

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра строительных материалов

**Методы повышения долговечности природных каменных  
строительных материалов, изделий и конструкций**

Казань – 2017

Составитель: Р.Р. Сагдиев

УДК 691  
ББК 30.3

Методические указания к выполнению практических занятий, курсовой работы и самостоятельной работы студентов для студентов по направлению 08.04.01 Строительство / Сост. Р.Р. Сагдиев: КГАСУ, 2017.

Настоящие методические указания к выполнению практических занятий, курсовой работы и самостоятельной работы студентов содержат материалы, необходимые для выполнения расчета долговечности каменных конструкций различными методами.

Составлены в соответствии с Государственным образовательным стандартом по направлению 08.04.01 Строительство

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2017 г.

|   |    |
|---|----|
| Содержание  |    |
| 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ                           | 4  |
| 2. АГРЕССИВНЫЕ СРЕДЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ | 6  |
| 3. КОРРОЗИЯ ПРИРОДНОГО КАМНЯ  | 9  |
| 4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ           | 10 |
| 5. ДЕФЕКТЫ В КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ                                    | 14 |
| 6. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ   | 19 |
| 7. СОСТАВ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ                                | 27 |
| 8. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ                                 | 30 |

## 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

Искусственные строительные материалы, применяемые в конструкциях зданий и сооружений, изготавливают в сравнительно короткие технологические сроки. Эти сроки весьма малы по сравнению с многолетним использованием зданий и сооружений. К моменту передачи конструкций в эксплуатацию важно обеспечить состояние искусственных строительных материалов на уровне, отвечающем требованиям высшего качества готовой продукции. Предэксплуатационный период является важнейшим, непосредственно влияющим на долговечность зданий и сооружений или их элементов. Качественные показатели готовой продукции, приобретаемые в результате технологической переработки сырья, служат исходными характеристиками, претерпевающими последующие изменения в эксплуатационный период до критического размера. И чем прогрессивнее технология при переработке сырья, тем выше, как правило, и исходные качественные показатели ко времени передачи объекта в эксплуатацию. С этого момента начинается отсчет периода, именуемого долговечностью. Долговечность относится к комплексной характеристике качества строительных материалов, изделий и конструкций и выражается в их способности сопротивляться сложному воздействию внешних и внутренних факторов, проявляющихся в эксплуатационный период работы конструкции. О долговечности судят по продолжительности изменения до критических размеров прочности или деформационной устойчивости как ключевых свойств в отношении данной конструкции здания или сооружения. Долговечность – способность материала в течение определенного времени сохранять на допустимом уровне структурные параметры, сложившиеся в технологический период. Долговечность зданий и сооружений – предельный срок службы зданий и сооружений, в течение которого они сохраняют требуемые эксплуатационные качества. Различают долговечность моральную и физическую. Моральная долговечность (срок морального износа) характеризуется сроком службы зданий и сооружений до того момента, когда они перестают отвечать изменяющимся условиям эксплуатации или режимам технологических процессов. Физическая долговечность определяется продолжительностью износа основных несущих конструкций и элементов (например, каркаса, стен, фундаментов и др.) под воздействием нагрузок и физико-химических факторов. Некоторые конструктивные элементы и части зданий и сооружений (лёгкое стеновое ограждение, кровля, перекрытия, полы, оконные переплёты, двери и прочее) могут иметь меньшую долговечность и заменяться при капитальном ремонте. Постепенный физический износ конструкций происходит неравномерно в течение общего срока службы здания; в первый период после постройки – быстрее (что связано с деформациями конструкций, неравномерными осадками грунта и т. п.), а в последующий, преобладающий по длительности, – медленнее (нормальный износ). По окончании первого периода эксплуатации здания отдельные его конструкции могут нуждаться в специальном послеосадочном ремонте. Долговечность сокращается при

неправильной эксплуатации зданий и сооружений, перегрузках конструкций, а также при резко выраженных разрушающих влияниях окружающей среды (действие влаги, ветра, мороза и т. д.). Большое значение для обеспечения долговечности имеет правильный выбор конструктивных решений с учётом особенностей климата и условий эксплуатации. Повышение долговечности достигается применением строительных и изоляционных материалов, обладающих высокой стойкостью при замораживании и оттаивании, влагостойкостью, биостойкостью, и защитой конструкций от проникновения в них разрушающих агентов и прежде всего жидкой влаги. Время «жизни» здания или сооружения определяется долговечностью четырех его основных составляющих: фундамента, стен, оконных конструкций и крыши. Срок их службы, в свою очередь, во многом зависит от технологий и качества строительных материалов, ассортимент которых сегодня довольно широк. Главное здесь – не ошибиться и сделать грамотный выбор. 6 Таким образом, время «жизни» здания или сооружения зависит от срока службы материалов, из которых они изготовлены. Для определения этого периода проводятся специальные лабораторные исследования и экспертизы, по результатам которых судят о возможностях того или иного изделия. Например, это могут быть испытания на морозостойкость, водостойкость или на проверку прочности. Наиболее жесткие требования по долговечности предъявляются к конструкционным материалам, работающим в экстремальных условиях: агрессивная среда, резкая смена температур и т. д. Для материалов несущих и ограждающих конструкций долговечность должна быть не менее срока службы здания и сооружения. Долговечность отделочных материалов может быть несколько ниже, поскольку она связана со сроками морального старения отделки. В соответствии с вышеизложенным долговечность изделия конструкции должна закладываться на стадии проектирования, изготовления и обеспечиваться соответствующим комплексом свойств в данных условиях эксплуатации. Более широким и емким свойством материалов, изделий и качеством конструкций из них, чем долговечность, является надежность. Надежность – одно из основных комплексных свойств материалов, определяющих их способность выполнять свои функции в течение заданного времени и при данных условиях эксплуатации, сохраняя при этом в определенных пределах установленные характеристики. Сохранение такой надежности может быть обеспечено путем исключения «отказов», т. е. внезапного ухудшения свойств материала ниже уровня браковочного показателя, которым обеспечена его работоспособность. Надежность представляет собой общие свойства, характеризующие проявление всех остальных свойств изделия в процессе эксплуатации. Надежность складывается из долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости. Эти свойства связаны между собой. Долговечность – свойство изделия или конструкции сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами на ремонт. Предельное состояние определяется степенью разрушения изделия, требованиями безопасности или экономическими соображениями. Долговечность строительных изделий

измеряют обычно сроком службы без потери эксплуатационных качеств в конкретных климатических условиях и в режиме эксплуатации. Долговечность определяется совокупностью физических, механических и химических свойств материала. Ее нужно оценивать применительно к конкретным условиям эксплуатации. Показатели долговечности и надежности строительных материалов и изделий напрямую связаны с затратами на эксплуатацию – ремонт зданий и сооружений. С одной стороны, долговечность зависит от состава, структуры и качества материала, т. е. совокупных свойств самого материала, с другой – от интенсивности внешних воздействий: нагрузок, температуры, влажности и агрессивности среды. Поэтому для каждого конкретного материала его долговечность будет определяться областью применения, интенсивностью эксплуатационных нагрузок, качеством ухода в течение срока службы. Долговечность оценивается важнейшим эксплуатационным условием с учетом экспериментальных и расчетных данных и количественно измеряется временем (в годах) от начала эксплуатации в заданном режиме до момента достижения предельного состояния. В строительных нормах и правилах, действующих в нашей стране, установлены следующие степени долговечности строительных конструкций: I степень со сроком службы не менее 100 лет; II – 50 лет; III – 20 лет. Безотказностью называют свойство изделия сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации в течение некоторого времени без вынужденных перерывов на ремонт. К показателям безотказности относят вероятность безотказной работы. Отказом называют события, при которых система, элемент или изделие полностью или частично теряют работоспособность. Потеря работоспособности вызывается такой неисправностью, при которой хотя бы один из основных параметров выходит за пределы установленных допусков. 8 Ремонтпригодность – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к восстановлению исправного состояния и сохранению заданной технической характеристики в результате предупреждения, выявления и устранения отказов. Показателем ремонтпригодности является среднее время ремонта на один отказ данного вида, а также трудоемкость и стоимость устранения отказов. Сохраняемость – свойство изделия сохранять обусловленные эксплуатационные показатели в течение и после срока хранения и транспортирования, установленного технической документацией. Сохраняемость количественно оценивается временем хранения и транспортирования до возникновения неисправности.

## **2. АГРЕССИВНЫЕ СРЕДЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ**

Строительные конструкции и элементы зданий и сооружений в процессе эксплуатации подвергаются воздействию: – газообразной среды в виде загрязненной атмосферы окружающего воздуха, смеси воздуха, водяных паров, газов, паров летучих веществ; – твердой среды в виде пылей, загрязняющих атмосферу воздуха (взвешенные вещества) и осаждающихся на наружных поверхностях конструкций, сыпучих и кусковых технических

продуктов грунта и асфальтовых покрытий, солей-антиобледенителей, грунтов, содержащих агрессивные компоненты; – жидкой среды в виде атмосферных осадков, особенно кислотных дождей, технологических растворов и в виде агрессивных природных или загрязненных поверхностных и минерализованных грунтовых вод. Загрязнение поверхностных и грунтовых вод, как правило, обусловлено бытовыми и техническими отходами, нефтепродуктами, утечками канализационных вод и технологических жидкостей. Могут быть и различные комбинации указанных сред, а также их сочетание с электрическим током, световыми и радиационными излучениями. При этом в каждом отдельном случае среда может содержать один или несколько агентов. Согласно СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии» [1] все среды по степени воздействия на строительные конструкции подразделяются: – на неагрессивные (Н); – слабоагрессивные (Сл); – среднеагрессивные (Ср); – сильноагрессивные (Си). В основу классификации положены относительное снижение прочности материала в зоне коррозии и внешние проявления признаков коррозии в результате эксплуатации изделий в течение одного года (табл. 1).

