

А. А. АШРАБОВ, Ч.С.РАУПОВ

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И РЕАБИЛИТАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ**

ГАЖК «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

А. А. АШРАБОВ, Ч.С.РАУПОВ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА И РЕАБИЛИТАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ

Часть I

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Для специальности магистратуры
5A580212 –Мосты и транспортные тоннели,
5A580603–Эксплуатация мостов и транспортных тоннелей,
5A580204–Проектирование и строительство зданий и сооружений

Ташкент – 2007

УДК 69.059.32(075.8)

В учебном пособии изложены основные сведения по реконструкции, ремонту и восстановлению различных сооружений, эксплуатируемых на железнодорожном транспорте. В книге приведены основные принципы и методы эксплуатации, технической диагностики и восстановления мостов, труб, тоннелей и других искусственных сооружений на железных дорогах. Подробно освещены методы ремонта, усиления и реконструкции элементов железобетонных и металлических мостов.

Учебное пособие предназначено для студентов и аспирантов строительных факультетов и ВУЗов, и может быть полезно для специалистов, занимающихся вопросами эксплуатации, реконструкции и восстановления искусственных сооружений на железнодорожном транспорте.

Рекомендовано к печати учебно-методической комиссией института.

Рисунки – 13; таблицы – 22; библиографии – 10 наим.

Составители: **А. А. Ашрабов**, д.т. н, проф., **Ч.С.Раупов**, к.т.н., доц.

Рецензенты: **А.А.Ишанходжаев** – д.т.н., проф. каф. «Мосты и транспортные тоннели» Ташкентского автомобильно-дорожного института;

Н. А. Красин – к.т.н., доц. каф. «Строительные конструкции, мосты и сооружения» ТашИИТ.

© Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта , 2007 г.

I. МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1. Общие вопросы и задачи диагностики и реабилитации строительных конструкций

При диагностике и испытании сооружений выполняют совокупность операций, связанных с выявлением и проверкой состояния, а также работоспособности обследуемых строительных объектов и отдельных их элементов. Эти операции могут быть разбиты на следующие основные комплексы:

1) освидетельствования, включающие операции по осмотру, проверке размеров, выявлению качества материалов, дефектоскопии и уточнению других факторов, определяющих состояние сооружения;

2) испытания, под которыми понимается проверка поведения исследуемого объекта при приложении к нему внешних нагрузок (статических и динамических), изменение температуры и влажности внешней среды и т.д.;

3) перерасчеты на прочность, деформируемость, трещиностойкость как отдельных, входящих в состав сооружения конструкций, так и всего объекта в целом, проводимые на основании фактических данных, полученных в результате освидетельствования и испытания.

Классификация освидетельствований и испытаний может производиться по различным признакам. Приведем главнейшие из них.

Классификация по цели исследования: а) приемочные освидетельствования и испытания законченных строительных объектов перед сдачей их в эксплуатацию; б) освидетельствования и испытания объектов, находящихся в эксплуатации, как плановые, так и назначаемые в особых случаях, например, для установления фактической несущей способности сооружения в связи с предстоящей его реконструкцией, после аварии и т.д.; в) испытания деталей и элементов на заводах–изготовителях; г) научно-исследовательские испытания.

Классификация по объектам исследования: а) натурные освидетельствования и испытания, проводимые на реальных объектах; б) испытания отдельных конструкций и их элементов на специальных установках или стендах, проводимые как в лабораториях для испытаний строительных конструкций, так и на строительных полигонах и площадках; в) испытания на моделях, воспроизводящих в уменьшенном масштабе или исследуемое сооружение в целом, или отдельные его детали. Модельные испытания, как правило, проводятся в лабораторных условиях.

Классификация по характеру приложенной нагрузки: а) статические испытания; б) динамические испытания.

Более подробная характеристика каждой из этих групп будет рассмотрена ниже.

Нормативные требования к строительным конструкциям и сооружениям. К любым сооружениям предъявляются следующие требования:

– все сооружения, а также отдельные их элементы должны быть прочны и устойчивы, т.е. должна быть обеспечена несущая способность сооружений при действии нагрузок статического, динамического или вибрационного характера;

– перемещения элементов не должны выходить за пределы, обусловленные требованиями, возможностью и удобством эксплуатации;

– не должны возникать трещины и повреждения, ухудшающие внешний вид, нарушающие возможность нормальной эксплуатации или снижающие долговечность сооружений.

В то же время не должны допускаться и излишние запасы как в отношении

классов и марок применяемых материалов, так и в отношении сечений отдельных элементов, а также и в конструктивной системе сооружения в целом.

Наблюдения за состоянием построенных зданий и сооружений, уроки аварий и катастроф, опытные данные, получаемые в лабораториях и при натурных испытаниях конструкций, помогли понять, что принимаемые при проектировании теоретические расчетные схемы в той или иной мере не всегда соответствуют действительной работе возведенных объектов. Несоответствия, характерные для стадии проектирования, сохраняются в течение всего срока эксплуатации сооружения, дополняясь и преобразываясь под влиянием новых факторов, возникающих на различных этапах эксплуатации сооружения. Уточнение знаний о действительной работе конструкций достигается на основе анализа опытных данных. Это и определяет практическое значение и актуальность экспериментальных методов исследования строительных конструкций сооружений. Надежность и долговечность строительных конструкций обеспечивается в том случае, когда поперечные сечения, узлы сопряжений, соединения, назначенные при проектировании с учетом генеральных размеров и действия всевозможных нагрузок, обладают достаточной прочностью, устойчивостью, трещиностойкостью, а также обеспечивают развитие деформаций не более чем в допустимых пределах и необходимую коррозионную стойкость. Реализация этих требований должна достигаться при минимальных затратах материалов и денежных средств.

