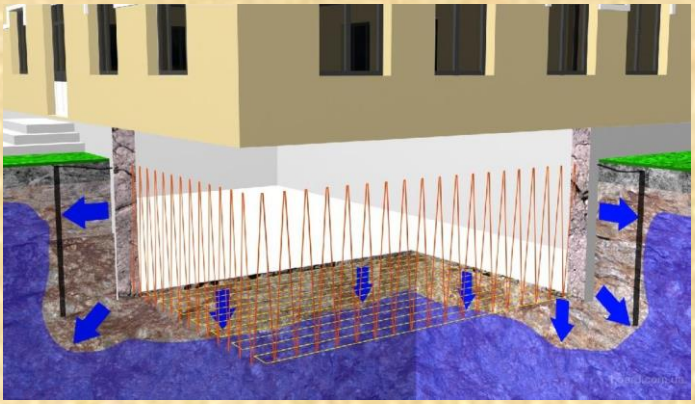
Основным показателем эффективности электроосмотической защиты конструкций от увлажнения является коэффициент электроосмотической активности $k_{э.а}$, представляющий собой отношение двух коэффициентов:

$$K_{э.а} = k_э/k_ф \qquad (3.7)$$

и характеризующий степень возможной активизации фильтрации за счет электроосмоса, т. е. показатель практической его эффективности.

Из изложенного следует вывод, что действие электрического поля на движение воды при осушении конструкций характеризуется не абсолютным значением $k_э$, меняющимся в малом диапазоне, а его относительным значением по сравнению с $k_ф$. Формулы для определения значений коэффициентов фильтрации $k_ф$ и электроосмоса $k_э$ приведены в работе О. М. Фридмана «Электроосмотический метод ликвидации сырости стен зданий» (Стройиздат, 1971).

Сущность способа гальванических элементов заключается в использовании тока гальванических элементов, создаваемых в сырой стене и грунте: химические реакции, протекающие в стене вокруг специально устроенных короткозамкнутых гальванических элементов, подпитываемых от протектора, заложенного в грунт, служат причиной самопроизвольного возникновения тока, способствующего перемещению в стене влаги.



Необходимые параметры процесса обезвоживания пористых систем обеспечивают короткозамкнутые гальванические элементы; эти параметры можно значительно увеличить при групповых соединениях элементов.

Поскольку два любых металла с разными нормальными электродными потенциалами дают некоторую их разность, гальванические элементы для электроосмотического осушения могут быть построены из самых различных электродов; при этом стоимость их должна быть наименьшей, а срок службы — максимальный при сведении к минимуму поляризации. Наиболее выгодны по максимальной и стабильной в течение года величине силы тока магниевые, магниево-литиевые, медно- и угольно-цинковые гальванические элементы.

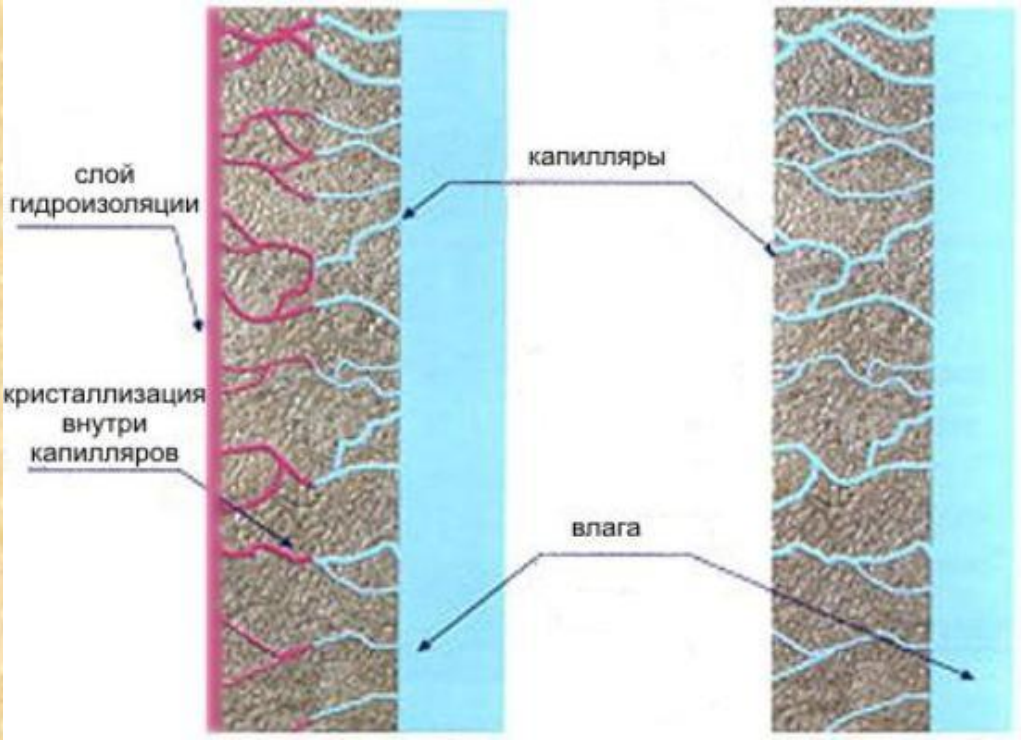
При гальваноосмосе электроды размещают с внутренней стороны, причем более активный из них — протектор — в наиболее влажной среде (в грунте под зданием или ниже зоны промерзания).

Проектирование многопарных гальванических установок для осушения стен сводится к определению расстояния между их парами и, следовательно, числа

пар на осушаемом участке, расстояния между электродами в парном элементе и расположения протекторов.

Чем больше поверхность протектора, тем шире сфера его действия. Обычно более выгодно применение небольших протекторов, но в большом количестве. На длительности и активности протекторов сказываются влияние влажности и химическая характеристика грунтов в сочетании с химической характеристикой протектора. Наибольшую разность потенциалов создают магниевые протекторы, причем длительность их службы при массе от 5 до 10 кг колеблется в пределах от 8 до 20 лет. Протекторы должны иметь цилиндрическую или шаровую форму, так как острые грани, углы и выступающие части быстрее разрушаются.

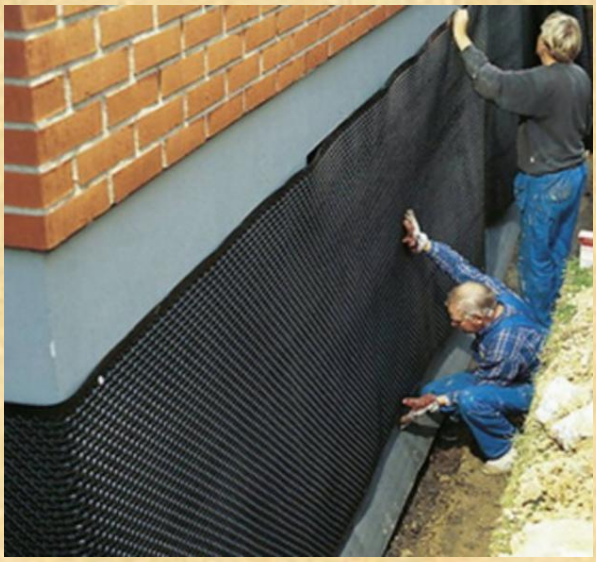
Для выбора электродов и оптимального размещения их в здании составляют проект. Контроль влажности конструкции осуществляется путем электроизмерений или отбора и высушивания проб, извлеченных из стены. Расстояние между электродами принимается примерно 0,5 м; напряжение, подаваемое на стену при активном электроосмотическом осушении, не должно превышать 40—60 В, сила тока 3—5 А. Осушение наложенным током длится не более двух-трех недель, после чего источник отключается и установка превращается в пассивную.



Опыт применения электроосмотического метода показывает, что он весьма эффективен для осушения стен зданий и сооружений. Преимущества его заключаются в следующем:

- при небольших затратах на монтаж установки он почти не требует расходов на эксплуатацию;

- продолжительность работы генератора постоянного тока при активном методе осушения не превышает двух-трех недель;
- осушение осуществляется быстро, в среднем за три-четыре месяца, что в три-четыре раза быстрее, чем естественное;
- система электроосмотического осушения может использоваться длительное время, даже на протяжении десятков лет для предупреждения увлажнения в дальнейшем.



Создание гидроизоляционного пояса в кладке стен. Для создания капиллярного прерывателя в стенах используют растворы кремнийорганических соединений: ГКЖ-10 — этилсиликоната натрия и ГКЖ-П — метилсиликоната натрия. Эти растворы маловязки и легко проникают в кладку, образуя на поверхности пор и капилляров нерастворимую водоотталкивающую пленку, препятствующую капиллярному подсосу.

Для уплотнения бетонных конструкций применяется раствор, состоящий из карбамидной смолы (крепитель М) и отвердителя — щавелевой или иной кислоты. Растворы подаются с помощью инъекторов или иных устройств.

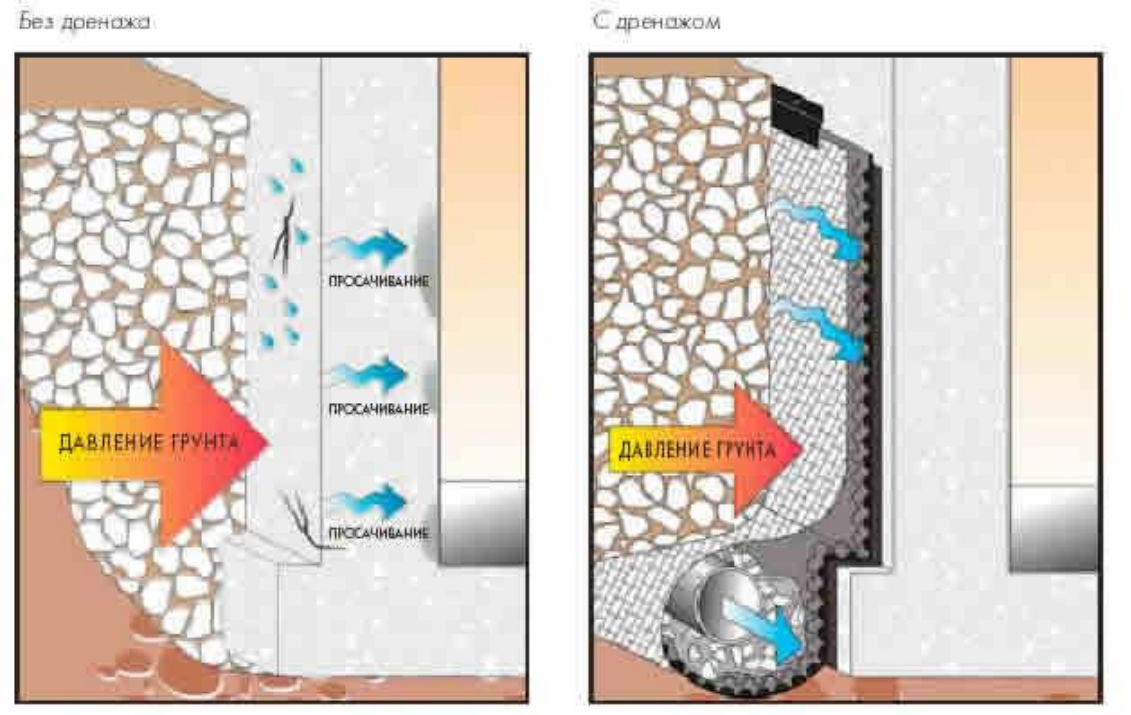
Для нагнетания раствора в кладку электродрелью с победитовым наконечником бурят отверстия диаметром 30 мм на 0,9 толщины стены. Раствор поступает из бака в распределительный коллектор, а затем по шлангу и через инъекторы — в кладку. Он подается под воздействием гидростатического давления, создаваемого в результате поднятия бака с раствором, или с помощью сжатого воздуха. При этом можно одновременно обрабатывать стену длиной 4—6 м через 4—14 отверстий. Расстояния между отверстиями в среднем равны 0,5 м; отверстия располагаются в одну линию или в шахматном порядке на высоте 0,5 м над уровнем пола.