Таблица 1 Степень воздействия агрессивной среды

| Показатель и коррозии | Степень агрессивности среды |   |   |   |
|-----------------------|-----------------------------|---|---|---|
|                       | Н                           | Сл  | Ср  | Си  |
| Снижение прочности, % | Нет                         | Менее 5   | 5...20  | Более 20  |
| Внешние признаки      | Нет                         | Слабое поверхностное разрушение материала (шелушение) | Повреждение углов, появление волосяных трещин | Ярко выраженное разрушение материала (растрескивание) |

Степень агрессивности определяется: – для газообразных сред – видом и концентрацией газов в сочетании с температурой и влажностью окружающего воздуха; – твердых сред – видом, растворимостью в воде и гигроскопичностью отдельных компонентов, содержащихся в пыли, в сочетании с температурой и влажностью окружающего воздуха, химическим составом и количеством растворимых солей в грунте; – жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных компонентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкций. Наиболее распространенными являются жидкие и газообразные агрессивные среды. Жидкие среды представляют собой водные растворы, отличающиеся степенью минерализации, жесткостью, кислотностью и

щелочностью. Степень агрессивного воздействия жидких сред зависит от концентрации водородных ионов (рН). Концентрация ионов водорода характеризует химическую активность жидких агрессивных сред. В кислой среде концентрация ионов водорода большая, в щелочной – малая. Введено понятие водородного показателя рН – отрицательного десятичного логарифма концентрации водородных ионов:  $pH = -\lg [H^+]$ . В зависимости от рН растворы делят на нейтральные, кислые и щелочные. При рН = 7 раствор нейтральный, при рН > 7 – щелочной. При диссоциации воды выделяются ионы водорода  $H^+$  и гидроксида  $OH^-$ :  $H_2O = H^+ + OH^-$ . Рассмотрим воду и ее растворы: а) вода рек и озер имеет слабощелочную реакцию; б) воды грунтовые и подземные содержат минеральные соли и другие примеси; в) морская вода содержит до 3500 мг/л солей (из них хлорида натрия 78%, хлорида магния 11%, сульфаты магния, кальция и калия соответственно 4,7; 3,6; 2,5%); г) промышленные стоки могут содержать различные примеси, в том числе кислоты, щелочи, соли, нефтепродукты и т. д.; д) чистая неминерализованная вода (мягкая) агрессивна в отношении пористых цементных бетонов, вызывает выщелачивание извести и других растворимых солей, а также коррозию некоторых металлов (например, свинца). Кислоты агрессивны по отношению к металлам, обычным камням на щелочной основе (высокоалитовый цемент), силикатному кирпичу, осадочным горным породам (известнякам, мраморам, доломитам и т. д.). Керамические изделия, кирпич кислотоупорный хорошо противостоят кислотам. Бетон на жидком стекле хорошо противостоит только концентрированным кислотам, кроме  $HF$  и  $H_2SiF_6$ . Агрессивность кислот определяется их природой, концентрацией, температурой. Минеральные кислоты – соляная, серная, фосфорная и азотная – обладают большей коррозионной активностью, чем органические. Из органических кислот наиболее агрессивны молочная, уксусная, масляная. Щелочи (концентрированные и их растворы) при нагреве особенно разрушающе действуют на некоторые металлы, камни, бетоны, керамику. Особенно агрессивными являются концентрированные растворы едких щелочей – едкого натрия и едкого калия. При концентрации растворов щелочей до 5% значительных разрушений цементного камня не наблюдается. В зависимости от значения рН все жидкие среды делятся на пять групп: 1) кислые – рН = 1...3; 2) слабокислые – рН = 4...6; 3) нейтральные – рН = 7; 4) слабощелочные – рН = 8...10; 5) щелочные – рН = 11...14. Растворы солей вызывают коррозию материалов определенных составов, например цементных бетонов (сульфатная коррозия). Газообразная среда – атмосфера. Загрязнение воздушного бассейна города обусловлено главным образом выбросами автомобильного транспорта и объектами теплоэнергетики. Автомобильный транспорт является источником выделений диоксида углерода, окислов азота, летучих органических соединений, а объекты энергетики – источниками сернистых газов, сероводорода и пылей сложного химического состава. В атмосферном воздухе городов присутствуют примеси бензопирена, взвешенных веществ, аммиака, формальдегида, сероводорода, диоксида азота. Уровень и интенсивность загрязнения атмосферы имеют



динамику во времени и пространстве и связаны с сезонностью, близостью расположения крупных городских автомагистралей, а также с режимом нагрузок в системах отопления и горячего водоснабжения. Воздух является носителем таких агрессивных компонентов, как углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), водяные пары, оксиды азота, хлора, хлористого водорода, фтористого водорода, сернистого газа, сероводорода. Действие газа на пористые материалы (бетон, кирпич, штукатурку, древесину) отмечается не только на поверхности, но и в более глубоких слоях. Так, проникновение газа в бетон невысокой плотности за длительный период может достигать 10 см, в плотный – 1–2 см. Плотные материалы (металлы, изверженные каменные материалы) взаимодействуют с газом на поверхности. Пористые (известняки, бетоны, кирпичи) подвержены воздействию и снаружи, и изнутри материала.

### **3. КОРРОЗИЯ ПРИРОДНОГО КАМНЯ**

Непременным условием длительной службы каменных материалов в сооружениях является правильный их выбор с учетом эксплуатационной среды, минимального состава и структуры материала. Однако даже самые прочные породы при постоянном химическом воздействии атмосферных факторов и различных микроорганизмов разрушаются, т. е. происходит процесс выветривания. Основные причины выветривания природных каменных материалов в сооружениях: замерзание воды в порах и трещинах, вызывающее внутренние напряжения; чередующиеся изменения температуры и влажности, ведущие к появлению микротрещин, растворяющее действие воды. Активное влияние на разрушение природного камня оказывает химическая коррозия под действием газов ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  и др.), содержащихся в атмосфере, и веществ, растворенных в грунтовой или морской воде. Различные микроорганизмы и растения (мхи, лишайники), поселяясь в порах и трещинах камня, извлекают для своего питания щелочные соли, выделяя при этом органические кислоты, которые, взаимодействуя с некоторыми составляющими компонентами камня, вызывают его разрушение. Такой вид коррозии называется биологическим разрушением. Стойкость материалов против выветривания тем выше, чем меньше их пористость и растворимость. Поэтому все мероприятия по защите каменных материалов от выветривания направлены на предохранение их от воздействия воды и на повышение поверхностной плотности. Эти меры могут быть конструктивными и химическими. Конструктивная защита от увлажнения предполагает устройство надлежащих стоков воды, придание изделиям гладкой поверхности и такой формы, при которых вода, попадающая на них, не задерживается и не проникает внутрь материала. Физико-химические методы защиты природного камня сводятся к гидрофобизации его поверхности кремнийорганическими жидкостями: уплотнению поверхностного слоя камня путем его пропитки мономером с последующей полимеризацией в порах при термокаталитической или радиационной обработке. 101 Для защиты карбонатных пород наиболее эффективным методом является флюатирование. В результате взаимодействия с

поверхностным слоем камня происходит следующая реакция:  $2\text{CaCO}_3 + \text{MgSiF}_6 = 2\text{CaF}_2 + \text{SiO}_2 + 2\text{CO}_2 \uparrow + \text{MgF}_2$ . Получающиеся новообразования практически не растворимы в воде. Они отлагаются в порах, уменьшая пористость и смачиваемость поверхности, скорость капиллярного подсоса воды, кроме того, препятствуют загрязнению облицовки пылью.

#### **4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ**

##### **Морозостойкость**

На большей части территории России в холодный период года температура воздуха понижается от 0 до  $-50^\circ\text{C}$ . Причиной разрушения камня является многократная смена замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии. Систематическое совместное действие воды и низких температур может вызвать быстрое разрушение камня, если не будут предприняты соответствующие меры по обеспечению его долговечности. Разрушение камня при попеременном замораживании и оттаивании вызывается расклинивающим действием воды, находящейся в его порах. Вода, переходя из жидкого состояния в твердое (лед), увеличивается по объему на 9,2%; это вызывает при определенных условиях напряжения в камне. Согласно этой гипотезе разрушение вызывает не непосредственно образовавшийся лед, а давление выжимаемой им воды в тех капиллярах, где оно превышает критическое, соответствующее прочности камня на растяжение. Величина этого давления связана с длиной капилляров и с проницаемостью камня. Предельная длина капилляров не должна превышать 200 мкм. Ее уменьшение обеспечивает получение камня с особо высокой непроницаемостью, равной 10-16 см<sup>2</sup>. Следовательно, главная задача, которую необходимо решить, – это выбор камней из с большим числом мелких пор, в которых может обжиматься часть воды при замораживании камня. Если расстояние между порами в камне не превышает предельного, то напряжение в материале остается ниже разрушающего и бетон характеризуется как морозостойкий. Наличие деструктивных процессов при колебаниях отрицательных температур объясняется различием коэффициентов температурного расширения составляющих камня и льда (осмотическая гипотеза). В ее основе лежит изучение кинетики развития линейных деформаций цементного камня при отрицательной температуре. Виды разрушений каменных конструкций при замораживании весьма различны. Г.И. Горчаков дал следующую классификацию видов разрушения камня с объяснением причин этих явлений. 1. Поверхностные разрушения, начинающиеся в виде шелушения, переходящие в отслаивание. Они связаны с миграцией влаги в камне, направленной к охлаждаемой поверхности. 2. Постепенное разрыхление камня, сопровождающееся увеличением его объема, повышением водопоглощения, снижением прочности и модуля упругости. В начальной стадии не всегда появляются внешние признаки

такого разрушения. Причиной такого разрыхления является большая капиллярная пористость камня. 3. Внезапное «взрывное» разрыхление камня, который вначале хорошо противостоит попеременному замораживанию и оттаиванию. Это может произойти через 100–120 циклов замораживания: понижение прочности и модуля упругости, указывающее на ухудшение структуры камня. Такой характер разрушения связан с повышенной усадкой тонкомолотых быстротвердеющих цементов. 4. Местное (очаговое) разрушение камня, вызванное расслоением, неоднородностью бетонной смеси, наличием неморозостойкого заполнителя и комков глины. 5. Растрескивание камня, сопровождающееся его распадом на отдельные куски. Это характерно для камня, помещенного в зону переменного уровня морской воды. В случае частичного заполнения пор камня водой гидравлическое давление от ее перехода в лед снижается за счет сжатия воздуха пор. При заполнении объема пор водой до 85% гидравлическое давление не возникает. Именно на этом основан расчет известной структурной характеристики камня, позволяющей прогнозировать его морозостойкость, – коэффициента морозостойкости (KF):

$$K_F = \frac{V_o}{V_{нас}}$$

где  $V_o$  – водопоглощение, % по объему;  $V_{нас}$  – водонасыщение под вакуумом, % по объему. Ориентировочно можно прогнозировать, что камень будет морозостойким, если  $KF \leq 0,85$ . Разрушение камня обычно протекает в две стадии: 1) образование микротрещин в камне вследствие наличия самых разных деструктивных процессов; 2) проникновение в микротрещины воды, которая замерзает, создавая большие напряжения, что вызывает их быстрое развитие и в итоге – разрушение материала.