Дифференцированно с большой точностью учесть влияние каждого из факторов, влияющих на работу конструкций при проектировании обычно не удается. Поэтому проектировщики составляют конструктивную схему здания и, оперируя комплексом нормативных нагрузок, прочностных характеристик материалов, системой частных коэффициентов запаса, принятых в СНиП, назначают расчетную схему, наиболее соответствующую, по их представлению, действительной работе конструкций. Заложенные в СНиП требования и параметры постоянно уточняются исследованиями и, соответственно, исправляются. Применяемые расчетные схемы являются идеализированными подобиями конструкций и в какой-то степени не соответствуют их действительной работе, а все расчеты содержат элементы условности, которые необходимо уметь правильно оценивать. Практика показывает, что при оценке состояния и работы сооружений, находящихся в эксплуатации, необходимо учитывать:

- условность статических расчетных схем и возможные отклонения вычисленных по ним усилий от действительного распределения их в конструкциях сооружений;

- условность применяемых расчетных характеристик материалов;

- возможные отклонения нагрузок от расчетных значений;

- фактическое влияние внешней среды.

Оценить влияние всего комплекса перечисленных факторов теоретическим путем часто бывает невозможно. Выход из этого положения один – экспериментальное исследование материалов и конструкций. Таким образом, испытание сооружений не теряет своей актуальности, оставаясь и в перспективе единственно достоверным способом для оценки влияния допущений, принимаемых в расчетах, соответственно влияющих на надежность и долговечность сооружений.

Условность расчетных схем конструкций и характеристик строительных материалов. Расчетную схему сооружения назначают исходя из конструктивной схемы, стараясь обеспечить, возможно, более полное совпадение расчетных усилий с усилиями, которые будут возникать в натурной конструкции. Так как дифференцированно удовлетворять в расчетной схеме всем условиям работы конструкции бывает трудно, то часть второстепенных факторов обычно не учитывают,

то есть подменяют действительную работу конструкций упрощенной «идеализированной» расчетной схемой – например, при расчетах железобетонных рам с жесткими узлами на вертикальную нагрузку ригель рассчитывают как изгибаемый элемент, а действием продольной силы и горизонтальным смещением узлов пренебрегают. При расчетах стальных ферм, например, принимают, что соединение элементов решетки с поясами в плоскости фермы шарнирное, тогда как в местах крепления стержней к фасонкам образуются жесткие узлы и, следовательно, возникают изгибающие моменты, вызывающие дополнительные напряжения в фасонках, а также изгиб стержней вблизи узлов. Расчет с учетом этих дополнительных усилий сложен и трудоемок поэтому жесткостью узлов пренебрегают. Так как принятое допущение снижает несущую способность ферм, то недостаток расчетной схемы восполняют конструктивными приемами. При опирании однопролетной балки на кирпичную стену эпюру напряжений в опорной части принимают прямоугольной или треугольной, хотя фактически она имеет более сложное очертание. В результате этих допущений изменяется расчетная длина пролета. Подобные допущения неизбежны при любых расчетных схемах, поэтому важно правильно оценить их влияние на расчетные усилия в конструкции.

Все расчеты строительных конструкций производятся по нормативным и расчетным характеристикам, регламентированным СНиП. При определении расчетных нагрузок нормативные нагрузки умножают на коэффициенты надежности, установленные СНиПами в пределах статистически возможных отклонений с учетом климатических условий, назначения и очертания объекта. Нормативные величины сопротивления материалов корректируют коэффициентами надежности по материалам с учетом коэффициентов условий работы. Считается, что конструкция находится в предельном состоянии при достижении этих условных характеристик (напряжений, деформаций и т.д.), тогда как оценку состояний конструкции в натуре производят по действительным нагрузкам, прочности и деформациям. Отсюда возникает некоторое несоответствие расчетной схемы и действительной работы конструкции, которое приводят к недоучету перегрузки конструкции или, наоборот, к «фиктивному» перегружению ее.

В классических курсах сопротивления материалов, строительной механики, теории упругости и строительных конструкций исходят из того, что все материалы действительно являются «абсолютно» плотными, сплошными, однородными и изотропными телами, тогда как в действительности конструкции выполняются из реальных материалов, свойства которых отличаются от идеализируемых и которые всегда имеют поверхностные и внутренние трещины, поры, неоднородности и другие дефекты. В результате наличия дефектов прочность материалов может оказаться меньше проектной. Особенно опасны поверхностные дефекты с острыми углами, на краях которых при действии на тело внешних сил возникает концентрация напряжений, т.е. образуется вторичное поле напряжений.

Разрушение начинается, когда напряжения в пиках концентрации напряжений приближаются к физической (теоретической или идеальной) прочности материала. Наличие дефектов в реальных условиях работы конструкций приводит к снижению прочности до уровня технической, которой пользуются в практике. Она в сотни и даже иногда в тысячи раз меньше физической прочности. Например, прочность бетона на растяжение не превышает $R_{bt} < 0.00015E_b$, т.е. меньше $R_{теор}$, по крайней мере, в 600 раз. Например, неправильный уход за бетоном, может привести к увеличению его трещиноватости и еще большему снижению прочности. Значительное влияние на прочность материала оказывает также его анизотропность. Например, в древесине прочность вдоль и поперек волокон, разная, и это учитывается в расчетах, а разница

прочности бетона вдоль и поперек направления уплотнения при вибрировании, или в металле вдоль и поперек проката в расчетах не учитывают. В таких случаях теоретические расчеты оказываются малоэффективными и для оценки отклонений от расчетных характеристик производят испытания в натуральных условиях.