Насыщение раствором уже подсушенной кладки более эффективно; оно достигается путем подачи в отверстия для инъекторов сухого горячего воздуха. Через полгода после такой обработки влажность стены на разных ее участках снижается от максимальной (13—20%) до минимальной (2,6—12,3%).

Особенности устранения сырости в подвалах и заглубленных сооружениях. В отличие от наземных зданий, осушение которых может быть естественным или искусственным, осуществляемым как снаружи (под действием солнечных лучей, ветра), так и изнутри (посредством отопления, искусственной и естественной вентиляции), подвалы и заглубленные сооружения, находясь в

земле, осушаются лишь изнутри. Влага, закупоренная в конструкциях таких сооружений, может быть удалена только изнутри помещений отоплением и вентиляцией или иными способами осушения воздуха.

В заглубленных сооружениях имеются два основных источника увлажнения конструкций и воздуха: грунтовой влагой при повреждении гидроизоляции; переувлажненным воздухом, поступающим в помещения.



Осушение подвалов и заглубленных сооружений, как и наземных зданий, можно производить только после устранения причин увлажнения. Влага из материала конструкций может удаляться либо путем усиленной вентиляции помещений (совместно с отоплением), либо с помощью кондиционеров, механических и сорбционных воздухоосушителей, либо посредством силикагеля, подвешенного в мешочках. При осуществлении перечисленных способов осушения важно, чтобы при этом не поступал наружный воздух.

Если заглубленные сооружения не отапливаются, но в них по условиям эксплуатации необходимо поддерживать заданную влажность (склады и т. п.), то они осушаются механическими либо сорбционными воздухоосушителями или силикагелем, при исключении притока наружного воздуха.

Механические осушители представляют собой небольшие фреоновые установки, в которых воздух первоначально охлаждается на ребристом испарителе, а затем подогревается на ребристом конденсаторе. Выходя из осушителя, он становится осушенным и подогретым. Такие установки работают только при положительной температуре воздуха.

Более эффективное осушение воздуха производится *в хлористокальциевых установках* перезаряжаемого типа, простых по конструкции и в эксплуатации.

Они состоят из металлического корпуса, в котором размещены осушительные кассеты и поддон для сбора влаги, и вентилятора для подачи воздуха в установку. Осушение осуществляется за счет разности парциальных давлений водяных паров в воздухе и на поверхности сорбента; эта разность тем больше, чем выше температура и относительная влажность воздуха и чем больше концентрация хлористого кальция.

*Роторный **сорбционный** осушитель воздуха DT7500 Sp (Екатеринбург)*

Фреоновый фильтр-осушитель

Недостатком хлористокальциевых установок является необходимость периодической их перезарядки. Они могут применяться только в изолированных помещениях, где нет притока наружного воздуха. Установка может работать при естественном движении воздуха, но более эффективно она используется, если хлористый кальций расстилать тонким слоем и воздух прогонять принудительно, т. е. путем повышения скорости поглощения влаги и увеличения поверхности омывания.

3.6. Износ металлических конструкций под действием коррозия

Можно придать металлу повышенную коррозионную стойкость при изготовлении, например легированием, но такой металл получается очень дорогим, ибо легирующие присадки дефицитны и дороги. Поэтому в строительстве используется обычная сталь, которую приходится защищать от коррозии уже в изделиях.

Различают методы защиты от коррозии конструкций, работающих в атмосферных условиях, и конструкций, находящихся в почвенной среде, т. е. в заглубленных сооружениях.

Каждый такой метод объединяет большую группу способов. Выбор способа и его реализация зависят от всестороннего учета ряда факторов, характеризующих как металл и конструкцию из него, так и агрессивную среду, условия протекания коррозионного процесса. Часто бывает так, что единственно возможен только один вполне определенный способ.

Методы защиты конструкций от коррозии в атмосферных условиях. Защиту конструкций осуществляют либо снижением агрессивного действия среды, либо изоляцией металла от нее.

Первый метод — снижение агрессивного действия среды — эффективен при условии, что среда замкнута и изолирована. Примером может служить удаление агрессивных компонентов из воздуха помещений путем вентиляции или удаление из воды в теплоэнергетических установках кислорода как агрессивного фактора посредством ее аэрации и исключения подпитки неаэрированной водой.

Второй метод — изоляция металла от среды — весьма распространен и не только в атмосферных условиях, но и в заглубленных сооружениях. В зависимости от средств изоляции он охватывает ряд способов, но отличается тем, что для его осуществления слой изоляции должен быть толстым и прочным, кислотощелочестойким, а выполнение такой изоляции дорого и сложно.

В последнее время все больше используются полимерные и неорганические (силикатные) покрытия. Самые распространенные из них во всех видах техники, в том числе и строительной, — лакокрасочные. Более 80% металлоконструкций защищаются именно такими покрытиями.

Лаки, краски, а также различные смазки, хотя частично и проницаемы для воздуха и жидкостей, но широко применяются потому, что их просто наносить и они придают конструкциям красивый внешний вид.

Надежность и долговечность защитных покрытий зависят от многих факторов, в частности от качества подготовки поверхности к их нанесению. В последнее

время стали создавать в заводских условиях при изготовлении металлоконструкций металлическую подоснову под окрасочный состав из алюминия, цинка и других металлов, наносимых газопламенным способом; это продлевает срок службы покрытия и металла в два раза.

Широкое распространение получили также *грунтовки на основе фенольных смол, фосфатирующие и эпоксидные грунтовки*. Противокоррозионные свойства грунтовок усиливаются введением в них таких пассивирующих пигментов, как свинцовый сурик, цинковая пыль и др.
Для нанесения любого защитного покрытия металл зачищается до блеска и не позже чем в течение четырех часов на него наносятся грунтовка, потом шпаклевка, далее краска, эмаль и сверху лак с перерывами для высыхания каждого слоя. Для верхних слоев применяют ПХВ эмали на основе сополимера хлорвинила с виниладенхлоридом, эпоксидные эмали. Конструкции, работающие в условиях высокой влажности, защищаются эмалями на основе акриловой смолы.

Ингибиторы (соли легких металлов), добавленные в окрасочный состав или использованные для пропитки оберточной бумаги, в восемь-десять раз продлевают срок службы металла, а потому их считают химической броней металлов. Добавление ингибиторов в агрессивную среду, например кислоту, позволяет хранить ее в металлических емкостях. Обертывание ингибированной бумагой удобно тем, что на распаковку изделий и приведение их в рабочее состояние затрачивается минимум сил и средств.
В последние годы получил распространение способ защиты металлоконструкций без удаления продуктов коррозии, так как стоимость очистки и подготовки поверхности составляет около 40 % стоимости защитных мероприятий. Этот способ основан на растворении продуктов коррозии, например по рецепту Н. А. Назаровой, ортофосфорной кислотой, кровяной солью, толуолом и скреплении их эпоксидной смолой.

Методы защиты металлических конструкций от почвенной коррозии. Такие методы подразделяются на ряд способов, связанных с использованием специальных материалов для защиты от воздействия внутренних факторов, а также на три группы методов, обеспечивающих защиту от воздействия

внешних факторов. Использование специальных коррозионностойких материалов для конструкций подземных сооружений еще не получило достаточного развития. Для защиты металлоконструкций от почвенной коррозии чаще всего служат покрытия на основе битумов и электрохимический метод.

Защитные битумные покрытия бывают трех типов: нормальные, усиленные и весьма усиленные. Защита подземных конструкций покрытиями на основе битумов, как показал опыт эксплуатации, недостаточна. Действительно, первое время такие покрытия воздухо- и водонепроницаемы, надежно изолируют конструкции от внешней агрессивной среды. Однако в дальнейшем под воздействием грунтовой воды, кислорода воздуха, температурных деформаций конструкции и иных факторов как на сооружение в целом, так и на защитное покрытие нарушается их герметичность, открывается доступ электролита к конструкции и начинается электрохимическая коррозия.

Дальнейшее развитие коррозии предотвращается электрохимической защитой, которая строится на основе теории многоэлектродных систем. Сущность такой защиты состоит в том, что защищаемая конструкция подвергается или катодной поляризации от специально установленных анодов из более активного металла, или поляризации наложенным постоянным током от внешнего источника. Для прекращения почвенной коррозии надо, чтобы разность между катодным и анодным участками конструкции равнялась нулю или чтобы электросопротивление протеканию тока коррозионного элемента (за счет изоляции) было очень большим. Чтобы сделать разность потенциалов равной

нулю, необходимо довести катодную поляризацию сооружения до общего потенциала, равного начальному потенциалу анодного участка.

В подобных условиях на всей поверхности защищаемой конструкции протекают лишь катодные процессы и она перестает корродировать. Потенциал, при котором прекращается коррозия, называют ***защитным потенциалом***, а плотность тока, обеспечивающую сдвиг потенциала до защитного,— ***защитной плотностью тока***. Все это достигается одним из двух способов: протекторной или катодной (активной) защитой.

Электрохимическая защита металлоконструкций от почвенной коррозии производится с учетом характеристики грунтов, срока службы сооружения и других факторов, в том числе наличия в зоне защищаемого сооружения блуждающих токов.

Протекторная защита подземных конструкций от коррозии осуществляется электродами-протекторами, обладающими более отрицательными потенциалами и выполняющими в паре с защищаемым сооружением роль анода.

Методика расчета протекторной защиты стальных трубопроводов и гидроизоляции объемных сооружений различна и нами не рассматривается, но во всех случаях основным ее содержанием является определение защитного потенциала, защитной плотности тока.