Марка по морозостойкости лицевых изделий должна быть не ниже F50. Марка по морозостойкости изделий, используемых для возведения дымовых труб, цоколей и стен подвалов, должна быть не ниже F50.

### **Трещиностойкость**

Говоря о трещиностойкости, мы описываем довольно большой круг вопросов. Дело в том, что на образование трещин влияет несколько факторов и в зависимости от целей исследования трещиностойкость рассматривается с позиции одного из них. Если же мы ставим задачу повышения трещиностойкости вообще, то необходимо рассматривать ее с позиции каждого фактора и найти такое их сочетание, при котором трещиностойкость будет максимальной. Существует несколько путей образования и развития трещин в бетоне: 1) при статической нагрузке (при этом происходит развитие трещин; микротрещины); 2) при динамических нагрузках; 3) под воздействием атмосферы; 4) под воздействием попеременного замораживания и оттаивания. Необходимость повышения трещиностойкости обусловлена тем, что трещины

оказывают прямое влияние на прочностные характеристики его долговечность и надежность. Другим фактором, отрицательно воздействующим на трещинообразование, является ползучесть. Согласно теории ползучести под действием статических усилий камень испытывает пластические деформации ползучести, что приводит к более равномерному распределению напряжений в бетоне от внешнего давления, таким образом, создаются менее благоприятные условия для развития трещин. Характеристики трещиностойкости определяют при равновесных и неравновесных механических испытаниях. Неравновесные испытания на стадии локального деформирования образца характеризуются обеспечением адекватности изменения внешних сил внутренним усилиям сопротивляемости материала с соответствующим статическим развитием магистральной трещины. Неравновесные испытания характеризуются потерей устойчивости процесса деформирования образца в момент локализации деформации по достижении максимальной нагрузки с соответствующим динамическим развитием магистральной трещины.

Влияние динамических нагрузок на образование трещин Бетон в процессе эксплуатации может испытывать динамические нагрузки. При динамическом нагружении процессы, протекающие, имеют свои особенности. При динамических нагрузках, протекающих с большой скоростью, внешнее давление на камень должно было бы его разрушить, но этого не происходит, так как возникают мощные силы упругости со стороны камня. Это связано с тем, что вода в порах не успевает найти себе выхода и выполняет роль упругой пружины при динамической нагрузке.

Воздействие атмосферы на трещинообразование При эксплуатации открытых бетонных конструкций на воздухе бетон подвергается попеременному увлажнению и высыханию. Механизм развития трещин происходит следующим образом: в процессе увлажнения поры заполняются водой, а в процессе сушки происходит отток воды из пор к поверхности материала, что сопровождается натяжением менисков жидкости и возникновением сил, сжимающих бетон по всему объему. В момент, когда эти силы превысят силы упругости камня, происходит дальнейшее развитие трещины.

Воздействие циклического замораживания и оттаивания При увлажнении в трещину или пору попадает вода. Под воздействием отрицательных температур она превращается в лед, который с течением времени расширяется. В результате этого давления стенки трещины расходятся и она увеличивается в размерах. При следующем цикле замораживания вода займет в увеличившейся трещине больший объем, а давление льда увеличит объем трещины. Так происходит с каждым циклом.

### **Истираемость**

Истираемость – один из основных технических показателей этих материалов для покрытий. Под истираемостью понимают способность материалов сопротивляться воздействию различных истирающих усилий.

Например, асфальтобетон сопротивляется действию сил трения, вызываемых проскальзыванием колес автомобиля по поверхности покрытия, и вакуумных сил, возникающих под движением автомобиля. Истираемость асфальтобетонного покрытия при интенсивном автомобильном движении составляет 0,3...10 мм в год. Материалы полов и лестничных маршей сопротивляются действию сил трения, вызываемых подошвой при ходьбе человека. Степень истирания для камней, керамики обычно характеризуется потерей массы материала к единице площади истираемой поверхности. Истираемость строительных материалов определяют специальными приборами, конструкция которых зависит от вида материала.

Каменные материалы (бетоны, растворы, природный камень, керамическую плитку) испытывают на кругах истирания ЛКИ-2 или ЛКИ-3 с использованием специального шлифпорошка № 16 или нормального Вольского песка. Основным элементом круга истирания – вращающийся диск с помощью грузов прижимает образец с усилием 300 Н (0,6 кг/см<sup>2</sup>). Круг, снабженный счетчиком, автоматически отключается через каждые 28 оборотов. Для испытания готовят два образца-куба с ребром 70 мм. Боковые грани кубов нумеруют цифрами 1...4 и при проведении испытаний в порядке этой нумерации поворачивают образец. Перед испытанием образцы выдерживают в течение не менее двух суток в помещении лаборатории. Если образцы влажные, то их предварительно высушивают. Подготовленные образцы взвешивают на технических весах с погрешностью не более 0,1 г и определяют площадь, которая будет подвергаться истиранию. На круг равномерным слоем насыпают 20 г абразивного материала. Образцы помещают в гнезда круга, проверяют, свободно ли они перемещаются в вертикальной плоскости, и пригружают грузом. После этого включают привод круга. Через 30 м пути истирания образца (28 оборотов диска) прибор останавливают, с поверхности диска удаляют старый абразивный материал и продукты истирания и вновь насыпают 20 г абразивного материала. Указанную операцию повторяют пять раз, что составляет один цикл испытаний, т. е. 150 м пути истирания. После одного цикла испытания образцы вынимают из гнезда и поворачивают на 90° в горизонтальной плоскости. В этом положении цикл испытаний повторяют. После четырех циклов испытания образцы вынимают, обтирают сухой тканью и взвешивают. Степень истирания вычисляют по формуле

$$I = \frac{m - m_1}{F}$$

где  $I$  – степень истирания, г/см<sup>2</sup>;  $m$  – масса образца до испытания, г;  $m_1$  – масса образца после испытания, г;  $F$  – площадь истираемой поверхности, см<sup>2</sup>. Норма истираемости для керамических плиток при применении кварцевого песка составляет 0,18 г/см<sup>2</sup>, при использовании корундового шлифпорошка – 0,54 г/см<sup>2</sup>. Истираемость бетона на щебне из

плотных горных пород не должна превышать: – 0,7 г/см<sup>2</sup> – для конструкций, работающих в условиях повышенной интенсивности движения (плиты тротуаров на магистральных улицах и т. п.); – 0,8 г/см<sup>2</sup> – для конструкций, работающих в условиях средней интенсивности движения (элементы лестниц общественных и производственных зданий и сооружений, плиты для полов в подземных пешеходных переходах и т. п.); – 0,9 г/см<sup>2</sup> – для конструкций, работающих в условиях малой интенсивности движения (элементы лестниц жилых зданий и плиты для покрытий тротуаров во внутриквартальных проездах и т. п.). Истираемость для мозаичного декоративно-конструкционного бетона элементов лестниц на щебне из мрамора не должна превышать 1,6 г/см<sup>2</sup>, для мозаичного декоративно-конструкционного слоя бетона на щебне из мрамора для элементов маршей и площадок лестниц – 1,8 г/см<sup>2</sup>. Истираемость бетонов (дорожных конструкций, полов, лестниц и др.) определяется по ГОСТ 13087-81.

## **5. ДЕФЕКТЫ В КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

### **Виды дефектов каменных конструкций**

Конструкции, выполненные в камне и кирпиче в старых зданиях, считаются наиболее долговечными. При неблагоприятных условиях — длительном увлажнении материала кладки с попеременным замораживанием и оттаиванием, переустройстве помещений без учета особенностей комплексной работы конструкций, пробивке сводов и стен, удалении тяжелей и других креплений, перегрузке конструкций в связи с новыми требованиями, предъявляемыми к зданиям,— возникают деформации и разрушения.

Ослабление конструкций и постепенное их разрушение могут быть вызваны и другими причинами. Например, в зарубежной прессе появились сообщения, что древнейшему шедевру греческой архитектуры Парфенону на Акрополе угрожает опасность быть полностью разрушенным «под действием влаги, атмосферных явлений, сотрясений, вызываемых полетами сверхзвуковых самолетов, и от заводских газов». Разрушаются также ступени и плиты полов миллионами туристов. От коррозии металлических креплений, установленных в начале века, в деформированных конструкциях подвергается разрушению кладка.

В современных зданиях могут встретиться и другие дефекты — нарушение фасадной облицовки, потеря прочности кирпича, конструктивные недостатки, выявленные при эксплуатации зданий. Нарушения в каменных конструкциях редко сводятся к дефектам лишь отдельных мест, как правило, они взаимно связаны между собой.