Целями и задачами технической диагностики любых конструкций и сооружений является разработка методов и средств, предназначенных для качественной и количественной оценки показателей, характеризующих конструктивные и эксплуатационные свойства и состояние функционирующих объектов, их элементов и материалов, а также составление рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации в соответствии с техническими требованиями. Техническая диагностика несущих конструкций зданий и сооружений имеет главную цель – определить действительное техническое состояние конструкций, их способность воспринимать действующие в данный период расчетные нагрузки и обеспечивать нормальную эксплуатацию здания. Основными компонентами технической диагностики являются обследование и испытание сооружения и его отдельных элементов и конструкций. При обследовании выявляют дефекты конструкций, отступления от проекта и от действующих на данный период норм и технических условий, а также уточняют действительную работу конструкций на реальные эксплуатационные нагрузки. В результате обследования выявляют также степень физического износа отдельных конструкций, узлов и здания в целом, возможные причины нарушения нормальной эксплуатации или аварии. В задачи обследования могут входить поиски наилучших вариантов усиления и реабилитации конструкций, приспособляемости здания под новые нагрузки и условия эксплуатации при его предполагаемой реконструкции. Если обследование проводится после аварии, анализируют ее причины, целесообразность и возможность восстановления здания или отдельных его частей. При рыночной оценке стоимости здания также проводится обследование конструкций и здания в целом, на основании которого можно судить об износе конструкций и снижении первоначальной стоимости здания, о будущих затратах на устранение дефектов и расходах на ремонт.

Обследование может быть полным или выборочным – наиболее ответственных конструкций, находящихся в неблагоприятных условиях или уже получивших повреждения и вызывающих сомнения в надежности конструкций и безопасности людей. Обследование строительных конструкций зданий и сооружений содержит методы контроля качества изготовления и монтажа элементов конструкций, обеспечивающих соответствие объекта проектным значениям, а также отображение действительной работы систем. Так, на заводах железобетонных изделий выпускаемые железобетонные мостовые конструкции должны удовлетворять соответствующим техническим требованиям. Устанавливаются допускаемые отклонения от проектных размеров по длине, ширине, толщине, неплоскостности, разности длин диагоналей, смещению закладных деталей, толщине защитного слоя. Материалы, применяемые для приготовления бетона, должны удовлетворять требованиям стандартов на эти материалы и обеспечивать получение бетона заданных классов по прочности и марок по морозостойкости. Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры должна соответствовать значению, указанному в рабочих чертежах. Поверхности бетона должны быть гладкими, должны отсутствовать жировые и ржавые пятна, раковины и открытые воздушные поры, а стальные закладные детали и выпуски арматуры должны быть защищены от коррозии.

Изучение состояния монтируемой или эксплуатируемой конструкции при работе в реальных условиях обеспечивается теми же методами, что и при контроле качества их изготовления, но зачастую возникает ситуация, когда для эксплуатируемого объекта

отсутствует проектная и рабочая документация. Тогда для восстановления последней требуется детальное изучение реальных условий работы системы. К подобной ситуации можно отнести и тот случай, когда необходимо определить работоспособность системы с учетом отклонения ее параметров от проектных. Повышенные требования предъявляются к методам обследования при анализе причин аварий вследствие повреждений конструкций в процессе монтажа и эксплуатации, а также катастроф – аварий, повлекших за собой человеческие жертвы. Проводимые обследования строительных конструкций и сооружений позволяют выявить наиболее характерные дефекты и разработать рекомендации по уточнению методов расчета тех или иных конструкций, улучшить их конструктивные схемы, технологию изготовления и монтажа.

Эффективность методов обследования строительных конструкций зданий и инженерных сооружений может быть проиллюстрирована на примере разработки антисейсмических мероприятий при строительстве зданий в г. Газли. Основой для разработки этих мероприятий послужили материалы обследования построек после происшедшего в 1976г. в этом городе землетрясения. Здания, построенные с использованием разработанных антисейсмических мероприятий, при вновь происшедшем в 1984 г. землетрясении получили лишь частичные повреждения. Происшедшее в 1985 г. землетрясение в г. Мехико разрушило более 500 зданий, в том числе около 40 высотных, тем не менее ряд высотных зданий, находящихся в сейсмоактивной зоне, не получили существенных повреждений, так как были построены с учетом конструктивных решений, снижающих сейсмические эффекты.

При землетрясении в 1985г. в г. Кайраккуме (Ходжанская вил.) пострадали от разрушения корпуса зданий первой очереди коврового комбината, запроектированного в 50-е годы без учета антисейсмических мероприятий. Здания, построенные позже с учетом антисейсмических мероприятий, не получили повреждений. История донесла до наших дней информацию о катастрофических землетрясениях, унесших большое число человеческих жизней в результате разрушения зданий и сооружений: при землетрясении в провинции Шаньси (Китай) в 1556 г. погибло 830 тыс. человек, в Лиссабоне (1755 г.) – 60 тыс человек, в Мексике в 1908 г. – 100 тыс. человек, в Кванто (Япония) в 1923 г. – 140 тыс. человек.

Основная задача испытаний сооружений или конструкций заключается в установлении соответствия между их реальным поведением и выбранной для анализа расчетной схемой. Здания и сооружения представляют собой достаточно сложные технические системы, состоящие из большого числа элементов, работающих в условиях сложного напряженно-деформированного состояния и образующих пространственные конструкции. Несмотря на существенное развитие современной строительной механики и широкое использование в расчетах сооружений современной компьютерной техники возникает необходимость идеализации расчетных схем, которые учитывают лишь основные свойства и поведение реальных конструкций. Кроме того, поведение строительных конструкций связано с рядом факторов, носящих случайный характер, например, прочностные характеристики даже такого однородного материала, как сталь, подвержены разбросу. Так, анализ пределов текучести для стали марки Ст. 3, проведенный ещё Н. С. Стрелецким, показал, что предел текучести может изменяться от 200 до 320 МПа. Еще больший разброс прочности имеют бетон и древесина. Значительной изменчивостью характеризуются нагрузки, действующие на строительные конструкции, здания и сооружения: собственный вес, ветер и снег, технологические и крановые нагрузки и др.

