

# 1. Общие положения

## 1.1. Эрозия минеральных строительных материалов

Тема водных и водно-солевых нагрузок в строительстве интенсивно исследуется и обсуждается уже десятилетиями, но до сих пор существуют еще ошибочные представления о характере этих воздействий на наши строительные объекты.

Основными причинами эрозии пористых строительных материалов, особенно природного камня, являются частые осадки и сезонные изменения температуры в нашей климатической зоне. Они вызывают интенсивный приток воды и агрессивных веществ, приводящий к деструкции материалов, особенно в условиях отрицательных температур.

В ходе индустриализации во второй половине XIX в. с увеличением количества сжигаемого минерального топлива постоянно повышалось содержание углекислого газа (диоксида углерода) в атмосфере. Диоксид углерода, реагируя с водой, образует угольную кислоту, которая с атмосферными осадками проникает в строительный материал. Воздействию подвергается прежде всего пористый природный камень. В зависимости от химического и минералогического состава в камне происходят соответствующие процессы выщелачивания, переноса, образования и кристаллизации соли. Постоянный приток агрессивных веществ, от кислот до солей, образующихся в результате реакций с кислотами, приводит к быстрому и интенсивному разрушению природного камня как на поверхности, так и внутри. Разрушающий потенциал постоянно повышается за счет солей, кристаллизующихся и образующихся под поверхностью в основной зоне испарения. При воздействии влаги растворимые соли, а растворимость является решающим критерием, переходят в жидкую фазу и мигрируют по капиллярам в пористую структуру природного камня. При высыхании они вновь концентрируются под поверхностью, приводя к необъяснимому на первый взгляд ускоряющемуся разрушению поверхности камня (**фото 1, 2**).

Химически слабая угольная кислота, концентрация которой сравнима с ее содержанием в вине или в газированной минеральной воде, вызывает растворение, особенно известняков. Если известняк плотный, например мрамор, то явления смыва дождями невелики. В пористом известняковом туфе они очень значительны. Еще в прошлом веке установили, что атмосферное воздействие ускоряет схватывание и набор прочности при карбонизации известковых штукатурок за счет повторной рекристаллизации известкового вяжущего. Штукатурки становятся все прочнее и плотнее за счет растущих и взаимно сплетающихся кристаллических структур. Ситуация изменилась с началом применения богатого серой минерального топлива. При сгорании сера превращается в диоксид, при взаимодействии диоксида с атмосферной водой образуются сильные кислоты, сернистая и затем серная кислота, вызывающие эффекты растворения карбоната кальция в строительных материалах.

Например, из водного раствора сульфата натрия до 32,4°C выкристаллизуется водосодержащий мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), а выше 32,4°C – не содержащий воды тенардит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Такая перекристаллизация возможна только в том случае, если речь идет о чистом растворе сульфата натрия. На практике это встречается редко. Обычно присутствуют и другие растворенные ионы, например ионы магния. В этом случае безводный сульфат натрия может образовываться уже при температуре 15°C. Поскольку такая кристаллизация происходит обычно только в строительных элементах, временно находящихся в сухом состоянии, то длительно влажные или погруженные в воду части сооружения не подвержены агрессивному действию солей.

Возникающее при кристаллизации давление зависит от распределения радиусов пор. При этом можно считать, что агрессия на структуру материала приводит к разрушению в результате многократно повторяющихся циклов. Следует добавить, что кристаллы соли образуются преимущественно в больших порах, пустотах и трещинах при одновременном подводе раствора из тонких пор. По аналогии с моделью роста кристаллов льда можно допустить, что растущий в маленькой поре кристалл соли имеет более высокий химический потенциал, чем растущий в большой поре. На основании этого можно заключить, что наибольшее кристаллизационное давление всегда возникает в строительных материалах с высокой долей тонких пор.

Достаточно часто встречаются так называемые двойные соли, т. е. соли, состоящие из более чем одного катиона и аниона. Следует также отметить, что разные соли представлены множеством гидратных ступеней. Это важно для понимания метаморфозы солей и процесса солевого разрушения. Концентрация насыщенного раствора также зависит от вида гидрата.

Учитывая поведение солей при кристаллизации, следует помнить, что некоторые из них обладают свойством в определенных диапазонах температуры принимать или отдавать воду в составе решетки кристалла. Этот процесс называется гидратацией и также связан с увеличением объема. Это означает, что у определенных солей при их осаждении из пересыщенных растворов происходит увеличение объема. При этом пересыщенный раствор имеет меньший объем, чем выделяющиеся из него кристаллы соли и остаток раствора. Если пересыщенный раствор целиком заполняет пору и осаждающиеся кристаллы закупоривают выходы из поры, то при кристаллизации может развиваться всестороннее гидростатическое давление на стенки пор. Некоторые соли отдают воду уже в области температур до 40°C и поглощают воду при снижающейся температуре или растущей влажности воздуха.

разрез на такую глубину, чтобы он пересек крест-накрест первый заполненный разрез. Это гарантирует наличие гидроизоляции во всех направлениях. Преимуществом является то, что здесь не требуются защитные стальные клинья или другие приспособления.