Нарушение на одном участке часто вызывает деформации на других и может потребовать усиления всего здания. Это в особенности касается тех конструкций, которые ослабляются из-за нарушений оснований и фундаментов.

К наиболее характерным дефектам в каменных конструкциях можно отнести:

низкую прочность кирпича и раствора;

продуваемость стен при некачественном выполнении кладки;

ослабление кладки из-за нарушения перевязки, утолщения швов, забутовки стен и простенков кирпичным боем;

конструктивные недостатки и недоучет в совместной работе различных по жесткости и загруженности каменных материалов, например: керамической облицовки в сочетании с кладкой из силикатного кирпича, облицовки из силикатного кирпича с кладкой из пустотных блоков; продольных стен, несущих двойную нагрузку по отношению к незагруженным торцовым стенам;

использование каменных материалов не по назначению, например силикатного кирпича для зданий с повышенной влажностью (бани, пропарочные камеры, молокозаводы и другие предприятия с повышенным вла- гообменом);

некачественная перевязка пилястр со стенами;

ослабления кирпичных столбов и простенков в местах опираний перемычек балок и ригелей;

деформации в стенах, связанные с промерзаемостью грунта;

внешние нарушения кладки стен при выщелачивании, шелушении, отпадании облицовки, неморозостой- кости материалов;

комплекс нарушений, связанных с производством работ, выполняемых в зимнее время.

Некоторые из 'перечисленных дефектов и каждый в отдельности или в сочетании с другими являлись причиной обрушения конструкций и аварий зданий.

Не заполненные раствором швы в кладке стен могут и не оказать влияния на прочность конструкций, но такой недостаток при ограниченной толщине стен снижает эксплуатационные качества здания и ухудшает условия проживания в нем. Устранение дефектов такого рода всегда сопряжено с выполнением больших работ по утеплению стен.

Продуваемость стен вследствие неудовлетворительно выполненной кладки встречается в практике строительства довольно часто. Значительное охлаждение помещений по этой причине наблюдалось в жилом пятиэтажном доме, построенном в 1952—1954 гг.

Стены в жилых комнатах были облицованы листами сухой штукатурки. В отдельных комнатах зимой температура понижалась до 10—12° С, при этом следов отсыревания на поверхности стен или в местах примыкания перекрытий к кирпичной кладке не наблюдалось. ПроПроверкой установлено, что на фасадных стенах не выполнена расшивка швов кирпичной кладки, швы не заполнены раствором на глубину до 30 см и более. После того как листы сухой штукатурки были сняты, обнаружили просветы в вертикальных швах шириной до 12 мм. Зазоры по периметру оконных блоков были

проконопачены неудовлетворительно, что способствовало еще большему охлаждению помещений.

Во многих местах по фасадам часть стены со стороны балконов оштукатуривалась слоем цементного раствора толщиной 2—2,5 см. В комнатах, обращенных к оштукатуренным стенам, температура воздуха повышалась до 20° С, а в комнатах, где наружные стены не оштукатуривались, температура воздуха снижалась до 7° С.

Для снижения воздухопроницаемости и утечки тепла через неудовлетворительно выполненную кладку стены должны оштукатуриваться. Если это по каким-либо причинам не может быть выполнено со стороны фасада, необходимо в комнатах с большой воздухопроницаемостью с внутренней поверхности наружных стен снять листы сухой штукатурки и затем оштукатурить поверхность стен известково-цементным раствором с одновременной заделкой швов в кладке. Следует также плотно законопатить обнаруженные пустоты по периметру оконных блоков.

Охлаждение квартир в кирпичных зданиях наблюдается и как следствие некачественного уплотнения температурно-осадочных швов.

В одном из кирпичных пятиэтажных жилых домов постоянно поступали жалобы жильцов на охлаждение квартир. В некоторых квартирах зимой температура резко снижалась, в других она не превышала 17—18° С. На пятом этаже в квартире, примыкающей к температурно-осадочному шву, температура воздуха снижалась до 12° С.

Произведенные обследования показали, что шов шириной 6 см заполнен канатным жгутом только с поверхности и не по всей толщине. За пределами этой заделки шов оказался пустым; в других местах жгут выпал и повис на стене. Этот недостаток и послужил причиной охлаждения комнат, которые примыкали к температурно-осадочному шву.

Заделка на всю глубину шва просмоленной паклей и обмазка его с поверхности тиоколовым герметиком полностью исключила охлаждение помещений.

В некоторых старых кирпичных зданиях причинами появления сырости в период, когда еще не начат или уже кончается отопительный сезон, бывает значительное количество межквартирных перегородок, нарушение воздухообмена из-за неотрегулированности действующей системы отопления и недостаточного обогрева лестничных клеток.

Покрытие стен масляной краской на всю высоту и нерегулярное проветривание помещений нарушает воздухообмен, способствует образованию сырости и отпотеванию стен. Кроме того, масляная краска выделяет вредные пары.

Здание, в котором наблюдались перечисленные дефекты, было построено в 1914 г. Ширина стен по произведенным замерам составляет в двух нижних этажах 90 см, монолитность стен создана полным заполнением швов под залив.

В плане реконструкции предусматривается полное переустройство таких зданий с учетом современных санитарно-гигиенических норм и с



внутренней перепланировкой, рассчитанной на устройство отдельных квартир.

Со своеобразными трещинами приходится встречаться в выстроенных и эксплуатируемых кирпичных пятиэтажных многосекционных домах типовой серии 1-511. Наружные стены этих домов выполнены из красного обыкновенного кирпича или семищелевых керамических камней; фасады облицованы лицевыми камнями. Толщина наружных стен 51 см; внутренней средней продольной стены 38 см, обычно она выкладывается из силикатного кирпича. В стене расположены вентиляционные каналы. Плиты перекрытий типа НУ-59-12 и НУ-59-10 опираются на наружные и внутренние продольные стены.

Трещины в таких домах обычно появляются в примыканиях средней продольной стены к торцовым. Реже они проходят строго по примыканию вертикально либо отклоняются под углом 15—30° и развиваются в средней стене. Ширина трещин колеблется от 10 до 25 мм, отдельные из них достигают 40—60 мм.

Трещины, как правило, сквозные и распространяются во всех этажах неравномерно. В верхних этажах раскрытие трещин больше, чем в нижних. Во многих домах трещины проходят в примыкании стен, затем под углом переходят на среднюю стену и далее распространяются в поперечном направлении между крайней и второй плитой по русту заделки, которая при этом нарушается. Наблюдаются также сколы бетона в плитах в местах прохождения трещин.

Причиной возникновения таких трещин являются главным образом конструктивные особенности дома.

Кладка внутренней продольной стены из силикатного кирпича обладает повышенной деформативностью за счет свойств (ползучести) стенового материала. Внутренняя стена по сравнению с наружными больше нагружена и имеет при этом меньшую толщину. Количество швов в кладке в 2 раза больше, чем в наружных стенах, выполненных из семищелевых стеновых блоков толщиной 14 см.

Трещины появляются уже в первый год эксплуатации и стабилизируются обычно на 7—8-й год. Такие трещины появляются и в процессе строительства; одна из таких трещин была предъявлена к осмотру, когда заканчивалась кладка стен четвертого этажа.

На развитие трещин оказывает также влияние и неравномерность обжатия грунта, служащего основанием для ленточных фундаментов. Фундаменты в наружных стенах заглублены ниже по сравнению со стеной, проходящей внутри здания. Наблюдения за трещинами в домах серии 1-511 ведутся и в настоящее время.

Трещины в примыканиях и стенах, как правило, заделываются цементным раствором, а там, где позволяет величина раскрытия, производятся проконопачивание и обычная отделка. Однако работы этим не исчерпываются, к заделке трещин приходится возвращаться по нескольку раз. Если при повторных раскрытиях трещины невелики, их зашпаклевают. Многие из

них требуют более капитального ремонта, в отдельных случаях приходится прибегать к устройству металлических тяжей. Они проходят по чердаку и закрепляются в наружных поперечных стенах на шайбах. Тяжи состоят из двух или трех отрезков стальных прутьев диаметром 30—40 мм и фаркопов для натяжения. Там, где трещины большие и возможен отрыв поперечной стены от торцевой, на двух этажах устанавливаются дополнительно тяжи, которые крепятся к поперечным стенам на уровне пола

### **Разрушения облицовки фасада здания**

На протяжении ряда лет наблюдается разрушение и отпадение облицовочной плитки марок МК, РК, КГ и др. с фасадов зданий.

Принимаются различные меры по созданию безопасных условий эксплуатации: производится периодическое простукивание плиток на фасадах с удалением поврежденных, предусматривается устройство охранных сеток и ведутся длительные наблюдения за фасадами, облицованными этими плитками.

После того как эти плитки были сняты с производства, облицовку фасадов стали выполнять семищелевыми лицевыми камнями размером 25X14x12 см. Однако при использовании этой облицовки на фасадах зданий обнаруживаются разрушения, сопровождающиеся полным срезом и отпадением облицовки с одного или нескольких простенков одновременно (рис. 9).

В 1965 г. Главмосстроем велись работы по ремонту фасадов 50 зданий, облицованных керамической плиткой, семи- и девятищелевыми лицевыми камнями.

На фасаде девятиэтажного трехсекционного здания разрушилась облицовка. Стены здания из силикатного кирпича отделаны двухрядными лицевыми керамическими камнями. Перевязка облицовочного слоя выполнена тычковыми рядами через три ложковых ряда. Дом построен в 1958 г. В 1968 г. произошло отслоение облицовки в крайнем простенке у торца здания со второго по пятый этаж. Выше пятого этажа облицовка оказалась срезанной и отошла от стены до шестого этажа. На первом этаже облицовка обрушилась на участке площадью 7 м<sup>2</sup>. В местах, где облицовка обрушилась или отбита из-за непригодности, кладка имеет неравномерные по толщине швы. Выполнена она из разнообразного стенового материала: кирпича красного и силикатного, семищелевых блоков, в некоторых случаях с некачественной перевязкой.