Процесс изготовления отдельных элементов конструкций, их транспортировка и монтаж также влияют на возможность появления случайных отклонений от заданных

размеров. Эти отклонения регламентируются соответствующими технологическими допусками. Цель испытаний – выявление поведения инженерных сооружений, конструкций и материалов, из которых изготовлены их элементы. Испытания могут проводиться как в лабораториях на моделях, так и на реальных объектах. Целью обследования эксплуатируемых мостов и искусственных сооружений является установление их физического состояния, с тем, чтобы полученные данные в последующем использовать при решении вопросов их дальнейшего содержания. При обследованиях ведут детальный осмотр всех частей сооружения. В тех случаях, когда в этом есть необходимость, осмотр сопровождается инструментальными измерениями с применением различных приборов и аппаратуры.

Работы по обследованию обычно выполняют в два этапа. На первом этапе, которому предшествует детальное изучение технической документации, производят общий осмотр. На основании данных общего осмотра выявляют детали и элементы, которые затем подвергают более тщательному осмотру с измерениями приборами и инструментом. Такие элементы и детали выбирают из числа имеющих повреждений или дефекты. По мере необходимости определяют качество материалов и их прочностные и деформативные характеристики. Для проверки положения различных частей сооружения в горизонтальной и вертикальной плоскостях производят съемку плана и профиля. Обследование производят по заранее разработанному плану, а его результаты регистрируют в специальных журналах с зарисовками и эскизами. Характерные дефекты рекомендуется фотографировать.

По материалам обследований решают вопросы оценки качества зданий и сооружений, их пригодности к дальнейшей эксплуатации, определяют несущую способность конструкций, разрабатывают рекомендации по ремонту и усилению отдельных частей, устанавливают условия эксплуатации. В особо ответственных случаях материалы обследований дополняют испытаниями конструкций сооружения под нагрузкой.

2. Методология обследования конструкций зданий и сооружений

Обследование строительных конструкций осуществляется на основе технического задания и включает в себя следующие этапы и мероприятия:

1. Составляется программа обследования с обязательными мероприятиями по технике безопасности при проведении работ.

2. Производится *предварительное или общее (рекогносцировочное) обследование* с общим визуальным осмотром объекта исследования в натуре, выявлением возможных аварийных участков. Определяются начало и период строительства, предполагаемых изменений в эксплуатации объекта (ремонта, перестройки, перепланировки, возможных аварий).

3. При этом приступают к изучению всей имеющейся по объекту технической документации. При обследовании сооружений, предназначенных к сдаче в эксплуатацию, необходимо ознакомиться с проектной и строительно-монтажной документацией, рабочими чертежами, обращая особое внимание на акты скрытых работ, журналы производства работ, заключения предшествующих обследований, паспортов на оборудование и т. д. При освидетельствовании объектов, находящихся в эксплуатации, дополнительно должны быть изучены акты сдачи в эксплуатацию, паспорта сооружений, журналы эксплуатации, документы о проведенных ремонтах, реконструкциях и другие имеющиеся материалы, характеризующие службу сооружения. Устанавливают соответствие между предъявленной документацией и сооружением в натуре. Выявленные расхождения фиксируются, оцениваются и

устанавливаются их причины. В объектах, сданных в эксплуатацию, проверяется устранение недоделок, отмеченных в актах приемки.

4. Изучаются условия эксплуатации, включая температурно-влажностный режим, агрессивность среды. Берут пробы воздуха, пыли, воды и т. д. для химического анализа.

5. Осуществляются инженерно-геологические и гидрогеологические исследования, позволяющие оценить состояние грунтов основания, наличие и агрессивность грунтовых вод. Эти изыскания рекомендуется проводить при отсутствии рабочих чертежей фундаментов сооружений, исполнительных документов об инженерно-геологических условиях площадки строительства либо при расположении объекта на сложных в геологическом отношении основаниях. При этом проводят бурение скважин или отрывают шурфы вблизи стен подвала или фундаментов и проводят лабораторные исследования грунтов.

6. Далее производится обмер конструкций, узлов и элементов с целью проверки соответствия фактических размеров проектным. Устанавливаются генеральные размеры конструкций (пролетов, высот и т. д.), контролируются сечения элементов, от соблюдения которых зависит напряженно-деформированное состояние элементов конструкций в процессе их службы. При наличии рабочих чертежей объекта необходимо дополнительно уточнить в натуре основные геометрические размеры, отметки, прямолинейность путей подкрановых конструкций, расположение, количество и диаметры заклепок, болтов, длины и катеты сварных швов, армирование сечений железобетонных конструкций, наличие связей, габариты опорных столиков, закладных деталей и многое другое, необходимое для проверочных расчетов конструкций.

При отсутствии проектной документации или рабочих чертежей – составляются обмерочные чертежи конструкций, узлов, планов, разрезов, фасадов здания или сооружения, производится их фотографирование. В отдельных случаях (если это важно с точки зрения эксплуатации или при наличии обнаруженных при осмотре отклонений) проверяются также горизонтальность перекрытий, соблюдение заданных уклонов, вертикальность несущих элементов и ограждений, условия опирания и т. д. Для относительно небольших сооружений эти контрольные измерения не являются сколько-нибудь сложными и выполняются с помощью стальных рулеток, отвесов, нивелиров и т.п. При освидетельствовании крупных сооружений и объектов сложной конфигурации применяют специальные инструменты для обеспечения точности и скорости съемки.

При составлении обмерочных чертежей уточняют геометрические размеры конструкций с точностью до сантиметра; размеры сечений толщины и длины швов – с точностью до миллиметра. Сечения замеряют в двух - трех местах по длине стержня. В состав обмерочных чертежей должны входить: 1) планы этажей здания с указанием осей, расстояний между ними, отметок, расстановки оборудования и т. д.; 2) поперечные разрезы с показом основных конструкций здания и схематично-технологического оборудования. Например, в цехах необходимо показать мостовые краны, прессы и т. д.; 3) продольные разрезы (схематично); 4) план фундаментов; 5) схемы расположения колонн, балок и связей; 6) чертежи колонн, ферм, подкрановых и тормозных балок и т. д.; Для увеличения точности замеров большеразмерных конструкций пользуются рулеткой. Растягивают ее полностью вдоль, например, стены и отсчитывают расстояние до проема, далее простенка и т. д. с нарастающими значениями длины. Затем из последующего значения вычитают предыдущее и получают размеры окон, простенков и т. д. с большей точностью, чем при замерах последовательно одного проема, простенка и т. д.