Протекторы изготовляются обычно из магниевого сплава и создают разность потенциалов до 1 В; они могут быть также цинковыми и реже — алюминиевыми. Протекторы выполняются цилиндрическими или пластинчатыми. Они соединяются с сооружением изолированным проводом через стальной сердечник, вставленный в протектор.

Число протекторов n, необходимое для защиты конструкций, зависит от размеров защищаемой поверхности S ($м^2$), минимальной защитной плотности j ($А/м^2$, причем $j_{ст}$ = 0,016 $А/м^2$); коэффициента k, характеризующего защищенность конструкции (для обычных бетонов k = 0,2), силы тока протектора в данной среде $i_{прот}$ и определяется по формуле:

$$n = I_{общ} / i_{прот} = k*j*S / i_{прот} \qquad (3.8)$$

Продолжительность работы протектора в годах вычисляется по формуле:

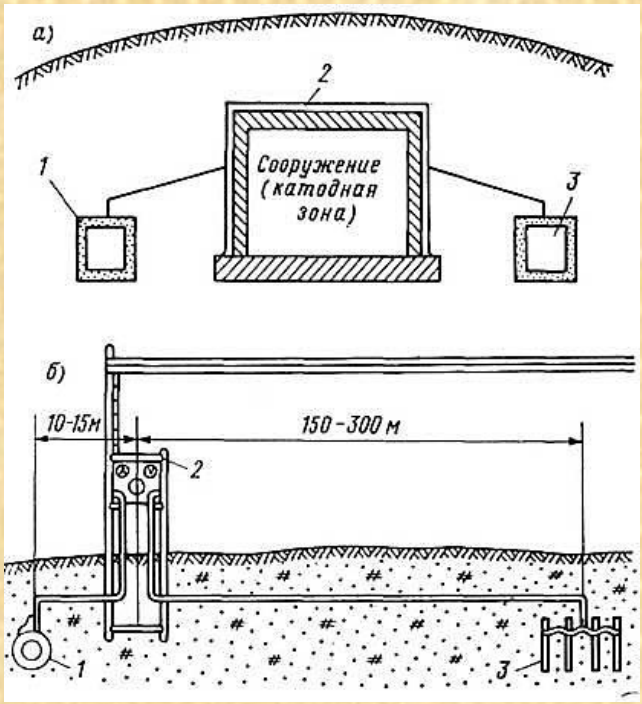
$$T = 0,114M*g*D / i_{прот} \qquad (3.9)$$

где M — масса протектора, кг; g — электрохимический эквивалент материала протектора, ч/кг; $i_{прот}$ — защитный ток в цепи «протектор-сооружение», А; D — КПД протектора.

Полученное по расчету число стандартных протекторов набирается из типовых элементов. Для надежного контакта протектора с грунтом и устойчивой работы

он размещается в наполнителе (гипс, глина, сернокислый натрий или магний). Срок службы протекторов составляет 10—15 лет.

Протекторную защиту выгодно применять при удельном сопротивлении грунта более 60 Ом*м и в грунтах с кислой средой, т. е. когда протекторы будут работать надежно.



Схемы защит: а — протекторной: 1 — наполнитель; 2 — металл; 3 — протектор; б — катодной: 1 — защитное сооружение; 2 — катодная сетевая станция; 3 — анод

Устройство электрохимической защиты трубопроводов

Катодная (активная) защита осуществляется посредством постоянного тока, подаваемого через погруженный в грунт электрод (анодное заземление). При этом отрицательный электрод постоянного тока присоединяется к защищаемому сооружению — катоду, а положительный — к аноду. Сооружение поляризуется отрицательно; потенциал его становится отрицательнее потенциала коррозионных анодных пар, и ток коррозии прекращается. При такой защите разрушается дополнительный электрод, с которого ток стекает в грунт. В качестве электрода (анода) используются отходы — куски рельс, труб и т. п. При этом коррозия не прекращается, а лишь переносится на дополнительный элемент, который с течением времени может быть заменен, а защищаемое сооружение не разрушается, так как является катодом.

Необходимость катодной (наложенным током) защиты подземных конструкций определяется показателем В в зависимости от срока их службы, начальной и допустимой остаточной толщины металла, скорости коррозии:

$$B = T - (\delta_0 - |\delta_1) / v_к, \qquad (3.10)$$

где Т — срок службы конструкции, годы; $v_к$ — скорость коррозии, мм/год; δ_0— начальная толщина металла, мм; δ_1— допустимая остаточная его толщина, мм.
При В≤0 катодная защита не требуется, а при В>0 она обязательна.
Расчет катодной защиты предусматривает определение площади внешней поверхности, например гидроизоляции подземного сооружения, сечения арматуры железобетонной конструкции, защищаемой изоляцией, силы тока, необходимой для защиты, сопротивления току растекания анодного заземления, напряжения и мощности катодной станции. Сравнение затрат на устройство и эксплуатацию протекторной и активной защит в расчете на десять лет показывает, что они примерно одинаковы.

3.7. Износ от коррозии бетона и железобетона

Факторы, влияющие на развитие коррозии бетонных и железобетонных конструкций, делятся на две группы:

- связанные со свойствами внешней среды — атмосферных и грунтовых вод, грунтов и т. п.;
- обусловленные свойствами материалов (цемента, заполнителей — песка, щебня, воды и т. п.) конструкций.

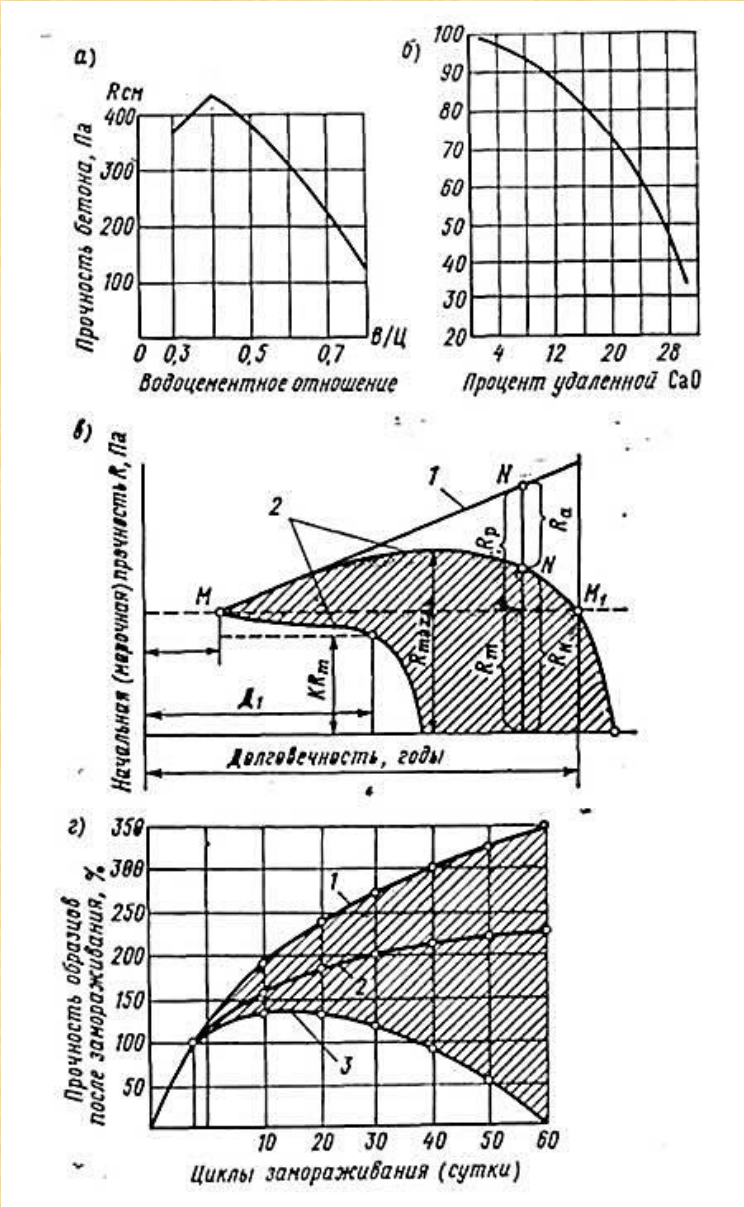
Важное значение для прочности и плотности конструкций имеет структура бетона, количество воды и цемента: чем меньше воды при данном расходе цемента, тем выше прочность и плотность бетона. Увеличение водоцементного отношения (В/Ц) повышает проницаемость бетона и, следовательно, снижает его стойкость при воздействии агрессивной среды. Поэтому количество воды, используемой для затворения бетона, играет весьма существенную роль в обеспечении плотности и непроницаемости бетона, т. е. в характеристике его стойкости в агрессивной среде.

По условиям технологии бетонных работ воды берется больше, чем может быть израсходовано на гидратацию. Излишняя вода заполняет пустоты, раздвигает частицы цемента с оболочками из продуктов гидратации и образует в бетоне целые прослойки, а после испарения — пустоты, увеличивающие проницаемость и снижающие прочность бетона. Такие же пустоты образуются и при усыхании гелеобразной массы; они являются очагами коррозии и путями проникновения агрессивных растворов в толщу конструкции. Внутренне замкнутые поры становятся очагами коррозии, когда возникшее вблизи них осмотическое давление разрушает их стенки. Некоторое количество пор,

особенно мелких, со временем, при увлажнении бетона и развитии гидратации, частично заполняется продуктами гидролиза и гидратации, в первую очередь наиболее растворимым гидратом окиси кальция.

В условиях замерзания бетонных и железобетонных конструкций количество свободной влаги в них оказывает большое влияние на прочность: насыщенные влагой конструкции при замерзании разрушаются вследствие замерзания и расширения объёма влаги.

Проникновение агрессивной среды в толщу бетона и воздействие температуры также приводят к снижению его прочности.



Изменение прочности бетона: а — при различном В/Ц; б — при выщелачивании; в — с увеличением агрессивности среды: 1 — теоретический рост прочности бетона; 2 и 3 — при разных агрессивных средах; г — при замораживании бетона: 1 — сухого при положительной температуре; 2 — незначительно увлажненного; 3 — насыщенного влагой

Оценивая опасность коррозии бетонных и железобетонных конструкций, необходимо знать характеристики бетона: его плотность, пористость, количество пустот и др. При контроле качества строительства эти характеристики должны находиться в центре внимания технического надзора и эксплуатационной службы.

Химическая коррозия бетона. Коррозия данного вида развивается в бетоне при действии на него агрессивной среды — кислот, солей и щелочей, вступающих в обменные реакции с составляющими цементного камня, в результате чего образуются хорошо растворимые соли. Разрушение конструкций кислотами и кислыми газами наиболее часто происходит на заводах, в хранилищах кислот, в лабораториях и т. п. При воздействии кислот более стойким оказывается портландцемент и менее стойким — пуццолановый портландцемент. В очень агрессивной среде применяются только кислотостойкие цементы.