По тем же причинам в 1967 г. произошло обрушение облицовки здания, находящегося в эксплуатации семь лет. Облицовка обрушилась мгновенно в нескольких простенках.

С фасада другого здания после десяти лет эксплуатации обрушилась облицовка на первом, втором и третьем этажах на участке площадью около 40 м<sup>2</sup>. В восьмиэтажных домах, построенных в 1956—1957 гг., стены выполнены из силикатного кирпича, три нижних этажа зданий облицованы со стороны

главных фасадов керамической плиткой типа МК, в верхних пяти этажах стены отделаны керамическими лицевыми камнями. Уже в первые годы эксплуатации наблюдалось интенсивное выпадение плиток. Возникла необходимость в устройстве металлической сетки вокруг дома над первым этажом, но и эта мера защиты оказалась недостаточной.

Проверка показала, что 60—70% облицовочной плитки на фасадах нарушено, образовались трещины, наблюдается бучение, отслоение и выпучивание плиток. Потребовалась полная замена облицовочной плитки. Фасады были оштукатурены. В частности, после удаления всей облицовки был оштукатурен в 1965—1966 гг. фасад 12—14-этажного многосекционного жилого дома по Госпитальному валу, построенного в 1950—1952 гг.

Причины отслоения плитки разнообразны, но основные из них связаны с различиями в свойствах облицовки и кладки стены. Относительные деформации керамических камней во много раз меньше деформаций кирпичной кладки. Швы в облицовке одинаковы по толщине, в то время как в кладке их больше по высоте и толщина швов превышает нормативные требования.

При одинаковых условиях процесс твердения раствора в швах, обогреваемых снаружи, протекает значительно быстрее, чем внутри самой кладки.

Зимой при возведении кирпичных зданий методом замораживания отставание в наборе прочности раствора в швах внутри кладки по отношению к наружным швам довольно большое. Снаружи раствор к моменту наступления весеннего оттаивания успевает набрать прочность 15—20 кг/см<sup>2</sup> и более, в то время как внутри стен раствор обладает нулевой прочностью или находится еще в замороженном состоянии. Эта разница в показателях прочности оказывает влияние и на деформативность облицовки. Несомненно, отслаивание плиток связано и с низким качеством выполнения каменных работ. После удаления разрушенной облицовки в стенах обнаруживают дефекты: нарушена перевязка кладки, утолщены швы, отдельные участки забутованы кирпичным боем и битой облицовкой.

## **6. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ**

Защита каменных и армокаменных конструкций от воздействия агрессивных газообразных и твердых сред осуществляется:

- выбором материалов каменной кладки, вяжущего и добавок для раствора;
- защитой поверхности конструкций штукатуркой, лакокрасочными и водозащитными (при конденсации водяного пара) покрытиями.

Защита поверхности конструкций от воздействия жидких сред (проливы, брызги, мокрая уборка полов и т. д.) в цокольных зонах осуществляется применением химически стойких материалов.

Для защиты наружных стен от проникновения солей и конденсированной влаги из помещений с влажным и мокрым режимами, а также из помещений с особыми условиями внутреннюю поверхность стен

следует защищать штукатурным слоем с уплотняющими добавками и лакокрасочными или водозащитными покрытиями в соответствии с требованиями табл. 5. При применении водозащитных покрытий на основе приклеивающих мастик штукатурка не производится

Защита армокаменных конструкций производится в зависимости от степени агрессивного воздействия газообразных и твердых сред. В слабоагрессивной среде следует применять плотный кладочный раствор марки не ниже М75. для уплотнения раствора рекомендуется введение уплотняющих добавок, пластифицирующих добавок при снижении водоцементного отношения; в помещениях с влажным и мокрым режимами конструкции необходимо дополнительно оштукатурить. В средне агрессивной А среде следует применять плотный кладочный раствор марки не ниже М 75 с добавками — ингибиторами коррозии арматуры; в помещениях с влажным и мокрым режимами конструкции необходимо дополнительно оштукатурить и нанести лакокрасочное покрытие 11 группы или гидрофобизировать В сильноагрессивной среде следует применять плотный кладочный раствор марки не ниже М 100 с оштукатуриванием поверхности конструкции и нанесением лакокрасочных покрытий III—IV группы.

Не бетонированные закладные и соединительные элементы, работающие в условиях кратковременного воздействия жидкой агрессивной среды, и в наружных стенах должны быть защищены как не бетонированные стальные закладные детали железобетонных конструкций. Не бетонированные закладные и соединительные элементы, а также металлические элементы наружного армирования конструкций, находящихся внутри помещений, следует защищать от коррозии в соответствии со СНиП 2.03.11—85 как металлоконструкции. В деформационных швах ограждающих конструкций должны предусматриваться компенсаторы из оцинкованной, нержавеющей или гуммированной стали, или других материалов и установка их на химически стойкой мастике с плотным закреплением. Конструкция деформационного шва должна исключать возможность проникновения через него агрессивной среды.

В случае когда на внутренней поверхности наружных стен допускается образование конденсата, внутренней поверхностью стены должна быть влагонепроницаемая (см. рис. 2). При длительном расчетном периоде конденсации (более 5 сут.) на внутренней поверхности стен необходимо дополнительно предусмотреть организованный отвод конденсата.

Выбор защитных материалов следует производить по СНиП 2.03.11-85 и табл.2

Таблица 2

| Степень гигроскопичности<br>аэрозоля | Тип лакокрасочного покрытия           |            |            |            |            |            |           |            |            |           |            |            |                |            |            |
|--------------------------------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|------------|----------------|------------|------------|
|                                      | Влажностный режим внутреннего воздуха |            |            |            |            |            |           |            |            |           |            |            |                |            |            |
|                                      | сухой                                 |            |            | нормальный |            |            | влажный   |            |            | мокрый    |            |            | особые условия |            |            |
|                                      | до<br>12°                             | 12—<br>24° | св.<br>24° | до<br>12°  | 12—<br>24° | св.<br>24° | до<br>12° | 12—<br>24° | св.<br>24° | до<br>12° | 12—<br>24° | св.<br>24° | до<br>12°      | 12—<br>24° | св.<br>24° |
| Высокогигроскопичные                 | Р                                     | Р          | Р          | Р          | Р          | Р          | Р         | Ж          | Ж          | Ж         | Ж          | Ж          | Ж              | Ж          | Ж          |
| Среднегигроскопичные                 | Р                                     | Р          | Р          | Р          | Р          | Р          | Р         | Ж          | Ж          | Ж         | Ж          | Ж          | Ж              | Ж          | Ж          |
| Гигроскопичные                       | Р                                     | Р          | Р          | Р          | Р          | Р          | Р         | Р          | Р          | Р         | Ж          | Ж          | Ж              | Ж          | Ж          |
| Малогигроскопичные                   | О                                     | О          | О          | О          | О          | О          | Р         | Р          | Р          | Р         | Р          | Р          | Ж              | Ж          | Ж          |
| Фактически не гигроскопичные         | О                                     | О          | О          | О          | О          | О          | Р         | Р          | Р          | Р         | Р          | Р          | Ж              | Ж          | Ж          |

Примечания: 1. Степень гигроскопичности аэрозоля определяется по табл. 4.  
2. Принятые в таблице обозначения: Ж — к покрытию предъявляются требования защиты от воздействия жидкой влаги без расчета на паропроницаемость; Р — к покрытию предъявляются требования повышенной паропроницаемости, определяется по расчету; О — к покрытию предъявляются требования, как к декоративно-отделочному слою. Кроме того, покрытия Ж и Р должны отвечать специальным требованиям по химической стойкости. Выбор покрытий типов О и Р производится в соответствии с прил. 3 СНиП 2.03.11—85. К покрытиям типа О относятся все покрытия I группы материалов. К покрытиям типа Р относятся все лакокрасочные покрытия групп II—IV. К покрытиям типа Ж относятся защитные покрытия III—IV групп облицовочных материалов по прил. 4 СНиП 2.03.11—85.

### Особенности расчета наружных стен зданий с агрессивными средами

Воздействие агрессивной среды помещений на наружные стены зданий учитывается путем введения дополнительных требований к теплотехническим и прочностным расчетам.

Теплотехнический расчет наружных стен производится в соответствии со СНиП 11-3-79.

Влажностный режим помещений зданий и сооружений в зимний период в зависимости от температуры и условной относительной влажности внутреннего воздуха устанавливается по табл. 3.

| Режим          | Условная относительная влажность<br>внутреннего воздуха, %, при температуре, °С |         |        |
|----------------|---|---------|--------|
|                | до 12   | 12—24   | св. 24 |
| Сухой          | До 60   | До 50   | До 40  |
| Нормальный     | 61—75   | 51—60   | 41—50  |
| Влажный        | 76—100  | 61—75   | 51—60  |
| Мокрый         | Св. 100   | 76—100  | 61—75  |
| Особые условия | —   | Св. 100 | Св. 75 |

Примечание. Величина условной относительной влажности внутреннего воздуха может быть более 100%

Условная относительная влажность внутреннего воздуха помещений устанавливается расчетом по формуле

$$\varphi_{\text{усл.}} = e/E_p \cdot 100;$$

$$e = \varphi E / 100,$$

где  $\varphi$  — заданная относительная влажность в помещении;  $e$  — парциальное давление пара;

$E$  — давление насыщенных паров воды при заданной температуре воздуха в помещении;

$E_p$  — давление насыщенных паров воды над растворами водорастворимых солей, составляющих аэрозоль, при той же температуре.

Значения давления паров воды над растворами водорастворимых солей, составляющих аэрозоль, принимаются по табл. 4 или по другим расчетным или экспериментальным данным специализированных организаций.