При замерах подкрановых конструкций необходимо выполнить геодезическую

съемку всех путей, определить их отклонения от базисной линии, найти отметки головки рельса и подкрановых балок. Затем составить профили путей и схемы их горизонтального положения.

7. Затем производится *детальное обследование* элементов объекта с выявлением повреждений конструкций в виде износов, дефектов, нарушений сплошности (отверстия, сколы, раковины и др.), расслоений, увлажнений и замораживания материалов конструкций. Детальный осмотр конструкции следует начинать с наиболее ответственных элементов. Несущие элементы с дефектами условно можно разделить на две группы: 1) элементы, в которых имеют место отклонения, не вызывающие видимых разрушений; 2) элементы с локальными разрушениями. Выявляя в ходе осмотра дефекты первой группы, особое внимание следует обратить на опорные части, заделки и соединения и проверять их состояние и условия работы. Необходимо проверить правильность опирания и крепления опорных площадок, качество сварки, ослабления болтовых соединений. Проверяя состояние сварных швов, в первую очередь следует осмотреть швы в узлах, к которым примыкают стержни с большими растягивающими и сжимающими усилиями. При осмотре необходимо зафиксировать лишние монтажные швы, которые могут изменить расчетную схему конструкции. С особой тщательностью необходимо осмотреть сжатые элементы металлических конструкций. Погнутости сжатых стержней являются одним из наиболее часто встречающихся дефектов металлических ферм. Детальному осмотру подлежат также вертикальные и горизонтальные связи, узлы примыкания связей к фундаментам, обеспечивающие пространственную жесткость сооружения. Одним из грубейших и, к сожалению, часто встречающихся нарушений правил эксплуатации является удаление вертикальных крестовых связей при установке оборудования в промзданиях.

К дефектам второй группы, выявляемым при детальном осмотре, относятся ослабления элементов, вызванные местными разрушениями. Это могут быть срезы болтов, надрезы, сколы, обрывы отдельных элементов конструкций и т. д.; выявляется наличие коррозии, гнили и других повреждений материала, ухудшающих работу конструкций и снижающих несущую способность сооружения.

Обязательно осматриваются связи, настилы и прочие элементы, обеспечивающие требуемую пространственную работу сооружения, и проверяется правильность их опирания и крепления. Отмечается (при осмотре – визуально) наличие осадок, деформирования и взаимных смещений элементов. Производится анализ причин дефектов. При этом возможны работы по вскрытию полов, чердачных перекрытий, заделанных в стены опорных узлов балок и т. д. По результатам детального осмотра дается предварительная оценка состояния сооружения в целом и намечается план дальнейшего проведения освидетельствования (инструментальных съемок, проверки качества материала в сооружении и т.д.). Выявленные дефекты перечисляются в ведомости дефектов. К этой ведомости прикладываются необходимые чертежи, зарисовки и фотографии, по возможности указываются причины повреждений и степень их развития. Особо отмечаются дефекты, требующие немедленного устранения, и указываются рекомендуемые сроки проведения ремонтно-восстановительных работ.

8. На этапе детальных обследований проводят инженерно-геодезические работы по определению достоверного положения здания и его частей (отметки, крены и т. д.), в том числе установление точных геометрических осей конструкций и определение размеров труднодоступных частей сооружения.

9. Оценка качества материалов, примененных в конструкциях, включающая отбор образцов (проб) материала, химический анализ, стандартные испытания образцов, статистическую обработку данных испытаний и выводы о прочности,

деформативности и других свойствах бетона, арматуры, марок кирпича и раствора и т. д.

10. Уточняются нагрузки, действующие на конструкции: масса конструкций и оборудования, временных нагрузок, влияние температур, осадков и т. д. Найти действительные нагрузки и возможные их сочетания можно опытным путем и руководствуясь нормами.

При обследовании конструкций необходимо также выяснить, как приложены нагрузки к несущим конструкциям. Встречаются случаи, когда в период эксплуатации были заменены деревянные прогоны и обрешетка на оцинкованные штампованные настилы. При этом они опирались на верхний пояс ферм, вызывая в нем дополнительный, не учтенный ранее, изгибающий момент. Много случаев подвески к панелям ферм трубопроводов, воздухопроводов в промежутке между узлами, что также чревато перенапряжениями и большой деформативностью этих элементов. Особо следует обратить внимание на нагрузки, вызывающие колебания конструкций. Это могут быть станки, прессы и другое оборудование, которое установлено в соседних зданиях, но их работа также существенно влияет на напряженное состояние и может быть причиной дефектов обследуемых конструкций.

11. Обследуя конструкции, необходимо помнить, что при проектировании часто не учитывают действительные условия работы конструкции, так как их учет сопряжен с большими сложностями расчета. Поэтому выявление действительной расчетной схемы здания в целом и его отдельных конструкций является весьма важным. Расчетную схему сооружения назначают исходя из конструктивной схемы, стараясь обеспечить, возможно, более полное совпадение расчетных усилий с усилиями, которые будут возникать в натурной конструкции. Так как дифференцированно удовлетворять в расчетной схеме всем условиям работы конструкции бывает трудно, то часть второстепенных факторов обычно не учитывают, то есть подменяют действительную работу конструкций упрощенной «идеализированной» расчетной схемой – *например*, при расчетах железобетонных рам с жесткими узлами на вертикальную нагрузку ригель рассчитывают как изгибаемый элемент, а действием продольной силы и горизонтальным смещением узлов пренебрегают.