Сущность процессов, протекающих при коррозии этого вида, заключается в следующем. Основным окислом цементного камня является окись кальция. В результате взаимодействия кислоты (серной, соляной, азотной) с гидратом окиси кальция бетон разрушается:

$$Ca\,(OH)_2 + HaSO_4,\ или\ [2HCl\ или\ HN0_3] = CaS0_4,\ или\ [CaCl_2\ или\ CaN0_3] + H_2O. \qquad (3.11)$$

Развитию коррозии способствует растворение и вымывание продуктов разрушения: при действии кислоты на цементный камень он может полностью разрушиться. Если продукты разрушения малорастворимы, то со временем коррозия замедляется.

Увеличение притока агрессивной среды повышает скорость коррозии. При небольшой концентрации кислоты и малой скорости ее притока развивается коррозия I вида, характеризующаяся замедлением скорости растворения, вызванным снижением диффузии из пристенного слоя фильтрата в окружающую водную среду.

Скорость коррозии возрастает с повышением концентрации кислоты и увеличением скорости фильтрации. Но скорость коррозии отстает от скорости фильтрации вследствие защиты бетона продуктами коррозии, а также более медленной коррозии негидратированных зерен цемента, чем гидрата окиси кальция.

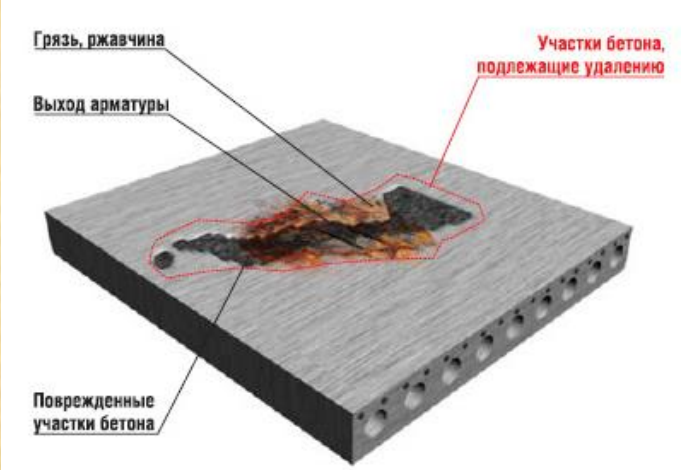
Рассматривая действие углекислоты, нужно отметить положительную (защитную) роль углекислого газа (CO_2), содержащегося в атмосфере и во всех природных водах. Поверхностный слой бетона, в частности свободный гидрат окиси кальция, а также CaO, связанный в виде гидросиликатов и гидроферритов, под влиянием углекислого газа карбонизируется.

- Степень агрессивного воздействия жидкой среды на бетон повышенной плотности (химическая коррозия) оценивается следующими

показателями:

показателем pH — при его значении более 5,9 среда считается неагрессивной, при 5,9—5 — слабоагрессивной, при 4,9— 4 — среднеагрессивной, ниже 4 — сильноагрессивной;

- содержанием свободной углекислоты (в мл/л) — при ее содержании больше 0,01а [Ca] + 57 среда считается слабоагрессивной, а при меньшем — неагрессивной;
- содержанием магнезиальных солей — если их меньше 1500 мг/л, среда неагрессивна, а если больше 3000 мг/л — сильно-агрессивна;
- содержанием едких щелочей КОН, NaOH — если их меньше 60 мг/л, среда неагрессивна, а если больше 101 мг/л — сильноагрессивна.



Развитие химической коррозии в толще бетона характеризуется тремя основными зонами:

1-я зона — зона разрушения — характеризуется тем, что агрессивная вода, взаимодействуя с карбонатом, насыщается бикарбонатом $Ca(HC0_3)_2$ и разрушает цементный камень. Бикарбонат уносится водой, а в конструкции остаются не обладающие вяжущими свойствами окислы железа. По мере развития коррозии эта зона смещается в толщу конструкции и может охватить ее всю.

2-я зона — зона уплотнения — характеризуется тем, что вода, насыщенная бикарбонатом и свободным углекислым газом, встречает гидрат окиси кальция. В результате их взаимодействия в осадок выпадает малорастворимый карбонат кальция, поры заполняются и бетон уплотняется.

3-я зона — зона выщелачивания извести — характеризуется тем, что вода, лишенная углекислоты, т. е. ставшая неагрессивной, вымывает легкорастворимые частицы бетона.

Конструкции подвержены наибольшему разрушению агрессивной водой, если в них образуется только 1-я зона.

Поскольку большинство цементов содержат гидрат окиси кальция, естественно, что агрессивная углекислота разрушает все цементы. Однако скорость их разрушения зависит от многих факторов, в частности от химического и минералогического составов цемента, плотности цементного камня, свойств продуктов коррозии, скорости фильтрации воды и др.

Интенсивность разрушения конструкции зависит также от скорости фильтрации воды через нее: если вода на внутренней ее поверхности испаряется, то растворенные соли уплотняют конструкцию, если же скорость фильтрации больше скорости испарения воды на поверхности, она не успевает испариться и уносит растворенные соли, в результате чего конструкция разрушается.

Меньшая стойкость пуццолановых портландцементов, чем портландцементов, объясняется более полной гидратацией зерен клинкера и уменьшением количества свободного гидрата окиси кальция в портландцементе вследствие поглощения его добавками или образования гидросиликатов либо гидроалюминатов кальция. Повышенная степень гидратации цементов, содержащих гидрофобные добавки, способствует ускорению их коррозии по сравнению с портландцементами. При оценке стойкости бетонов в кислотной среде надо учитывать также стойкость заполнителей, в качестве которых рекомендуются силикатные породы.

Предупреждение химической коррозии состоит в изоляции конструкций, снижении агрессивного действия среды, ее температуры, скорости движения.

Физико-химическая коррозия бетона. Коррозия этого вида вызывается фильтрацией сквозь толщу бетона мягкой воды, вымывающей его составные части, особенно гидрат окиси кальция $Ca(OH)_2$ — гашеную известь. Этот

процесс, называемый выщелачиванием извести, весьма опасен для бетона, поскольку известь является составляющей почти всех цементов. Так, портландцемент содержит 64—68 % извести, 21—24 % кремнезема, 4—7 % глинозема, по 1—3 % железа и магния. Минералогический состав цемента также разнообразен: 20— 70% трехкальциевого силиката (Ca_3Si), 10—60% двухкальциевого силиката (Ca_2Si), 4—15% трехкальциевого алюмината (Ca_3Al_2), 6—16% четырехкальциевого алюмоферрита (Ca_4AlFe).
При действии воды на бетон перечисленные минералы подвергаются гидролитическому разложению, ибо некоторые из них устойчивы только в воде, содержащей определенное количество извести. По мере выщелачивания гашеной извести и снижения количества окиси кальция (негашеной извести) в растворе, соприкасающемся с цементным камнем, происходит разрушение других гидратов — гидросиликатов, гидроалюминатов, гидроферритов, так как стабильное их существование возможно лишь в растворах гидрата окиси кальция определенной концентрации.

Внешним признаком коррозии такого вида является белый налет на поверхности конструкции в месте выхода воды, что и послужило основанием назвать данный вид коррозии «белой смертью» бетона. Налет — это результат выпадения в осадок растворенных в бетоне солей, в частности гидрата окиси кальция и карбоната кальция. При этом гидрат окиси кальция под влиянием углекислого газа воздуха превращается в карбонат кальция:

$$Ca\,(OH)_2 + C0_2 = CaC0_3 + H_20; \qquad (3.12)$$

такое соединение очень стойко, благодаря чему налет предохраняется от разрушения при последующем увлажнении.

Если приток воды очень мал и она испаряется на поверхности бетона, то гидрат окиси кальция остается в толще бетона, уплотняет его и прекращает фильтрацию; этот процесс называется самозалечиванием бетона.
Основным показателем этой коррозии является скорость растворения гидрата окиси кальция. Растворение его происходит при концентрации окиси кальция, близкой к концентрации насыщенного раствора. При малых скоростях фильтрации интенсивность разрушения бетона прямо пропорциональна скорости течения и выщелачивания извести. По мере увеличения скорости течения воды скорость разрушения замедляется. При больших скоростях фильтрации воды интенсивность выщелачивания зависит от скорости диффузии ее из пристенного слоя фильтрата в основную его массу и, естественно, уменьшается.
По мере выщелачивания извести из бетона его механическая прочность снижается. Например, выщелачивание первых 16 % извести приводит к потере 20 % прочности, а последующих 14 % — уже к потере 50 % прочности. Полное

разрушение конструкций наступает при выщелачивании более 35—50 % извести.

Показателем агрессивности среды для этой коррозии является бикарбонатная щелочность воды, измеренная в мг-экв/л или градусах жесткости. Слабоагрессивной считается вода с показателем 0,7 (2°).

Оценивая устойчивость бетонов к физико-химической коррозии, следует отметить, что главными факторами, противостоящими ей, являются плотность бетона и характеристика цемента (в частности, минимальное количество извести в нем), увеличение временной жесткости воды, качество гидроизоляции.

Стойкость различных цементов к выщелачиванию оценивается по наличию в них извести и добавок. По этим признакам менее стоек в условиях физико-химической коррозии портландцемент, более плотными и стойкими (при длительном «созревании» в теплой и влажной среде) являются пуццолановый портландцемент и шлакопортландцемент с гидравлическими добавками, повышающими плотность бетона благодаря связыванию свободной извести. Более водостойкие бетоны, т. е содержащие

плотный цементный камень, используются для подземных частей сооружений при отсутствии агрессивных вод.

Силикатизация поверхностного слоя состоит в нанесении на конструкцию (главным образом из естественных каменных материалов) жидкого стекла, а после его высыхания — раствора хлористого кальция; при этом происходит реакция

$$Na_2OSi0_2 + CaCl_2 = CaOSi0_2 + 2NaCl, \qquad (3.13)$$

в результате которой образуются силикат кальция, заполняющий поры и повышающий стойкость конструкции, и соль, смываемая водой.

Флюатирование поверхности конструкций основано на взаимодействии свободной извести и растворов кремнефтористых солей легких металлов (магния, алюминия, цинка), которые, вступая в реакцию с углекислым кальцием, образуют нерастворимые продукты, оседающие в порах и уплотняющие конструкции.