Условия эксплуатации наружных стен в зависимости от влажностного режима помещений с учетом гигроскопичности аэрозоля и зон влажности следует установить по табл. 5.

Расчетный коэффициент теплопроводности кирпичной кладки для условий эксплуатации В следует увеличивать на  $0,086 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$  ( $0,1 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С})$ ) град по сравнению с величиной  $\alpha$  расчетный коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала — на  $0,0086 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$  ( $0,01 \text{ ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{С})$ ).

Требуемое сопротивление теплопередаче стены вычисляется по СНиП 11-3-79\*\*:

$$R_0^{\text{тп}} = (t_e - t_{\text{тп}}) / \Delta t \alpha_{\text{в},\text{тп}}$$

где  $\Delta t = t_e - t_{\text{тп}}$  для зданий с агрессивной средой;  $t_{\text{тп}}$  — температура точки росы при расчетной температуре и относительной влажности воздуха в помещении.

Величина  $\Delta t = t_e - t_{\text{тп}} < 8^\circ\text{С}$  принимается для тех случаев, когда на поверхности стен не допускается конденсация. Если толщина стены получается экономически невыгодной, а по гигиеническим соображениям конденсация на стенах может быть допущена, то величину  $\Delta t$  для зданий с влажным и мокрым режимом, а также при особых условиях следует принимать равной  $\Delta t = 7^\circ\text{С}$ . При этом на внутренней поверхности стены следует предусмотреть влагозащитное покрытие.

Температура точки росы  $\Delta t_{\text{тп}}$  с учетом агрессивной среды определяется следующим образом. На основе данных о химическом составе агрессивной среды по табл. 2 выбираются данные об упругости насыщенного водяного пара при различных температурах и наносятся на график. На основе вычисленного ранее значения парциального давления водяного пара в помещении при расчетных значениях температуры и относительной влажности воздуха по графику находится искомое значение температуры  $\Delta t_{\text{тп}}$ .

Наружную отделку стен необходимо проектировать с учетом сопротивления ее паропроницаемости на основе расчетов влажностного режима. Расчеты прочности и устойчивости наружных стен зданий с мокрым режимом и особыми условиями следует производить в соответствии с требованиями СНиП П-22-81.

Таблица 4

| Насыщенный раствор                               | Давление насыщенного пара, Па, при $t$ , °C |      |      |      | Состав твердой фазы  | Равновесная относительная влажность воздуха при $t=20^\circ\text{C}$ |
|--|---|------|------|------|--|--|
|  | 10  | 15   | 20   | 25   |  |  |
| ZnCl <sub>2</sub>                                | —   | —    | 233  | —    | ZnCl <sub>2</sub>  | 10   |
| ZnBr <sub>2</sub>                                | —   | —    | 231  | 287  | ZnBr <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O                              | 10   |
| MgCl <sub>2</sub>                                | —   | —    | 770  | —    | MgCl <sub>2</sub>  | 33   |
| CaCl <sub>2</sub>                                | —   | —    | 820  | —    | CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O                             | 35   |
| Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                | —   | —    | 985  | —    | Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                | 42   |
| Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | 497   | 760  | 1052 | 1415 | Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O | 45   |
| Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                | —   | —    | 1261 | 1656 | Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O             | 54   |
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                | 746   | 954  | 1287 | 1605 | Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O             | 55   |
| NaBr   | —   | 959  | 1400 | 1787 | NaBr   | 60   |
| NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                  | 915   | 1195 | 1565 | 1990 | NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>                                  | 67   |
| NaNO <sub>3</sub>                                | 946   | 1315 | 1805 | 2365 | NaNO <sub>3</sub>  | 77   |
| NaCl   | 921   | 1280 | 1805 | 2380 | NaCl   | 77   |
| NH <sub>4</sub> Cl                               | 966   | 1351 | 1852 | 2415 | NH <sub>4</sub> Cl   | 79   |
| Co(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                | 995   | 1365 | 1870 | 2405 | Co(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                                | 80   |
| (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>  | 970   | 1352 | 1900 | 2600 | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 81   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | 908   | 1333 | 1925 | 2745 | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                  | 82   |
| KCl  | 1055  | 1445 | 1980 | 2635 | KCl  | 84   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>                  | 1072  | 1485 | 2035 | 2760 | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>                                  | 87   |
| CdSO <sub>4</sub>                                | 1098  | 1515 | 2075 | 2825 | CdSO <sub>4</sub> · <sup>8</sup> / <sub>3</sub> H <sub>2</sub> O | 89   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                  | —   | 1600 | 2090 | 2705 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O               | 89   |
| CdBr <sub>2</sub>                                | —   | —    | 2120 | 2820 | CdBr <sub>2</sub>  | 90   |
| ZnSO <sub>4</sub>                                | 1190  | 1595 | 2125 | 2690 | ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O                             | 91   |
| NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 1192  | 1660 | 2145 | 2920 | NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                   | 92   |
| KNO <sub>3</sub>                                 | 1182  | 1632 | 2160 | 2925 | KNO <sub>3</sub>   | 92   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>                  | 1192  | 1615 | 2160 | 2865 | Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O               | 92   |
| Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                  | —   | 1605 | 2170 | 2925 | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O              | 93   |
| Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>                  | —   | 1640 | 2180 | 2775 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O              | 93   |
| CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> | 1193  | 1690 | 2200 | 3050 | CaH <sub>4</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>                 | 94   |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                  | 1193  | 1680 | 2250 | 3030 | KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                                  | 96   |
| MgSO <sub>4</sub>                                | —   | —    | 2270 | —    | MgSO <sub>4</sub>  | 97   |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                   | 1210  | 1700 | 2305 | 3140 | K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                                   | 98   |
| H <sub>2</sub> O                                 | 1230  | 1705 | 2340 | 3165 | H <sub>2</sub> O   | 100  |

Таблица 5

| Влажностный режим помещений<br>(по табл 1) | Условия эксплуатации А, Б, В в зонах<br>влажности по СНиП 11-3-79** |            |         |
|--|---|------------|---------|
|  | сухой   | нормальный | влажный |
| Сухой                                      | А   | А          | Б       |
| Нормальный                                 | А   | Б          | Б       |
| Влажный                                    | Б   | Б          | Б       |
| Мокрый                                     | Б   | В          | В       |
| Особые условия                             | В   | В          | В       |

Для зданий с другими режимами расчеты конструкций производятся только в соответствии с указанным СНиП. Для климатических районов требования к марке морозостойкости кирпича не предъявляются, если расчетная зимняя температура выше  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Расчетом определяются: наибольшая толщина промерзания наружных стен  $\delta$ , средняя по массе и толщине влажность стены в зимний период  $W$ , допускаемая степень повреждения кирпича на наружной поверхности  $W$ .

Наибольшая толщина промерзания однослойных наружных стен, определяющая границу льдообразования в стене при  $t = -15^{\circ}\text{C}$ , вычисляется по формуле

$$\delta = |R_0 (t_n - 15) / (t_{в} - t_n) - 0,05| \lambda_{в},$$

где  $t_{в}$  — расчетная температура внутреннего воздуха;

$t_n$  — расчетная температура наиболее холодной пятидневки;

$\lambda_{в}$  — коэффициент теплопроводности кирпичной кладки по условиям эксплуатации В;

$R_0$  — сопротивление теплопередаче стены.

Средняя влажность  $W$  стены в зимний период устанавливается расчетом нестационарного влажностного режима с помощью ЭВМ или на основе данных натуральных наблюдений за влагосодержанием стен аналогичных зданий. Распределение степени повреждения кладки за период эксплуатации принимается линейным с максимумом на наружной поверхности и минимумом  $W=0$  на границе талой и мерзлой зон  $\delta$  (рис. 1).



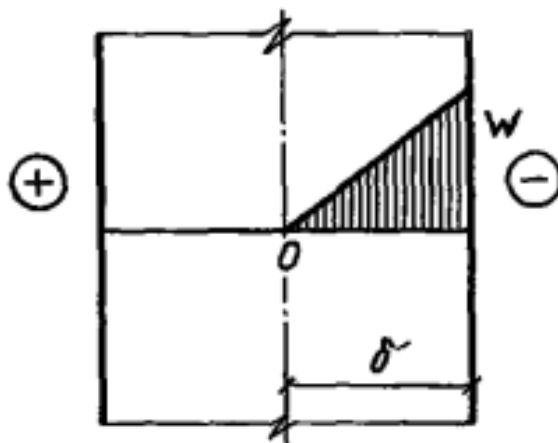


Рис. 1. Распределение степени повреждения  $W$  кирпичной кладки в промерзающей зоне

На момент окончания срока эксплуатации или межремонтного периода принимаются 2 предельных состояния: когда кладка расслаивается вдоль стены на границе максимального промерзания стены  $b$  за счет появления опасных растягивающих напряжений, вызванных остаточным расширением кладки в процессе ее повреждения, и когда разрушение кладки начинается с наружной поверхности, чему соответствует появление опасных сжимающих напряжений от воздействия деформаций остаточного расширения кладки.

Распределение собственных напряжений в стене, вызванных остаточным расширением промерзающей части кладки, при значении повреждения  $W$  к концу срока эксплуатации, характеризуется эпюрой на рис. 2.