Необходимо определить характер закрепления концов стержней, их неразрезность, тип опор, возможность совместной пространственной работы ряда конструкций, пространственной работы здания в целом. Например, расчетную схему стропильной фермы принимают в виде шарнирно-стержневой модели, а при конструировании вводят узлы с фасонками и сварными швами, что создает защемление стержневых элементов в узлах. Пока ферма работает упруго, жесткость соединения уменьшает прогибы фермы и частично осевые усилия в раскосах и стойках, а при переходе в пластическую стадию отмечается обратное. Расчет с учетом этих дополнительных усилий сложен и трудоемок. Поэтому жесткостью узлов пренебрегают. Принятое допущение снижает несущую способность ферм, поэтому недостаток расчетной схемы восполняют конструктивными приемами. Еще один пример: считают, что колонна защемлена в фундаменте, а в действительности из-за разных по величине напряжений в грунте под плитой фундамента происходит его неравномерная осадка и поворот фундамента, что изменяет напряженное состояние в стойках и ригеле рамы. При опирании однопролетной балки на кирпичную стену эпюру напряжений в опорной части принимают прямоугольной или треугольной, хотя в действительности она имеет более сложное очертание. В результате этих допущений изменяется расчетная длина пролета. Как видим, различные допущения неизбежны при любых расчетных схемах. Важно правильно оценить их влияние на расчетные усилия: идут ли они в ущерб надежности конструкции или нет, в какой степени и т.д.

Известно, что расчетные характеристики материала снижаются при нарушении сплошности материала и возникновении внутренних дефектов: трещин, пустот. С течением времени наблюдаются различные изменения внешних воздействий (температуры, влажности, нагрузок от кранов и машин). Например, прочность бетона при нормальном влажностном режиме растет, а в агрессивной среде падает. Имеет место расстройство стыков и соединений конструкций, ухудшаются условия их крепления и опирания и т. д.

Все вышеперечисленные факторы способствуют изменению представления об идеальной работе сооружения даже при относительно удачном проекте и качестве строительства. Поэтому при обследовании конструкций необходимо выявить, в том числе и используя современные методики расчета с помощью ЭВМ, все возможные отклонения от решений, принятых в первоначальном проекте и их влияние на напряженно-деформативное состояние элементов конструкций и здания в целом. Возможно, при этом придется анализировать различные варианты расчетных схем, свойств материала, качества стыков и соединений и т. д., которые даже в пределах одного здания из-за множества однотипных конструкций могут отличаться в ту или иную сторону. Вероятностный расчет более точно отразит действительную надежность здания, если собрано достаточное количество данных по прочности материала, нагрузках и дефектах. Если статистических данных недостаточно, осуществляют обычный расчет по строительным нормам.

12. Проведение проверочных расчетов и контроля состояния узлов, стыков и соединений конструкций с учетом реальных расчетных схем, нагрузок, ослаблений сечений, кривизны элементов и других дефектов конструкций и уточненных расчетных сопротивлений материала конструкций. В отдельных случаях, например в предварительно напряженных конструкциях, приходится определять также усилия и напряжения, фактически имеющие место в исследуемых элементах. В некоторых случаях оказывается необходимым перерасчет обследованных конструкций, как например: при недостаточности или полном отсутствии расчетных данных, с чем часто приходится встречаться при освидетельствованиях давно возведенных сооружений с несохранившейся документацией; при наличии несоответствий между расчетными предпосылками и установленными при освидетельствовании фактическими данными в отношении принятой расчетной схемы, нагрузок, размеров, свойств материалов и т. д.; при наличии дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность и деформативность сооружения. По данным перерасчетов устанавливается возможность нормальной эксплуатации сооружения или даются рекомендации о необходимых ограничениях по величине нагрузки, скорости движения и т.д., а также выявляются элементы и соединения, требующие усиления.

Если в результате освидетельствования принимается решение о необходимости проведения испытаний, то перерасчет завершается подсчетом требуемой испытательной нагрузки и определением соответствующих усилий, напряжений, деформаций и перемещений в исследуемых конструкциях. Эти подсчеты должны проводиться наиболее точными методами для получения результатов, наиболее адекватно отражающих действительную работу проверяемого сооружения. На основании произведенного освидетельствования и выполненных перерасчетов составляются общая оценка состояния обследованного объекта и заключение о возможности его эксплуатации. Назначаются меры, необходимые для поддержания объекта в должном состоянии, и требования, которые должны соблюдаться при его эксплуатации.

13. Испытание конструкций пробной нагрузкой. Проводят редко, только когда неясна работа конструкции из-за недостаточности (неполноты) результатов

обследования.

14. Составление заключения о техническом состоянии конструкций или технического паспорта на объект исследования.

15. Разработка рекомендаций по дальнейшей нормальной эксплуатации конструкций и, при необходимости, вариантов усиления конструкций или узлов и здания в целом.

По результатам освидетельствования с учетом данных соответствующих перерасчетов дается общая оценка состояния сооружения и, в случае необходимости, решается вопрос о проведении статических и динамических испытаний.

Представленная методика обследования зданий и сооружений может быть сокращена или расширена при обследовании конкретных объектов, с учетом поставленных задач, намеченных сроков и возможностей исполнителей и заказчика. Это учитывается в программе обследования, в которой, кроме указанных этапов, должны быть определены сроки их проведения, конкретные исполнители и др. Необходимо выделить наиболее срочные мероприятия по предотвращению возникновения аварийных ситуаций. Сомнительные, с точки зрения надежности, конструкции должны быть, по возможности, освобождены от временной нагрузки, иногда под них подводят предохранительные леса. Эти участки ограждают и оповещают персонал, чтобы вблизи них не проводились работы, которые могут ухудшить состояние конструкций и создать аварийную ситуацию. Параллельно с составлением программы обследования для ее выполнения необходимо подготовить инструменты, приспособления, приборы и обучить персонал для их обслуживания. В программе обследования против каждой работы должны быть указаны конкретные исполнители и сроки проведения работ. Программу обследования, составленную исполнителями на основании официально- оформленного задания, согласовывает руководитель объекта. Он же, обычно, обязуется оказывать содействие и помощь в проведении обследования и выделяет своего представителя для участия в обследовании и составлении заключения о техническом состоянии объекта.