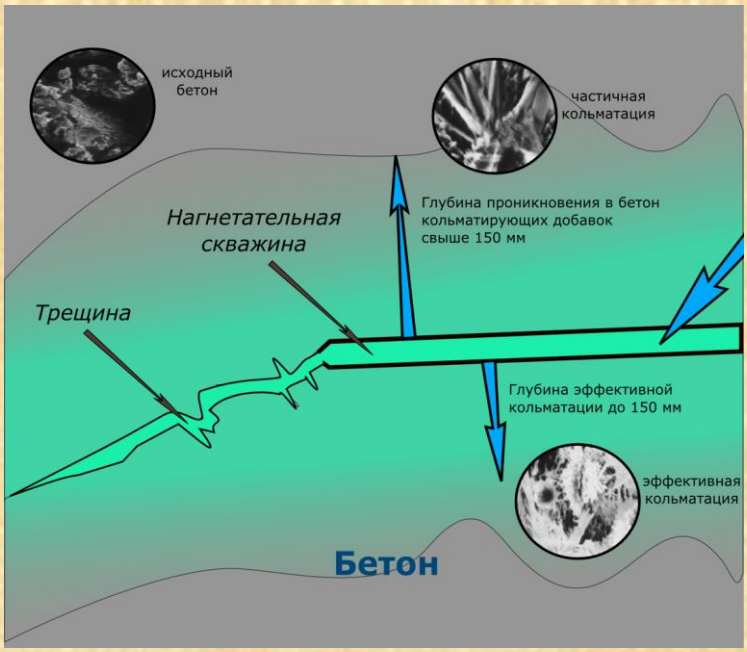
Флюатирование бетонов начинается с нанесения на сухую очншенную поверхность раствора хлористого кальция, а затем флюагов. Флюаты наносятся кистью или распылителем в три своя с повышением их концентрации: для первого — 2—3% но массе, для третьего — уже 12%. Каждый слой наносится после прекращения впитывания флюата с перерывами до 4 ч на его высыхание. После нанесения очередного слоя поверхность обрабатывается насыщенным раствором гидрата окиси кальция $Ca(OH)_2$, приготавливаемым путем растворения извести в воде.

Поверхность бетона может обрабатываться также 3 — 7 %-ным раствором кремнефтористоводородной кислоты H_2SiF_6; при этом на поверхности образуется пленка фтористого кальция и кремнезема. Такая обработка повторяется несколько раз после высыхания каждого предыдущего слоя.

Расход флюата зависит от плотности и структуры обрабатываемого материала и составляет 150—300 г кристаллической соли 1 $м^2$ поверхности.

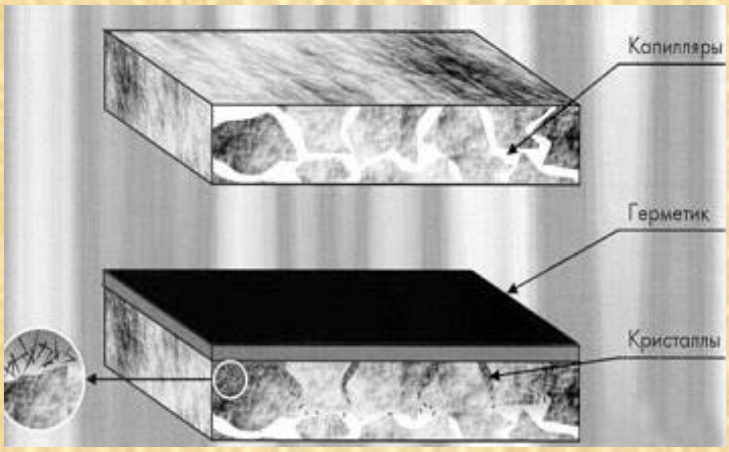
Карбонизация поверхностного слоя свежеприготовленного бетона состоит в превращении гидрата окиси кальция $Ca(OH)_2$ под воздействием углекислого газа в карбонат кальция $Ca(CO)_3$, который более стоек к внешним воздействиям.

Устройство защитных покрытий. Одним из методов защиты конструкций является устройство или восстановление защитных покрытий: глиняной набивки, слоев обмазки, покраски, штукатурки КЦР, рулонного покрытия или слоя облицовки. Защита конструкций в этом случае основана на изоляции их от агрессивной среды, а потому покрытия должны быть водостойкими и водонепроницаемыми, а в особых случаях — и механически прочными. Чем агрессивнее среда, тем надежнее должна быть защита.



Особенность осуществления изоляции в агрессивной грунтовой среде, в отличие от обычной гидроизоляции, состоит в том, что она должна быть химически стойкой и наноситься обязательно с наружной стороны конструкции. Защита от воздействия внутренней агрессивной среды производится изнутри сооружения, при этом защищается вся толща конструкции.

В условиях эксплуатации необходимо зачастую восстанавливать защитные покрытия, предусмотренные проектом, в отдельных же случаях их устраивают вновь по специально разработанному проекту.



Штукатурная гидроизоляция коллоидным цементным раствором (КЦР) используется для противофильтрационной защиты подземных и подводных сооружений без ограничения величины действующего напора при работе гидроизоляции «на прижим» и напорах Р = 0,1 Па, при работе ее «на отрыв», а также при повышенной и постоянной влажности воздуха. Запрещается применение КЦР, если среда химически агрессивна по отношению к обычному портландцементу, а также при электрохимической агрессивности окружающей среды с блуждающими токами.

Коллоидный цементный раствор представляет собой высокодисперсную смесь вибромолотых цемента и песка, молотого песка и поверхностно-активных веществ. Он приготавливается в вибросмесителе, где производится двухчастотная обработка массы и одновременное перемешивание раствора в течение 5—6 мин.

Для гидроизоляции горизонтальных поверхностей рекомендуется КЦР, а для вертикальных — активированный торкрет (АТ). Это такой же КЦР, но смешение и нанесение его производятся цемент-пушкой, как обычного торкрета. В составе АТ увеличено содержание сульфитно-дрожжевой бражки до 2— 2,5%.

Для устройства защитных покрытий пригодны и такие материалы, как эпоксидные смолы, цементно- и битумно-латексные композиции и др. Битум, являющийся отходом нефтепереработки и относительно дешевым материалом, широко используется для защитных покрытий. Соединяя битумы с каучуком, резиной, зеленым маслом и синтетическими смолами, можно повысить стойкость битумных покрытий в агрессивной среде.

Битумы применяются в разогретом (до 150—200 °С) виде смешанными с наполнителями, растворенными в маслах или углеводородах, а также в виде водорастворимых эмульсий или паст. Приготовление битумных растворов и эмульсий труднее, чем расплавов, но зато наносить их легче и безопаснее. Наиболее высокое качество таких покрытий достигается при правильном нанесении расплавленного битума, самое низкое — ври нанесении битумных эмульсий.

Битумные обмазки в виде мастик, плотных штукатурок и облицовок предназначены для защиты конструкций в сильноагрессивных атмосферных и агрессивных жидких средах без механических воздействий.

По мере повышения напора воды переходят к рулонной оклеечной изоляции и защите ее кирпичной стенкой. Так, при напоре до 800 мм устраивается двухслойный ковер, при 800— 1200 мм — трехслойный и защитная стенка в четверть или полкирпича, а при напоре более 1200 мм — четырехслойное покрытие. В ответственных сооружениях требуется листовая металлическая изоляция, которая, в свою очередь, защищается от воздействия агрессивной среды обмазками или электрохимическими методами.

Внутри зданий и сооружений для защиты конструкций от разрушения промышленными стоками и предотвращения проникновения их в грунт устраиваются кислотостойкие поддоны, отличающиеся тем, что собственно изоляция из битумной мастики или рулонного материала защищена от механических повреждений кислотостойкими плитками либо кирпичом.

Для защиты стен и покрытий от разрушения парообразной агрессивной средой применяются лаки и эмали, наиболее часто— битумно-смоляные эпоксидные эмали, ПХВ эмали и лаки, кремнийорганические эмали. Лакокрасочные покрытия легко наносятся и восстанавливаются, они экономичны. Из-за их высокой

проницаемости они выполняются многослойными — от трех до восьми слоев, в зависимости от степени агрессивности среды.

При восстановлении или устройстве любого защитного покрытия особое внимание уделяется подготовке поверхности: она должна быть чистой, ровной (гладкой) и сухой; это в значительной мере предопределяет надежность и долговечность покрытия.

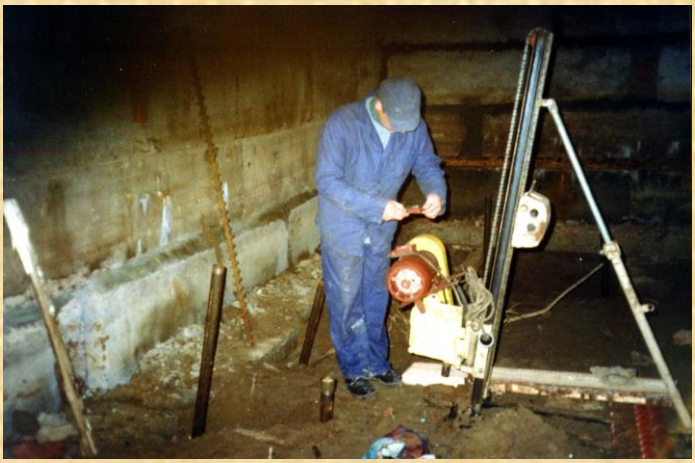
Повышение плотности и прочности конструкций нагнетавшем в них растворов. Инъекция растворов в конструкции с целью повышения их плотности и прочности может быть осуществлена цементацией (нагнетание цементного молока), силикатизацией (нагнетание жидкого стекла) и смолизацией (нагнетание синтетических смол).

Цементация заключается в нагнетании цементного раствора через пробуренные в конструкции отверстия, что увеличивает ее плотность и водонепроницаемость, а тем самым и коррозионную стойкость. Для цементации применяется раствор цемента и воды в пропорции 1 : 10. Чтобы ускорить его схватывание, в него вводят хлористый кальций — не более 7 % от массы цемента.

Повышение плотности и водонепроницаемости бетонных и железобетонных конструкций путем цементации, как показал опыт, недостаточно эффективно: фильтрация воды начинается очень быстро вновь; это объясняется грубодисперсным составом цементов, которые проникают в поры и трещины с раскрытием 0,2—0,1 мм, в то время как напорная вода фильтрует по каналам сечением $2*10^{-4}$ мм. Эффективность цементации может быть

существенно повышена введением в раствор высокодисперсного магнитного вещества.

Силикатизация состоит в нагнетании через пробуренные в конструкциях отверстия (или иным способом) жидкого стекла, которое, проникая в пустоты и поры, заполняет их. Вводимый вслед за этим раствор хлористого кальция, реагируя с жидким стеклом, образует уплотняющий осадок из плохо растворимого гидросиликата кальция $CaOSiO_2 \cdot 2{,}5H_20$ и нерастворимого геля кремнезема $Si0_2 \cdot nH_2O$. Твердение гидросиликата и кремнезема завершается быстро — за четверо суток.