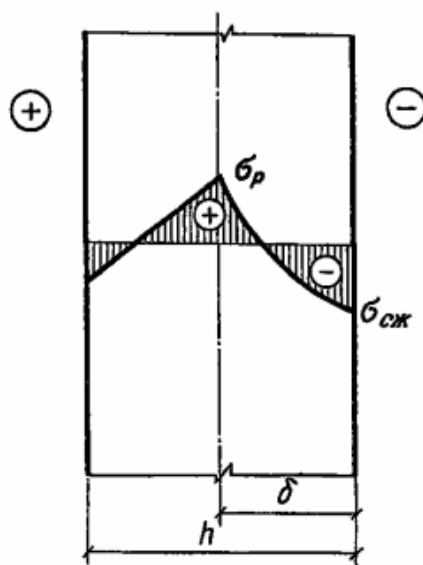


Рис. 2. Эпюра собственных напряжений в наружной стене, вызванных деформацией расширения кирпичной кладки при ее деструкции (повреждении  $W$ )

При вычислении степени повреждения кладки  $W$  на наружной поверхности стены к концу Срока эксплуатации могут быть 2 случая. Первый, когда находится точка пересечения горизонтальной линии, соответствующей вычисленным значениям  $b$  и изолинии  $D_0$ . Этому случаю соответствует разрушение стены в виде расслоения на границе промерзания  $b$ . Второй, когда искомое значение соответствует точке пересечения  $b/h$  и  $D_0 = (1-m)$ . Этому случаю соответствует начало разрушения кладки на наружной поверхности стены. В первом случае статические расчеты наружной стены проводятся по СНиП 11-22-81, при этом в расчет принимается толщина стены —  $b$ . Во втором случае статический расчет производится по СНиП 11-22-81 для всей толщины — но прочность кладки и модуль ее упругости должны быть снижены соответственно в  $K_1$  и  $K_2$  раз.

Определение допустимой величины степени повреждения кладки на наружной поверхности к концу срока эксплуатации, когда наибольшие растягивающие или сжимающие напряжения достигают предельного значения, производится по номограмме (рис. 3) и по данным о безразмерных величинах  $D_0$  и  $O_0$ , характеризующих механические характеристики кладки:

$$D_0 = R_p / R(1-\mu); \quad D_0 = (1-\mu),$$

где  $R_p, R$  — расчетные сопротивления кладки из кирпича и камня правильной формы соответственно на осевое растяжение и сжатие;

$\mu$  — коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,17.

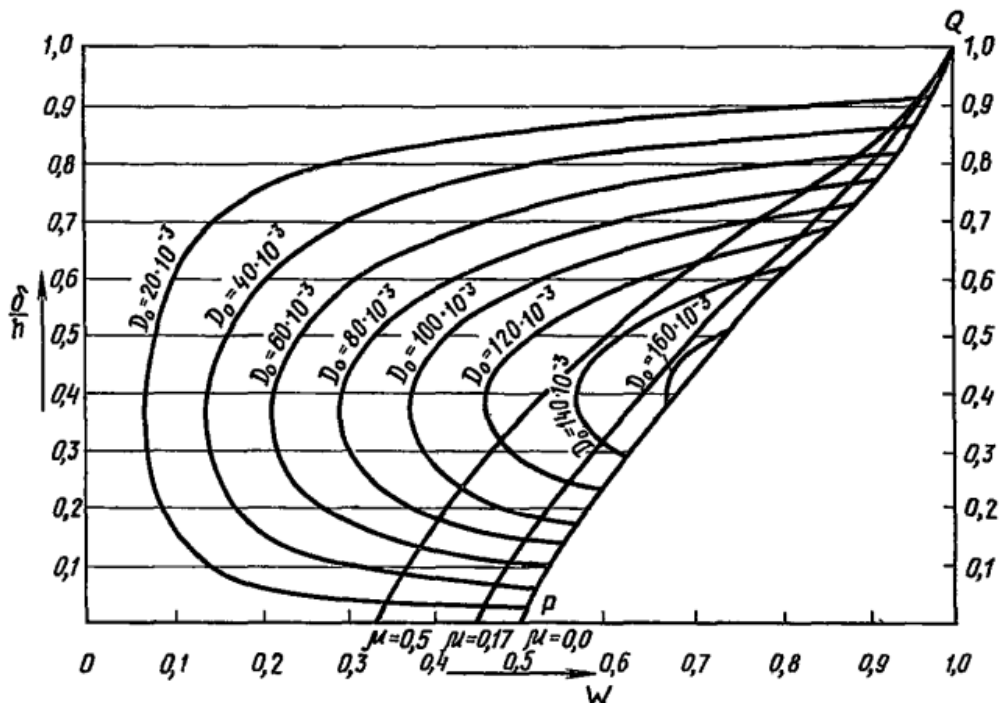


Рис. 3. Номограмма для вычисления степени повреждения кладки ( $W$ ) однослойных стен к концу срока эксплуатации

С учетом характера распределения повреждений в промерзающей части кладки, допускаемой величины повреждения к концу срока эксплуатации вычисляются данные о снижении прочности кладки на сжатие  $K_1$  и модуля упругости соответственно по формулам:

$$K_1 = |(h - \delta) + \delta(1 - W)^2| / h;$$

$$K_2 = |(h - \delta) + \delta(1 - W)| / h.$$

Марка морозостойкости камня принимается равной  $M_{рз} 50$  для стен зданий с особыми условиями и мокрым режимом. При проектировании таких зданий в Северной климатической зоне и более суровых условиях испытания камня на морозостойкость следует проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 7025—78 с применением насыщенных растворов гигроскопических солей, свойственных данному виду производства при условии оттаивания их после замораживания в этом растворе.

## 7. СОСТАВ И ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из графической части и расчетно-пояснительной записки и должна соответствовать «Стандарту предприятий»

Графическая часть работы состоит из схемы каменной конструкции до и после расчета долговечности изделия.

Расчетно-пояснительная записка выполняется на бумаге формата А4 (297x210) мм чернилами, четко и разборчиво от руки и должна соответствовать требованиям ЕСКД к текстовым документам. Объем расчетно-пояснительной записки должен составлять 20-25 с.

### **Введение.**

Во введении описываются проблемы долговечности каменных конструкций. Обзор и состояние методов борьбы с коррозией и современные способы повышения долговечности каменных конструкций.

### **1. Расчет долговечности каменной конструкции.**

В этом разделе должны быть приведены расчеты по прогнозированию долговечности конструкции.

### **2. Защита каменных конструкций.**

#### **2.1 Выбор системы защитного покрытия от агрессивных сред.**

В данном разделе приводится обоснование выбора материала для защиты каменной конструкции и изделий в зависимости от условий работы.

Описываются используемые материалы и технология нанесения покрытия.

**2.2 Выбор конструктивных мер защиты каменной конструкции в зависимости от особенностей эксплуатации каменных конструкций.**

В данном разделе приводится обоснование выбора методов для защиты каменных конструкций от воздействий агрессивных сред.

#### **2.3 Мероприятия по снижению агрессивности среды.**

В данном разделе описываются мероприятия по снижению агрессивности среды.

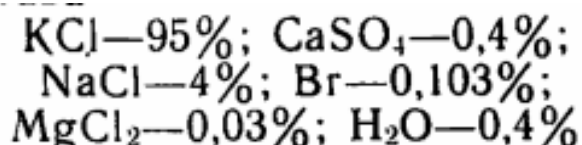
### 3. Перечень использованной литературы

В конце расчетно-пояснительной записки необходимо привести список использованной литературы с указанием фамилии и инициалов авторов, полного названия книги, места издания, издательства, года издания, страницы.

### Примеры расчетов долговечности каменных конструкций

**Пример 1.** Требуется определить конструкцию наружной стены здания сушки калийного комбината, проектируемого в г. Перми.

По химическому составу готовых продуктов, представленному технологами, выбирается наименование преобладающего продукта, т. е. из состава



выбирается KCl. Определяется величина  $E_p$  при температуре  $t_b = +20^\circ\text{C}$ , соответствующей расчетной температуре воздуха в помещении;  $E_p = 1980$  Па (14,5 мм рт. ст.). При заданной величине относительной влажности воздуха в помещении  $\varphi_b = 50\%$  вычисляется упругость водяного пара  $e$ :

$$e = (\varphi_b E / 100\% = 0,5 * 2385 = 1192 \text{ Па (8,77 мм рт. ст.)},$$

где  $E = 2385$  Па (17,54 мм рт. ст.) для  $t_b = +20^\circ\text{C}$  Вычисляется величина условной относительной влажности внутреннего воздуха

$$\varphi_{\text{усл}} = e / E * 100\% = 1192 / 2385 * 100\% = 50,02\%.$$

По табл. 1 определяется, что режим помещений классифицируется как влажный. По табл. 3 Пособия и СНиП II-3-79\*\* определяется, что условия эксплуатации наружной стены — Б.

Таким образом, расчетное значение коэффициента теплопроводности для кирпичной кладки из камня на цементно-песчаном растворе  $\mu = 1200$  кг/м<sup>3</sup> равно:  $\lambda = 0,52$  Вт/(м\*К) (0,45 ккал/м\*ч\*°С).

Требуемое сопротивление теплопередаче стены для сушильного отделения по СНиП II-3-79\*\*

$$R_0^{\text{тп}} = (t_b - t_H) / \alpha_b (t_b - t_{\text{пр}}),$$

где  $t_a$  — расчетная температура воздуха в помещении,  $t_b = +20^\circ\text{C}$ ;  $t_H$  — расчетная температура наружного воздуха в г. Перми для массивных стен (температура наиболее холодной пятидневки),  $t_H = -34^\circ\text{C}$ ; коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности,  $\alpha_b = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К) [7,5 ккал/(м<sup>2</sup>\*ч\*°С)];

\*<sub>pp</sub> — температура точки росы с учетом агрессивной среды находится по интерполяции данных табл. 2, построенных на графике.

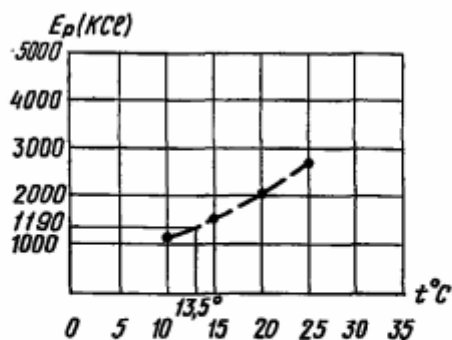


Рис. 4. Кривая упругости водяного пара над насыщенным раствором КСl

Ранее вычисленная величина  $e=1190$  Па (8,77 мм рт. ст.) откладывается на графике по вертикальной координатной оси, а по горизонтальной оси вычисляется температура точки росы  $t = 13,5^\circ\text{C}$ .