Испытания конструкций зданий и сооружений являются составным элементом обследования, но по своей методологии, аппаратному обеспечению и по методам обработки представляют самостоятельное направление экспериментальной механики. Цель этого направления состоит в создании методов и средств, позволяющих на базе экспериментальных исследований получить объективную информацию о свойствах конструкционных материалов, поведении элементов конструкций и действительной работе сооружений. Никакой, даже самый точный, расчет не сможет дать объективную информацию о действительном поведении реальных систем. В строительной механике, теории упругости и пластичности, сопротивлении материалов излагаются самые современные методы расчета идеализированных расчетных моделей, но любой из этих методов должен быть построен на объективной информации, полученной из опытов. Однако ни один из них не может быть рекомендован к использованию для практических расчетов без его экспериментальной проверки.

Парадоксальным является то, что в рамках сформированных расчетных схем с использованием современных ЭВМ можно получать результаты расчета с погрешностью 10^{-8} и менее, тогда как исходная, вводимая в расчет информация по нагрузкам, прочностным характеристикам и отклонениям параметров действительного сооружения от его расчетной схемы характеризуется погрешностью, реально определяемой в пределах до 10...20%. Это не снижает роли современных методов теории расчета сооружений, а лишь подчеркивает необходимость взаимной увязки точности методов расчета сооружений с точностью исходных предпосылок, определяемых экспериментом, и точностью получаемых результатов, фиксируемых

при проведении эксперимента. Существенное влияние на формирование методов и средств испытания конструкций оказывает характер изменения внешних нагрузок, действующих на строительные конструкции, здания и сооружения. Здесь различают статические нагрузки, которые постоянны по значению или медленно изменяются во времени, и динамические, быстро меняющиеся во времени. Можно сформулировать три основные задачи, которые решаются с помощью методов и средств испытания строительных конструкций, зданий и сооружений.

К первой задаче следует отнести определение теплофизических, структурных, прочностных и деформационных свойств конструкционных материалов, а также выделение характера внешнего воздействия, передаваемого на конструкции.

Вторая задача связана с сопоставлением расчетных схем, усилий и перемещений в конструкции, которые определяются расчетным путем, с соответствующими усилиями и перемещениями, возникающими в реальной конструкции или ее модели.

Третья задача – идентификация расчетных моделей, которая получила развитие лишь в последние годы. Эта задача связана с синтезом расчетных схем, который основан на анализе результатов проведенных экспериментальных исследований. Теоретически решение этой задачи смыкается с проблемами кибернетики, в частности, с проблемой «черного ящика». Однако в отличие от классической постановки при рассмотрении практических задач известны некоторые характерные параметры системы, к которым можно отнести информацию о геометрии конструкций в плане, определяемой архитектурно-планировочным решением, о типе или характере несущих конструкций, о наборе конструктивных элементов, применяемых в сооружениях. На основании анализа экспериментально полученных данных о внешних воздействиях и реакций системы (прогибы, деформации, скорости, ускорения) в рамках заданной расчетной модели выявляются ее параметры, и оценивается ее эксплуатационная надежность, прочность, устойчивость, жесткость и трещиностойкость.

3. Приборы и инструменты для проведения обследований

В процессе проведения обследований строительных конструкций зданий и сооружений возникает необходимость в определении физико-механических и физико-химических свойств материалов, геометрических характеристик, прогибов и перемещений, дефектоскопии конструкций. Проверке подлежат главные параметры, характеризующие родом материала и соединений и условиями их работы. Для этого применяются самые разнообразные приборы и оборудование. Подробные данные о приборах и инструментах, которые могут быть использованы при обследовании, приведены в специальной литературе по испытанию конструкций и сооружений и изучаются в соответствующем курсе. Применительно к задачам, возникающим в процессе диагностики и оценки технического состояния, как отдельных конструкций, так и сооружений в целом, можно условно выделить следующие группы приборов.

1. Приборы, предназначенные для определения соответствий проектному положению строительных конструкций, включая деформации всех видов (для сооружений в целом и их элементов). Для этой цели применяются известные геодезические приборы и приспособления. Измерение горизонтальных и вертикальных углов производится теодолитом, определение положения точек по высоте и измерение превышения одних точек над другими – нивелиром. В практике обследований конструкций и сооружений чаще всего применяются теодолиты Т2, 2Т5К (с компенсатором), и нивелиры Н1, Н05, «Кон-007» (Германия). При этом нивелиры

используются со специальной оптической насадкой. Для проектирования точек по вертикали при измерении кренов и колебаний сооружений применяются приборы вертикального проектирования, такие, как оптические центровочные приборы ОЦП–2 и «Зенит–ОЦП» или прецизионный «Зенит–ЛОТ» (PZL) фирмы «Карл Цейс Йена» (Германия). Известен и механический прогибомер, состоящий из двух вертикальных штанг, соединенных раздвижной планкой с размещенным на ней угломером или уровнем. Для быстрой и надежной фиксации наружного очертания и размеров свидетельствуемого объекта целесообразно применять *стереофотограмметрическую съемку*. Кроме того, используют фототеодолиты различных марок, с оборудованием для обработки данных измерений типа универсальной измерительной и стереофотограмметрической камер, инженерных фотограмметров, стереокомпараторов и др. Для особо точных геодезических измерений могут быть использованы лазерные приборы. Так, проверки по вертикали производятся *инструментами вертикального визирования*, позволяющими производить сноску точек по высоте на 100 м и более с погрешностью, не превышающей ± 2 мм. Для нивелирования в тесных и труднодоступных местах целесообразно применять *гидравлические нивелиры*, обеспечивающие высокую точность измерений. При необходимости проверки больших пролетов (100 м и более), как например, расстояния между центрами опорных площадок уже возведенных мостовых опор, применяются новейшие *светодальномеры*, ускоряющие процесс съемки и обеспечивающие точность порядка $1/25000$ определяемой длины. В тех случаях, когда проверяемые элементы доступны для измерений, замеры сечений и проверка очертаний достаточно просты и выполняются обычно средним техническим персоналом.