Смолизация мелкотрещиноватого, пористого бетона осуществляется путем нагнетания водного раствора карбамидной смолы, которая затвердевает при добавлении специально подобранного отвердителя, не агрессивного к бетону (например, щавелевой или кремнефтористоводородной кислоты). Смолизация предусматривает предварительное нагнетание в бетон 4 %-ного раствора щавелевой или кремнефтористоводородной кислоты (для локализации поверхностного слоя карбонатов кальция и гидрата окиси кальция созданием защитной пленки нерастворимого щавелевокислого кальция, препятствующего нейтрализации кислоты из раствора) и последующее введение раствора карбамидной смолы с отверждающей добавкой.
Смолизация — это тампонаж химических растворов — смолы и отвердителя; она рекомендуется для повышения плотности и водонепроницаемости конструкций с мелкими порами при отсутствии» фильтрации воды.

При обследовании участков фильтрации определяется количество проникающей воды и величина трещин. Удельное водопоглощение бетона и его водопроницаемость на глубине выявляются посредством извлечения и изучения кернов. Удельное водопоглощение бетона вычисляется по формуле:

$$q = Q / H*l, \quad (3.14)$$

где Q — полное водопоглощение, л/мин; H — напор, при котором производится испытание скважины, м; l — длина испытываемого участка скважины, м.

В зависимости от удельного водопоглощения опытным путем устанавливается ориентировочный расход материалов (смолы и кислоты) в расчете на 1 м скважины.

Зависимость между основными параметрами нагнетания растворов. Нагнетание растворов в конструкции — процесс очень сложный и трудоемкий, ибо при этом должны быть заполнены мельчайшие пустоты размером до $2*10^{-4}$ см, по которым протекает вода, и до 10-5 см, по которым проникает воздух. Пустоты в бетонных конструкциях весьма разнообразны: они бывают переменного сечения, сквозными или тупиковыми, заполненными водой под напором или воздухом, и т. п.

Приступая к нагнетанию растворов, необходимо хотя бы приблизительно установить зависимости между основными параметрами нагнетания. Принимаем, что заполняются сквозные капилляры, по которым проходит воздух или вода. Гидроизоляция в расчете не учитывается. Условием заполнения раствором пустот (пор, капилляров, трещин) в бетоне является превышение давления нагнетания p над суммой сил: N — силы трения и H— сопротивления воды (воздуха) или их динамическое равновесие при определенном заполнении капилляра:

$$p \geq N + H. \quad (3.15)$$

Время нагнетания раствора T зависит от его вязкости μ, начального давления p_o, толщины конструкции L, диаметра пустот r_0. Расчетные значения параметров нагнетания определяют исходя из максимального наполнения капилляров, обеспечивающего надежную герметичность конструкции.

Можно приближенно определить количество раствора Q, которое надо подать под прижимную плиту полезной площадью S = ab, толщиной α, при пористости бетонной конструкции n:

$$Q = \alpha*a*b*n; \quad (3.16)$$

к этому количеству раствора нужно добавить объем его в системе нагнетания (в шлангах) $Q_{сист}$:

$$Q_{полн} = Q + Q_{сист}. \quad (3.17)$$

Расход маловязких материалов ориентировочно может быть определен по удельному водопоглощению.

Тампонажные растворы с добавкой ферромагнитного порошка позволяют существенно сократить время уплотнения конструкции и расход раствора. Однако уплотнение конструкции при этом происходит только у поверхности — из герметика создается своеобразная пробка.

3.8. Условия, механизм и признаки разрушения древесины

Древесина — весьма ценный, веками используемый строительный материал. Россия обладает достаточно большими ее запасами, но как нестранно. Она сравнительно легко обрабатывается, обладает ценными эксплуатационными качествами, может быть использована самостоятельно и в сочетании с другими материалами. Особенно важна высокая химическая стойкость безметальных сухих деревянных конструкций.

Деревянные сооружения служат многие десятки и даже сотни лет; однако, если не учесть отрицательные эксплуатационные качества древесины (высокая влажность, закупорка влаги, увлажнение из-за отсутствия надежного ее проветривания и просушивания) в проекте, при возведении и эксплуатации деревянных зданий и сооружений, а также не принять меры по исключению условий, способствующих развитию дереворазрушающих грибов и разрушению древесины, они могут быстро выйти из строя. Например, пол из влажных досок, покрытый линолеумом, перекрытие из сырой древесины, закрытое штукатуркой, разрушаются уже через один-два года.

Наиболее опасными врагами древесины являются грибы и огонь, от которых ее необходимо надежно защищать (М. Б. Ахремович. Защита деревянных конструкций от гниения и древоточцев. Стройиздат, 1972).

Используя древесину в конструкциях, эксплуатируя деревянные сооружения, необходимо помнить об определенных благоприятных условиях для развития дереворазрушающих грибов, чтобы не «создавать» их еще в проекте или при возведении, эксплуатации зданий и сооружений. Если же такие условия исключить, а древесину соответствующим образом обработать, чтобы защитить от разрушения при возможных в будущем неблагоприятных для нее условиях, то срок службы деревянных, конструкций и сооружений будет весьма велик, а затраты на ремонт малы. Пока же четвертая часть применяемой в строительстве древесины (около 35 млн. м^3) ежегодно расходуется на ремонт деревянных сооружений.

Эксплуатационные качества древесины в конструкциях

Положительные:

- малая масса
- высокая прочность, теплозащита, химическая стойкость, долговечность (при благоприятных условиях) легко обрабатывается
- используется в сочетании с другими материалами

Отрицательные:

- увлажняется, набухает, высыхает, коробится, трескается, легко загорается, разрушается грибами и жуками
- имеет неоднородное строение и пороки (сучки, косослой, свилеватость и др.)

Признаки поражения деревянных конструкций

Дереворазрушающим и грибами:

- спертый грибной запах в помещении
- наличие грибных образований на конструкциях
- изменение цвета конструкции (побурение)
- потеря прочности, высыхание, растрескивание
- глухой звук при простукивании конструкции

Жуками-древоточцами:

- наличие летных отверстий (размером 0,5—0,6 мм) и выпадение из них бурой муки
- глухой звук при простукивании
- шум в конструкции (подобно ходу часов) в начале лета

Условия развития дереворазрушающих грибов в древесине

Общие

- Влажность древесины 23-70 % (оптимальная 25—50 %)
- Температура от —3 до +40 °С (оптимальная +22—30 °С)
- Застойный воздух скорость движения воздуха менее 0,0008 м/с
- Наличие грибных спор (практически повсеместно, где есть древесина)

Конкретные

Проектные:

- неправильное чередование слоев в конструкции,
- нет паро- и гидроизоляции
- недостаточная теплозащита ограждающих конструкций, выпадение на них конденсата
- закупорка дощатых полов линолеумом, асфальтом и т. п.
- недостаточная вентиляция перекрытий, чердаков, подполий

Производственные:

- использование сырой (>23 %), неошкуренной, зараженной древесины
- обмазка и закупорка торцов балок
- увлажнение древесины в ходе строительства
- применение неантисептированной древесины

Эксплуатационные:

- увлажнение конструкций атмосферной, грунтовой, бытовой влагой
- нарушение теплового режима и вентиляции помещений, подполий, чердаков,
- постоянная высокая бытовая (производственная) влажность в помещениях

Древесины в конструкциях

Древесина хвойных пород, содержащая смолу, обладает большей химической стойкостью, чем древесина лиственных пород. Широкое распространение получил метод повышения прочности и стойкости древесины путем предварительной пропитки ее синтетическими, в частности фенолоформальдегидными, и другими смолами.

Пропитанная смолами древесина не впитывает влагу и не набухает, предел прочности и модуль упругости ее при сжатии увеличиваются примерно вдвое, а при скалывании и изгибе снижаются на 10—15 %, теплопроводность возрастает на 10—15%. Древесина, пропитанная фенолоформ-альдегидной смолой, устойчива при повышенных температурах к действию растворов некоторых кислот и не разрушается при действии аэрозолей солей натрия, калия, кальция и др.

Деревянные конструкции при определенной температуре, влажности и других факторах подвергаются гниению в результате разрушения их грибами, жуками-точильщиками и иными видами древоточцев.
В зависимости от способа добывания органических веществ для питания грибы делятся на две основные группы: ***паразитов*** и ***сапрофитов***.
К первой относятся грибы, развивающиеся на живых растениях или, значительно реже, на животных, ко второй — грибы, развивающиеся только на мертвой древесине, а также на органических остатках растительного или животного происхождения. Домовые грибы, разрушающие только древесину в

строительных конструкциях, относятся к сапрофитам. Существует около 60 видов дереворазрушающих грибов.

Биологическая основа разрушения древесины грибами состоит в том, что они развиваются за счет клетчатки древесины, состоящей из целлюлозы (40—50 %), гемицеллюлозы (13— 28%>), лигнина (18—30%) и веществ, содержащихся в полостях клеток: дубильных, белковых, красящих. Вследствие развития дереворазрушающих грибов, питающихся древесиной, она высыхает, растрескивается и гниет.

Древесина начинает гнить при определенных условиях: влажности выше 25%, температуре от —3 до +35 °С, застойном воздухе и заражении ее грибами. Грибы развиваются из спор — мельчайших образований. Споры прорастают в нити {гифы), а затем, срастаясь, образуют шнуры и грибницу, которая с течением времени превращается в плодовое тело.

Домовые грибы не развиваются на сухой древесине (влажность до 12%) и на древесине, находящейся в воздушно-сухом состоянии (влажность 15—20%). В полусухом состоянии (влажность 23—25 %) древесина поражается некоторыми грибами, например настоящим домовым грибом. В сыром состоянии (влажность 25—30 %) и при повышенной влажности (30— 60%) она разрушается всеми видами грибов. В то же время древесина, находящаяся в воде и на сквозняке, грибами не разрушается.

Для защиты древесины от гниения и разрушения надо создавать вокруг эксплуатируемых конструкций такую температурно-влажностную среду, в которой не могли бы произрастать грибы. Если этого осуществить нельзя (не позволяет технологический или функциональный процесс либо иные условия), древесину конструкций необходимо обработать специальными ядохимикатами — *антисептировать*.

Каждому виду домового гриба присущи специфические признаки, своя окраска, те или иные формы развития грибницы (*мицелия*) и разрушения древесины. Все это составляет диагностические признаки грибов. Для определения вида гриба и степени поражения конструкции иногда может потребоваться специальное микроскопическое исследование образцов древесины в лаборатории.

Основным признаком появления домовых грибов служит наличие гифов (нитей гриба) на древесине. На более поздней стадии поражения древесина буреет, темнеет, покрывается трещинами. К этому времени на пораженных ее участках вырастает грибница, имеющая обычно вид ваты белой или яркой окраски.