Таким образом,

$$R_{\text{TP}} = (20 + 34) / 8,7(20 - 13,5) = 54 / 8,7 * 6,5 = 0,97 \text{ м}^2 \gg \text{K/Вт} (1,11 \text{ М}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C} / \text{ккал}).$$

Толщина стены расчетом получается равной:

$$h = 1,11 * 0,45 = 0,50 \text{ м}$$

По табл. 2 и 4 определяются степень гигроскопичности КС1 и тип лакокрасочного покрытия на внутренней поверхности (тип Р) по табл. 5. Расчеты влажностного режима в данном случае необходимо производить исходя из оценки выбираемой наружной отделки и подбора внутреннего отделочного слоя типа Р. Марка морозостойкости камня для рассматриваемого случая должна быть Мрз35. Статические расчеты каменной кладки в данном случае производятся в соответствии со СНиП П-22-81 без пояснений, изложенных в данном Пособии. Пример конструкции наружной стены приведен на рис. 5.

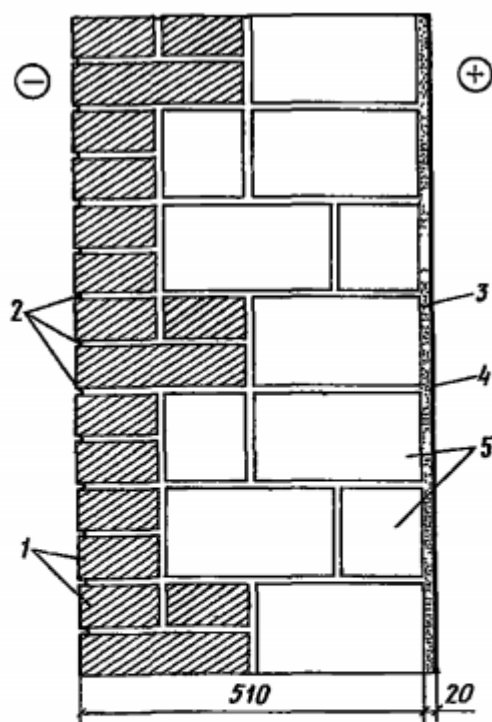


Рис. 5. Конструкция наружной стены здания сушки калийного комбината:

1—облицовочный кирпич; 2—растворные швы расшиты; 3—цементно-песчаная штукатурка; 4—лакокрасочное покрытие; 5—керамические камни.

## 8. ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Теоретические вопросы

1. Общие понятия о долговечности материалов.
2. Физический износ зданий и сооружений.
3. Степени долговечности строительных конструкций.
4. Прогнозирование долговечности каменных конструкций.
5. Причин коррозии каменных конструкций.
6. Скорость коррозионных процессов при разрушении каменных конструкций.
7. Причины образования дефектов.
8. Виды дефектов каменных конструкций.
9. Влияние дефектов на долговечность каменным материалов и конструкций.
10. Причины разрушения каменных конструкций.
11. Методы устранения повреждений каменных конструкций.
12. Свойства, определяющие долговечность каменных материалов, изделий и конструкций

13. Коррозия природного камня.
14. Химическая коррозия природного камня.
15. Стойкость каменных материалов против выветривания.
16. Дефекты каменных конструкций, возникающих при воздействии эксплуатационных факторов.
17. Разрушение каменных фундаментов.
18. Разрушение облицовки фасада здания.
19. Способы устранения дефектов.
20. Общие понятия о долговечности материалов.
21. Степени долговечности строительных конструкций.
22. Свойства, определяющие долговечность материалов, изделий и конструкций
23. Коррозия природного камня.
24. Химическая коррозия природного камня.
25. Стойкость каменных материалов против выветривания.
26. Дефекты каменных конструкций.
27. Виды дефектов каменных конструкций.
28. Разрушение каменных фундаментов.
29. Разрушение облицовки фасада здания.
30. Способы устранения дефектов каменных конструкций.
31. Воздействие циклического замораживания и оттаивания.
32. Морозостойкость каменных материалов.
33. Коэффициент морозостойкости.
34. Трещиностойкость.
35. Трещиностойкость при статической, динамической нагрузке.
36. Воздействие атмосферы на трещинообразование.
37. Истираемость каменных материалов.
38. Долговечность каменных материалов как функция процессов разрушения.
39. Защита природных каменных материалов от коррозионного разрушения.
40. Конструктивный, механический, химический способы защиты каменных материалов.
41. Влияние трещин на прочностные характеристики камня, его долговечность и надежность.
42. Трещины, образующиеся при статической нагрузке.
43. Воздействие атмосферы и циклического замораживания и оттаивания на трещинообразование.
44. Факторы, влияющие на долговечность материалов.
45. Разрушение каменных материалов в результате воздействия кислот, щелочей и растворов солей. Действие на строительные материалы газообразной среды
46. Определение степени агрессивности среды

### Задачи

1. Рассчитать коэффициент морозостойкости горной породы если водопоглощение по объему 10 %, а под вакуумом 12%.
2. Образец камня неправильной формы весил на воздухе 80 г. После покрытия поверхности образца парафином масса его в воде составила 37 г. На парафинирование образца израсходовано парафина 0,75 г. (плотность парафина 0,9 г/см<sup>3</sup>). Вычислить среднюю плотность камня, определить его пористость, если истинная плотность 2,6 г/см<sup>3</sup>.
3. Масса образца камня в сухом состоянии 50 г. Определить массу образца после насыщения его водой, а также истинную плотность, если водопоглощение по объему равно 18%, пористость камня 25%, средняя плотность 1800 кг/м<sup>3</sup>.
4. Масса высушенного образца горной породы, имеющей истинную плотность 2,5 г/см<sup>3</sup>, равна 52 г, а после насыщения образца водой - 57,2 г, Определить пористость породы, если известно, что объемное водопоглощение в 1,5 раза больше массового.
5. Цилиндрический образец горной породы диаметром и высотой 5 см весит в сухом состоянии 245 г. После насыщения водой его масса увеличилась до 249 г. Определить среднюю плотность камня и его водопоглощение (объемное и по массе).
6. Образец камня в сухом состоянии весит 77 г, а после насыщения водой - 79 г. Вычислить среднюю плотность и пористость, если его плотность - 2,67 г/см<sup>3</sup>, а объемное водопоглощение - 4,28%.
7. Цилиндрический образец камня размерами: диаметр равен высоте 5 см, коэффициент размягчения 0,4. Образец разрушился в сухом состоянии при усилии сжатия пресса 200 кг. Определить предел прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии.
8. Химический способ защиты каменных материалов. Механизм флюатирования, химические реакции в материалах.
9. Масса сухого образца из известняка-ракушечника равна 300 г. После насыщения его водой масса образца увеличилась до 390 г. Найти пористость, объемное и массовое водопоглощение ракушечника, если истинная плотность его камня 2,4 г/см<sup>3</sup>, а объем образца составляет 250 см<sup>3</sup>.
10. Степени долговечности строительных конструкций. Определение степени агрессивности среды.
11. Каковы основные свойства горных пород, применяемых в облицовке гидротехнических сооружений. Обоснование и выбор материалов для полов химических предприятий.
12. Материал в воздушно-сухом состоянии имеет среднюю плотность 1400 кг/м<sup>3</sup>, а влажность 3 % по объему. После насыщения материала водой под давлением его плотность увеличилась до 1700 кг/м<sup>3</sup>. Установить открытую пористость.



13. Вес сухого известняка 300 г., а после насыщения водой 308 г. Средняя плотность известняка  $2400 \text{ кг/м}^3$ , определить общую и открытую пористость. Дать заключение о морозостойкости.
14. Средний предел прочности при сжатии образца камня-песчаника в сухом состоянии равен  $145 \text{ МПа}$ , а после насыщения водой -  $136 \text{ МПа}$ . Определить коэффициент размягчения песчаника и сделать заключение о его водостойкости.
15. Определить является ли водостойким бутовый камень из известняка, имеющего в сухом состоянии прочность при сжатии  $102 \text{ МПа}$ , а в водонасыщенном состоянии -  $72,5 \text{ МПа}$ .
16. После испытаний на морозостойкость образцов, изготовленных из трахита, получили следующие данные: масса исходных образцов до испытаний в среднем составила 870 г, а прочность при сжатии -  $1250 \text{ кгс/см}^2$ . После циклов попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии масса образцов в сухом состоянии и прочность при сжатии (в среднем) составили соответственно:  
после 25 циклов - 878 г и  $1225 \text{ кгс/см}^2$ ,  
после 50 циклов - 875 г и  $1215 \text{ кгс/см}^2$ ,  
после 100 циклов - 860 г и  $1180 \text{ кгс/см}^2$ ,  
после 150 циклов - 820 г и  $910 \text{ кгс/см}^2$ .  
Определить, к какой марке по морозостойкости может быть отнесен материал из данной горной породы.
17. Цилиндрический образец горной породы диаметром и высотой 10 см весит в сухом состоянии 530 г. После насыщения водой его масса увеличилась до 550 г. Определить среднюю плотность камня и его водопоглощение (объемное и по массе).
18. Горная порода имеет истинную плотность -  $2,68 \text{ т/м}^3$  и пористость 40% и прочность при сжатии не менее  $7,0 \text{ МПа}$ . К какому виду - легким или тяжелым - относятся каменные материалы, получаемые из этой горной породы? Можно ли изготовить эффективные стеновые материалы для малоэтажного строительства, если известно, что материал из данной породы водостоек и морозостоек?