Данная технология также является относительно дорогостоящей, так как вырезы в стене требуется сделать с обеих сторон в два этапа. Кроме того, нужно учесть время схватывания и твердения раствора. Этот метод непригоден при большой толщине стен и при наличии двухслойной кладки.

### **Технология распиливания стены**

Данная технология применяется с начала прошлого века, впервые она была письменно упомянута в 1906 г. В этом случае разделение кладки осуществляется в заданной области (зачастую непосредственно над поверхностью грунта) вручную или механически. Для разделения используются шайбы, фрезы, различного типа пилы. Для мягких или средней твердости кирпичей и природных камней, например песчаника, применяют передвижные цепные пилы, а для таких твердых камней, как базальт, гранит и т.п., – инструменты с алмазными режущими телами.

Кладочные швы можно резать в сухом состоянии. При работе с натуральным камнем необходимо охлаждать полотна или цепи пилы. Часто для этого требуется очень много охлаждающей воды. Ширина разреза составляет в зависимости от применяемой технологии распила 5 – 6 и максимально 10 – 13 мм; высота от земли может достигать до 4 см.

С помощью этой технологии могут быть обработаны стены теоретически любой толщины. Решающим является техническое оснащение и опыт специализированного предприятия. Теоретически была бы возможна обработка стены только с одной стороны. Но на практике кладку толщиной более 100 см разрезают с обеих сторон. Разумеется, это приемлемо только при обоедносторонней доступности стены, поэтому все чаще применяют технологии одностороннего разреза. При использовании соответствующих распиливающих полотен можно достигнуть противоположной стороны кладки, не повреждая штукатурку или облицовку. Это делает одностороннее применение еще более предпочтительным (**фото 45, 46**).

Если кладка насквозь прорезается смачиваемой передвижной или тросовой пилой, то длина каждого участка разреза не должна превышать 1 м. Затем в разрез помещаются материалы для отсечной гидроизоляции: герметизирующая пленка из высококачественного пластика, стойкого к истиранию, сдавливанию и химической коррозии, кашированная битумом алюминиевая или свинцовая фольга или коррозионностойкая нержавеющая сталь. Самое широкое распространение находят усиленные стекловолокном пластмассовые плиты или пленки из полиэтилена высокого давления толщиной 1,5 – 2,0 мм. Необходимо обратить внимание на достаточное перекрытие горизонтального барьера.

ностью. Это приводит к появлению влажных стен, невзирая на колебания влажности окружающего воздуха, которые в данном случае уже мало влияют на имеющуюся в стенах влагу. Если влажность воздуха уменьшается из-за сильного солнечного действия, содержание влаги в камне может временно снижаться. Как следствие, на поверхности стен кристаллизуются растворимые соли. При этом, как правило, влажность и концентрация солей в области цоколя существенно выше, чем в остальной части каменной кладки, что обусловлено капиллярно поднимающейся влагой. В этих случаях рекомендуются мероприятия по выполнению дополнительной горизонтальной гидроизоляции. Общим правилом является необходимость определения фактических причин повреждений.

Несмотря на то что в последние годы накоплен значительный материал по причинам, действию и устранению повреждающих строение солей, многое еще остается неясным в отношении механизма разрушения материала под действием солей и влаги. Взаимодействие и зависимость химических, физических и структурных свойств в гидрофобной поровой структуре исследованы и поняты лишь частично. Можно снова констатировать, что научные знания о гидрофильных поровых системах автоматически переносятся на гидрофобный строительный материал.

В каменной кладке наблюдается два феномена. С одной стороны, влага воспринимается контактирующими с почвой строительными деталями в форме разбавленных растворов солей, с другой – влага может восприниматься в форме водяного пара и улетучиваться из стен. Причиной капиллярного водопоглощения вертикальной поверхностью сооружения является капиллярное давление поровой структуры в стене и в противовес – действующее гидростатическое давление водного столба. Транспорт влаги в соответствии с законом Дарси зависит от коэффициента транспорта (магнитная проницаемость). Водяной пар диффундирует внутри каменной кладки из-за наличия градиента давления пара. Дополнительное испарение наступает в зависимости от условий окружающей среды, в основном – от относительной влажности воздуха.

Для описания действия агрессивных для кладки солей приводится два механизма повреждения:

- действие кристаллизационного давления при кристаллизации солей из насыщенного раствора в поровом объеме строительного материала;
- действие гидратационного давления при гидратации (присоединении воды) со стороны уже имеющихся кристаллов солей в поровом объеме строительного материала.