В зданиях дереворазрушающие грибы развиваются там, где возникают благоприятные для этого условия по температуре, влажности и скорости движения воздуха. Обычно это сырые темные непроветриваемые помещения или их части: подполья на сыром грунте и необитаемые подвалы; неантисептированные концы балок в каменных стенах; накаты перекрытий при

неисправных крышах; деревянные перегородки из сырого леса, оштукатуренные с двух сторон; полы, накаты, балки под санузлами и кухнями при повышенной влажности; деревянные конструкции, увлажненные и плохо проветриваемые.

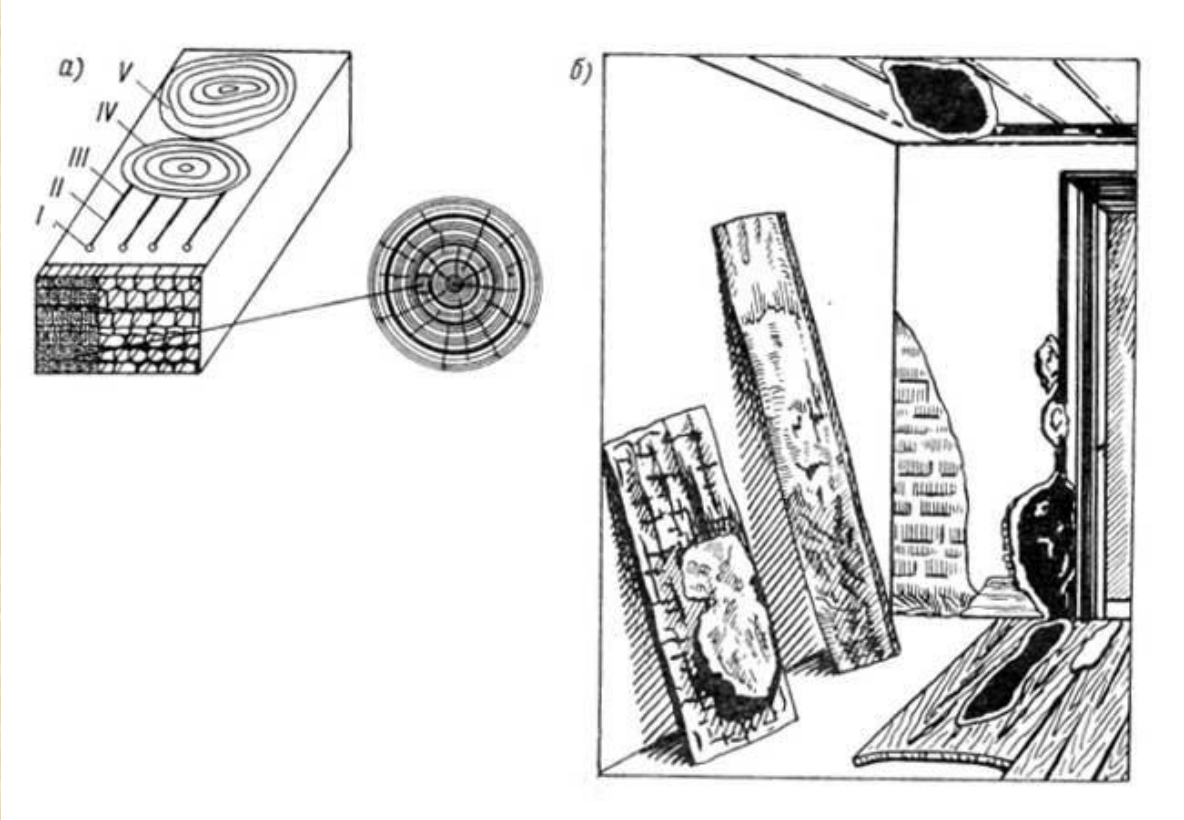


Схема поэтапного развития дереворазрушающего гриба (а) и общий вид разрушенной домовым грибом древесины (б); I - спора; II - гиф; III - шнур; IV - грибница; V - плодовое тело

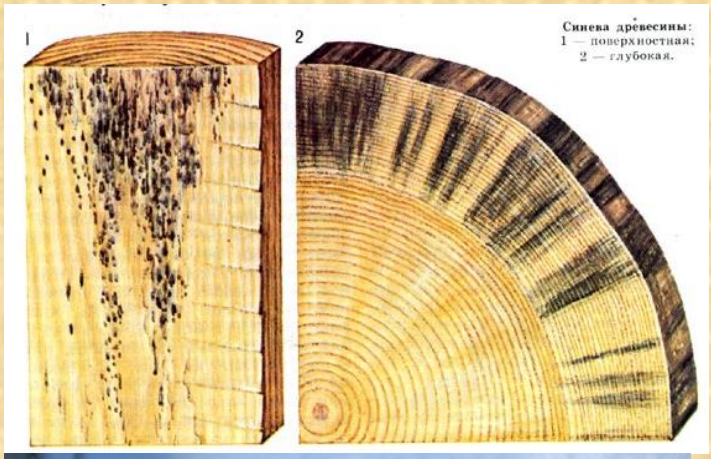
Участки древесины, пораженные грибами, вырезаются и сжигаются, после чего конструкция усиливается антисептированной древесиной или специальными металлическими протезами. Во избежание повторного поражения древесины грибами надо улучшить уход за ней: не допускать увлажнения, обеспечивать проветривание и т. п.

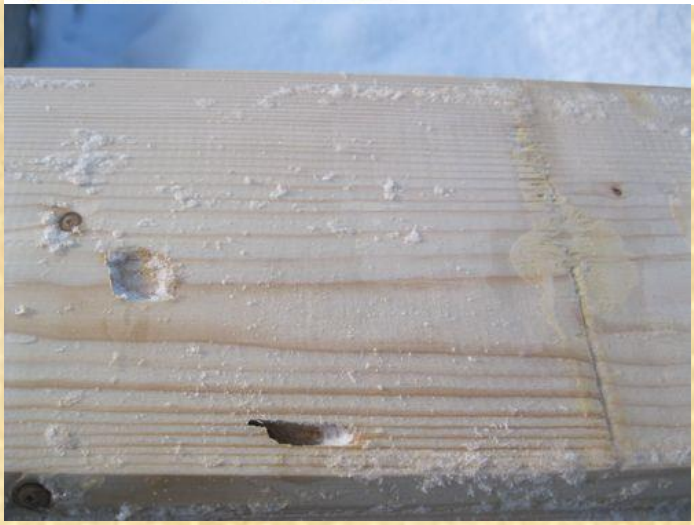
Вредителями древесины являются также жуки-точильщики, их личинки и термиты. Участки древесины, пораженные жуками и их личинками, тщательно осматриваются, после чего решается вопрос о несущей способности данного элемента, его замене или протезировании. Пораженные участки вырезаются и сжигаются. В жарких районах большой вред деревянным конструкциям, особенно элементам, расположенным вблизи земли, наносят термиты.

Биологический процесс разрушения деревянных конструкций можно сравнительно просто предотвратить путем их антисептирования или покрытия малыми дозами ядохимикатов.

Противогнилостная разрушения деревянных конструкций заключается в выборе типа конструкции, правильном расположении слоев, которые могут загнивать, в прокладке пароизоляции со стороны помещений с высокой влажностью и в обеспечении воздушной прослойки у наружной поверхности конструкции; это *проектная профилактика*.

Для предохранения деревянных конструкций от загнивания необходимо проводить *строительную профилактику*, т. е. применять во время строительства и ремонта только воздушно-сухую, при необходимости антисептированную, древесину, вырезать и сжигать поврежденные части, устранять источники увлажнения конструкций.





В ходе эксплуатации зданий надо осуществлять *эксплуатационную профилактику*: не допускать увлажнения деревянных конструкций, своевременно ремонтировать кровлю, санитарно-технические устройства и другие элементы зданий, могущие стать причиной или источником увлажнения. Весной и осенью нельзя также допускать застоя воздуха на чердаках, в подвалах, подпольях и в иных помещениях с высокой влажностью. Кроме перечисленных мер, особое значение в защите древесины от загнивания придается антисептированию конструкций в ходе строительства и ремонта.

Защита древесины от гниения может проводиться несколькими методами: поверхностной обработкой, пропиткой, диффузным методом, а также химическим консервированием, основанным на введении в древесину, т. е. в полости клеточных оболочек и самих клеток, химических ядов—антисептиков, убивающих грибы и древоточцев и препятствующих их развитию.

Антисептики, по СНиП 11.28—79, подразделяются на следующие группы:

- антисептики, применяемые в водных растворах;
- антисептические пасты на основе водорастворимых антисептиков;
- маслянистые антисептики;
- антисептики, используемые в органических растворителях.

Антисептики, применяемые в водных растворах,— фтористый, кремнефтористый, аммонийкремнефтористый натрий и другие — предназначаются для защиты тех деревянных конструкций, а также изделий из древесины, стружек, опилок, камыша, которые в период эксплуатации будут защищены от увлажнения и вымывающего действия воды.

Антисептические пасты на основе водорастворимых антисептиков — битумные, на кузбасслаке, экстрактовые на фтористом натрии и другие—по характеру связующего вещества подразделяются на битумные, на кузбасслаке, экстрактовые и глиняные. Первые две пасты не корродируют металл, они наносятся на древесину любой влажности, так как водой вымываются слабо. Экстрактовые пасты, изготовляемые на основе экстракта сульфитных щелоков, и глиняные пасты негорючи, не имеют запаха, не корродируют металл, неводостойки, т. е. легко вымываются водой.

Антисептические пасты применяются для защиты деревянных конструкций, находящихся в условиях повышенной влажности. При этом открытые и соприкасающиеся с землей конструкции, обработанные такими пастами, должны защищаться от вымывающего действия воды гидроизоляционными обмазками на битуме, кузбасслаке и т. п. Пасты также используются для заполнения трещин в конструкциях с целью защиты их от загнивания.

К маслянистым антисептикам относятся следующие масла: каменноугольное для пропитки древесины, каменноугольное полукоксовое и сланцевое шпалопропиточное. Они используются для защиты открытых конструкций, а также конструкций, находящихся в земле и воде, путем пропитки их под давлением или в высокотемпературных и горяче-холодных ваннах.

Антисептики, применяемые в органических растворителях — нефтепродуктах, служат для защиты наружных конструкций.

Широко распространенный в строительстве метод пропитки древесины в горяче-холодных ваннах основан на капиллярном поглощении ею пропиточных растворов.

Срок службы консервированной (антисептированной) древесины увеличивается примерно в три раза. Срок службы не-антисептированной древесины с влажностью более 20 % сокращается до двух лет (в погребах, колодцах, шахтах — до семи месяцев). Следовательно, при ремонте сооружений можно применять только сухую древесину, защищать ее от увлажнения или антисептировать.