Одной из причин повреждения строительного материала солями является увеличение объема в процессе кристаллизации. Возникающее при кристаллизации растворенной соли давление существенно зависит от температуры и концентрации солевого раствора. При высоких концентрациях процесс кристаллизации неизбежно ведет к разрушению краски, штукатурки или кирпичной основы. Здесь

ки, то это связано с некоторыми проблемами. Санирующие штукатурки должны подвергаться тщательному последующему уходу, с тем чтобы не тормозились процессы твердения. Это означает, что содержащая примесь трасса санирующая штукатурка после нанесения нуждается в большом количестве влаги, следовательно, поверхность штукатурки должна постоянно смачиваться. Однако это находится в абсолютном противоречии с механизмом действия санирующих штукатурок. Как уже подчеркивалось, санирующие штукатурки содержат водооталкивающие добавки, которые должны сокращать капиллярное водопоглощение. Гидрофобизация штукатурки способствует прерыванию капиллярной системы с образованием в структуре пор, в которых могут кристаллизоваться соли. Необходимый для штукатурки с трассовыми включениями последующий уход (смачивание) становится, следовательно, невозможным, поскольку штукатурку в течение нескольких недель надо было бы держать влажной. Следствием было бы движение солей, так как гидрофобизация пористой структуры не сформировалась. Этого можно и необходимо избежать с применением санирующих штукатурок.

**Таблица 25. Состав санирующих штукатурок**

Состав санирующих штукатурок	
Вязущее	Трассовая или роман-известь, цемент
Наполнители	Известковый или доломитовый песок, кварцевый песок (обратить внимание на форму зерна, распределение по фракциям, соответствие величин зерна)
Присадки	Гидрофобизирующие и водоудерживающие, а также добавки для улучшения переработки и адгезии
Добавки	Поробразователи (физико-механического действия или реагирующие химически)

#### Заполнители

В качестве заполнителей применяют известковый или доломитовый песок и/или кварцевый песок. Легкие заполнители должны способствовать увеличению порового объема. С помощью подходящего песка могут быть изготовлены штукатурки с различной специфической массой, обладающие к тому же частично и теплоизолирующими свойствами. В качестве добавок применяют вещества, способствующие образованию воздушных пор, гидрофобизирующие и водоудерживающие средства.

В процессе приготовления штукатурных растворов гидрофобизирующие средства механически распределяются в сухом растворе. При обработке штукатурки в штукатурной машине получают соответствующую консистенцию и поровую структуру. Поэтому следует исходить из того, что однородное распределение гидрофобизирующего средства имеет место после схватывания. Однако не исключается, что это может привести к концентрации поровых стенок. Вносимые для образования воздушных пор тензиды лишь относительно равномерно распределяются в структуре штукатурки. Шарообразные поры имеют место

Носители гидроизоляции (основание и конструкции) должны, следовательно, в условиях давления воды противостоять гидростатической нагрузке. Гидроизоляция поверхности пола минеральными суспензиями и/или водонепроницаемым бетоном осуществляется при целесообразности, как и гидроизоляция стен, в области которых сначала изолируются отдельные точки и трещины. Наносимая на горизонтальную поверхность гидроизолирующая суспензия или толстослойное битумное покрытие (минимум в 2 слоя) в области перехода пол/стена, оснащенной галтелями, защищается от последующего повреждения. Мембранная гидроизоляция осуществляется склеиванием внахлест или свариванием.

Для гидроизоляции пола полимербитумным толстослойным покрытием, изолирующими мембранами или жидкими полимерами решающим условием является системная совместимость гидроизолирующего материала с поверхностью. Эти виды гидроизоляции требуют, как правило, сухой поверхности и должны быть устойчивы к щелочам и давлению воды извне. Все переходы и углы должны быть скруглены или сформированы галтелями. Гидроизоляция пола должна примыкать к горизонтальной или вертикальной гидроизоляции. В каждом случае гидроизоляция нуждается в защитном слое и при гидростатическом давлении – временной нагрузке (конструктивный несущий слой). Если стяжка наносится непосредственно на гидроизоляцию пола, она должна быть с ней жестко связана. Трещины на стяжке исключаются.

Примыкания, сквозные проходы и швы являются существенными составными частями гидроизоляции строительного сооружения и как типичные слабые места оказывают решающее влияние на качество гидроизоляционных мер. Чтобы внутренняя гидроизоляция области стен была сформирована в виде ванны, гидроизоляцию продолжают также в область присоединения промежуточных стен. Это можно осуществить в виде инъекций или разделением внутренних стен на ширину приблизительно 20 см от граничащей внешней стены, где и завершить гидроизоляцию.

Все ненесущие конструкции: лестницы, царги и пр. – либо должны быть удалены, либо включены в гидроизоляцию. Световые и воздушные шахты, лифты и пр. также должны быть включены в систему гидроизоляции. Стоки в полу или трубопроводы должны быть обработаны инъекционными методами или обнажены в местах ввода и эластично гидроизолированы.

Деформационные швы и тонкие трещины, например в области горизонтального отсечного слоя или пленки, являются водопроводящими трещинами и должны быть оформлены эластичной армирующей тканью шириной до 30 см, уложенной в слой эластичной гидроизоляции и перекрывающей трещины. Водопроводящие трещины в бетоне должны быть зашпаклеваны с последующей запрессовкой набухающей реактивной смолой. При этом расстояния между пакерами должны составлять примерно половину от толщины стены, а пакер сажается косо по направлению к трещине. После шпаклевания область