Элементы, подлежащие сплошной окраске (окна, двери, чистые полы и перегородки), не антисептируются. Антисептируются наружные и скрытые элементы конструкций — деревянные фундаменты, балки, накаты, подшивка, перегородки под штукатурку и т. д.

Антисептирование может быть двух видов:

непосредственного действия — поверхностное (производится в горяче-холодных ваннах, пропиткой под вакуумом и другими способами);

последующего действия — диффузионное (сухое, в виде порошка, в предположении, что в эксплуатации конструкции будут увлажняться и антисептик начнет действовать).

Антисептирование может быть нормальным или повышенным (удвоенным).

Нормальное антисептирование производится при влажности древесины до 25%, когда исключено увлажнение или обеспечено быстрое высыхание конструкций.

Повышенное (удвоенное) антисептирование концентрированными антисептиками осуществляется при влажности древесины выше 25%, когда высыхание ее затруднено. Такому антисептированию подвергаются и более сухие конструкции, которые могут увлажняться в процессе эксплуатации сооружений.

Способы и материалы для антисептирования определяются назначением конструкций и их размерами. Все деревянные конструкции по характеру антисептирования делятся на две группы.

К первой группе относятся элементы конструкций открытых сооружений, находящихся в жестких условиях работы и требующих наиболее эффективной защиты: сваи, ростверки, а также элементы, находящиеся на открытом

воздухе,— цоколи, фундаментные стойки деревянных зданий. Конструкции первой группы глубоко пропитываются каменноугольным или сланцевым маслом под вакуумом.

Ко второй группе относятся периодически увлажняемые конструкции: перекрытия первого этажа, наружные стены, балки, лаги, подоконные доски и все тонкие внутренние деревянные элементы, редко и случайно увлажняемые,— доски перегородок и подшивок потолка; эти элементы антисептируются преимущественно в целях профилактики, а также когда влажность древесины превышает нормативную. Конструкции второй группы антисептируются водными химическими растворами, путем пропитки в горяче-холодных ваннах, окраски, обмазки.

Пастами покрывают элементы, длительно или периодически увлажняемые в процессе эксплуатации. Применение паст основано на том, что при увлажнении они проникают в древесину и защищают ее от развития грибов. Пасту наносят кистями или шпателем. После подсушки ее защищают битумом или каменноугольной смолой.

Поверхностное антисептирование рекомендуется производить два раза (преимущественно водным раствором фтористого натрия с концентрацией от 3 до 10%)- путем опрыскивания из гидропульта или покраски кистями.

Сухое антисептирование осуществляется на горизонтальных поверхностях (например, на чердачном перекрытии) порошкообразными антисептиками с влажными опилками или песком.

Концы деревянных балок, закладываемых в кирпичную стену, кроме антисептирования, защищаются от увлажнения гидроизоляцией, а гнезда для них вентилируются. Однако при этом влага в древесине не должна закупориваться, т. е. торцы балок не должны закрываться гидроизоляцией.

Гидроизоляционное обертывание служит средством, предупреждающим выщелачивание антисептика, например в конструкциях, заглубленных в грунт.

В закрытых сооружениях для обработки полусухих и тем более сырых деревянных элементов надо применять такие средства, которые не препятствовали бы сушке древесины, например антисептические пасты.
В случае обнаружения дереворазрушающих насекомых (древоточцев, жуков-точильщиков, термитов) древесина обрабатывается инсектицидами. Наличие жуков обнаруживается на слух, с помощью специального стетоскопа.

При обработке пораженных участков необходимо нагнетать антисептик (шприцем, масленкой) в каждое отверстие или смазывать их кистью, смоченной в антисептике, два-три раза с перерывами в двое-трое суток, а затем замазывать замазкой, мелом, парафином или пастой. Если элементы заменяются легко, то их лучше изъять и сжечь, даже при небольшом поражении жуками-точильщиками.
Перед обработкой древесины одним из перечисленных антисептиков целесообразно провести газовую дезинфекцию помещений хлорпикрином, сероуглеродом, формалином и др. Однако такую дезинфекцию могут выполнять только специализированные организации, при строгом соблюдении мер предосторожности.
При обнаружении в земле вблизи здания гнезд термитов их поливают несколько раз нефтью, антраценовым маслом, черной карболкой или иными составами. Грунт в подполье тщательно обследуется и в случае обнаружения ходов термитов также обрабатывается одним из упомянутых составов. В местах большого скопления термитов рекомендуется устраивать каменные цоколи, отмостку и выполнять бетонную подготовку в полах первого этажа. Антисептирование древесины для защиты от термитов производится так же, как и от жуков-точильщиков.

Для защиты деревянных конструкций от возгорания на них наносятся огнезащитные покрытия. Пропитка огнезащитными составами — антипиренами (диаммонийфосфатом, сульфатом аммония, бурой и борной кислотой) производится в заводских условиях (под давлением или в горяче-холодных ваннах). Может осуществляться комбинированная защита древесины от возгорания и гниения. Для этого в огнезащитные составы добавляют антисептики (фтористый натрий и др.), не снижающие их огнезащитных свойств.

Применяют три вида огнезащитных покрытий:
1. *атмосферостойкие* — ПХВ и парафин с пигментами, ПХВ, мел, хлорпарафин, олифа и другие компоненты, краска ХЛ (хлорлайколь), уайт-спирит, сурик и иные компоненты, используемые для защиты наружных поверхностей деревянных элементов зданий и сооружений;
2. *влагостойкие* — краска ХЛ-СЖ (хлорлайколь, сланцевая смола), железный сурик, служащий для защиты деревянных элементов и конструкций

зданий (кроме жилых и общественных) и сооружений при влажности воздуха 61—75 %;

3. *невлагостойкие* — хлоридная краска ХЛ-К, содержащая литопон, окись магния и хлористые соли; силикатная краска СК-Л, в которую входят жидкое стекло и литопон с добавкой вермикулита; сульфитно-глиняная обмазка, состоящая из сульфитного щелока и глины; суперфосфатная обмазка; известково-глиносолевая обмазка (ИГС), содержащая известь, глину и соль. Они применяются для защиты внутренних элементов в помещениях с влажностью воздуха 60 % и ниже.

3.9. Анализ опыта эксплуатации зданий и выявление дефектов

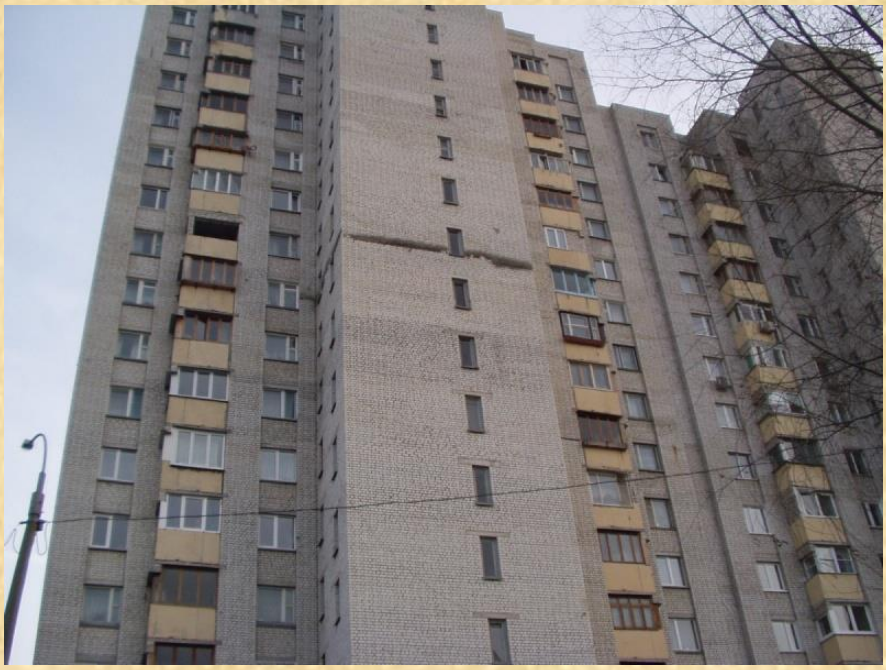
Надземные здания, в отличие от других типов сооружений — обсыпных, котлованных, подземных, характеризуются специфическими особенностями, определяющими их эксплуатационные качества, а также спецификой ухода за ними, организацией осмотров и ремонта; эти особенности определяются климатическими условиями, назначением зданий, материалами их конструкций, инженерного оборудования. Климатические условия района размещения зданий налагают отпечаток на их эксплуатацию по сезонам года, которая особенно сложна и трудоемка зимой и к которой ведётся подготовка ограждающих конструкций, инженерного оборудования и систем в теплый период.

Наиболее характерными и важными *особенностями эксплуатации зданий* являются перечисленные ниже:

1. выборочный ремонт конструкций и инженерного оборудования, поскольку здания возведены из разных по долговечности и износу материалов и конструкций;
2. доступ к конструкциям в надземных зданиях и снаружи, и изнутри, что облегчает осмотры, диагностику повреждений, определение мест и объемов ремонтных работ;
3. сохранение проектных условий для оснований, защита их от подтопления, увлажнения и промерзания, ибо здания весьма

чувствительны к деформациям оснований, опасным для всей надземной части;

4. восстановление герметичности стыков крупнопанельных зданий, подверженных температурным деформациям, и как следствие — повреждение стыков и нарушение температурного режима в зданиях;
5. защита конструкций от увлажнения как первопричина их промерзания и разрушения, так как стены и покрытия зданий чувствительны к промерзанию, особенно после их увлажнения;
6. защита крыши и покрытия, кровли, поскольку они выполняют важные для сохранения эксплуатационных качеств зданий функции и находятся в особо жестких условиях, подвергаясь многим механическим, физико-химическим и температурным воздействиям, а также недопустимым воздействиям при сбрасывании снега и сбивании наледей ломами и лопатами;
7. сохранение и восстановление герметичности ограждающих конструкций, лестничных клеток, шахт лифтов, входов, исключающей избыточную эксфильтрацию тепла из зданий повышенной этажности, подверженных тепловому и ветровому напору, а также увеличению теплопотерь;
8. поддержание на должном уровне внешнего облика зданий (входов, всего фасада, водоотводов, крыш), так как они являются объектами обзора многих людей, вызывая у них определенные эмоции, которые должны быть положительными.



Анализ опыта эксплуатации зданий позволил выявить характерные, наиболее уязвимые места и дефекты, с которых начинается разрушение конструкций

Эксплуатационный персонал должен провести аналогичный анализ обслуживаемых зданий, выявить в каждом их типе самые уязвимые места, за которыми надо установить тщательное наблюдение, чтобы предотвратить разрушение; это прежде всего сопряжения конструкций из разных материалов, места пропуска труб и др.