Более сложной является задача определения толщин в конструкциях, доступных для измерений лишь с одной стороны. Наиболее грубым (и, сравнительно ещё недавно, единственным) способом измерения толщин было просверливание или, что хуже, пробивка отверстий в соответствующих местах проверяемых конструкций, что связано с нарушением сплошности материала и возможностью повреждений. При освидетельствованиях же конструкций, требующих сохранения герметичности (как, например, в уже эксплуатируемых резервуарах) даже самое аккуратное сверление каких-либо отверстий вообще недопустимо. Все эти затруднения отпадают при использовании современных ***неразрушающих методов контроля***. Применение этих методов требует наличия соответствующей аппаратуры и подготовленного для работы с ней персонала.

2. Приборы, предназначенные для определения прочностных и деформативных свойств материалов, из которых изготовлены конструкции и сооружения. Очевидно, что наиболее достоверные данные могут быть получены путем прямых испытаний образцов материалов, выборочно изъятых из сооружения. Однако извлечение опытных образцов из конструкций часто затруднительно, поэтому предпочтение при обследовании существующих конструкций следует отдавать неразрушающим методам испытаний. Большинство приборов для определения прочности бетона в изделиях и конструкциях неразрушающими механическими и физическими методами и их классификация приведены в [4].

3. При определении динамических характеристик используются механические приборы: вибромарки, индикаторы часового типа, амплитудометр конструкции Л. М. Емельянова и Б. Ф. Смотрова, частотомер Фрама, виброграф ВР–1 и др.; электрические – осциллографы типа Н004М, Н008М, Н010М, Н030, Н041, Н023 и Н700), быстродействующие самопишущие электрические приборы (БСП) (типа Н–327–1, Н–338–4 и др.) и магнитографы (типа МП–1, Н036 и др.). При этом замер непосредственно деформаций осуществляется с помощью тензорезисторов и комплектами приборов

типа К001.

4. Дефектоскопия строительных конструкций и материалов выполняется с привлечением приборов, используемых для установления прочности бетона физическими методами (см. табл. 1). Для измерения ширины раскрытия трещин применяют микроскопы типа МПБ–2 и МИР–2. Поиск скрытых в толще бетона и конструкций металлических деталей осуществляют с помощью специальных приборов, данные о которых приведены ниже.

5. Физико-химические параметры, характеризующие свойства материалов сопротивляться химической агрессии, температурным и влажностным воздействиям, определяют с использованием специальных приборов и оборудования путем испытания образцов материалов, изъятых из конструкции в лабораторных условиях.

6. В процессе обследований может возникнуть необходимость испытания существующих конструкций для установления их жесткостных характеристик, а иногда и несущей способности. С этой целью используют традиционную аппаратуру и приспособления, применяемые для обеспечения статических и динамических испытаний строительных конструкций здания и сооружений. Для измерения усилий, передаваемых на конструкции домкратами, лебедками, талями и др., применяют пружинные и гидравлические динамометры перемещения (деформаций), прогибомеры типа ПМ–3 конструкции Н.Н. Максимова, ПАО–5 конструкции А.А. Аистова, компараторы и индикаторы часового типа, тензометры Гугенбергера, Н. Н. Аистова, а также электрические тензометры с использованием тензорезисторов различного вида и регистрирующей аппаратуры типа АИД, ТЦМ, НДС и осциллографов. Кроме того, для определения прогибов, углов поворота конструкций используют клинометры, а для измерения перемещений конструкции в целом и ее узлов – описанные выше геодезические приборы.

II. ВИДЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1. Определение деформаций зданий, сооружений и их конструкций

Деформации (перемещения), обнаруженные при обследованиях, можно разделить на общие, когда перемещаются и деформируются конструкции и сооружения в целом, и местные, когда перемещения, прогибы, повороты происходят в пределах одной конструкции, в узлах сопряжения, опирания и т.п. Для определения общих деформаций могут быть использованы приборы и приспособления, приведенные в предыдущем разделе. Сведения об осадках и взаимных смещениях отдельных частей сооружений должны быть получены перед их освидетельствованием геодезической службой. Эти данные проверяются на месте выборочными контрольными измерениями. В случае отсутствия или недостаточности указанной документации и выявленных при осмотре признаков осадок и смещений для их уточнения должна быть организована геодезическая съемка.

Надежным признаком, позволяющим судить о наличии неравномерных осадок, является развитие легко отличаемых по их внешнему виду *осадочных трещин* в сооружениях. При установлении наличия осадок и смещений необходимо выявить причины их возникновения и решить вопрос о требуемых профилактических мерах, например усилении фундаментов и т. д. Наблюдения за осадками ответственных сооружений должны вестись с начала их строительства. Основной причиной появления общих деформаций зданий и сооружений являются неравномерные осадки оснований.

Чрезмерные перемещения последних объясняются либо ошибками при определении их несущей способности в процессе проектирования, либо нарушением условий нормальной эксплуатации, предусмотренной проектом. Чаще всего это нарушение гидрогеологических условий, замачивание просадочных грунтов, оттаивание ледовых прослоек, аварии систем водо- и теплоснабжения и др.

Для измерения осадок, кренов, сдвигов зданий, сооружений и их конструкций применяют методы инженерной геодезии. Измерение осадок зданий и сооружений производят путем сопоставления отметок реперов и осадочных марок (рис. 14).

Реперы для нивелировки должны быть расположены в местах, обеспечивающих неизменность отметки репера в течение всего срока наблюдений (т.е. до прекращения нарастания осадок). На самом объекте устанавливаются марки, т. е. геодезические знаки, меняющие свое положение по высоте вместе с сооружением. В промышленном и гражданском строительстве применяются марки *стенные* и *плитные*. Примеры их конструктивного выполнения приведены на рис. 15. Эффективной проверкой данных нивелировки является проведение повторных стереофотограмметрических съемок сооружения.

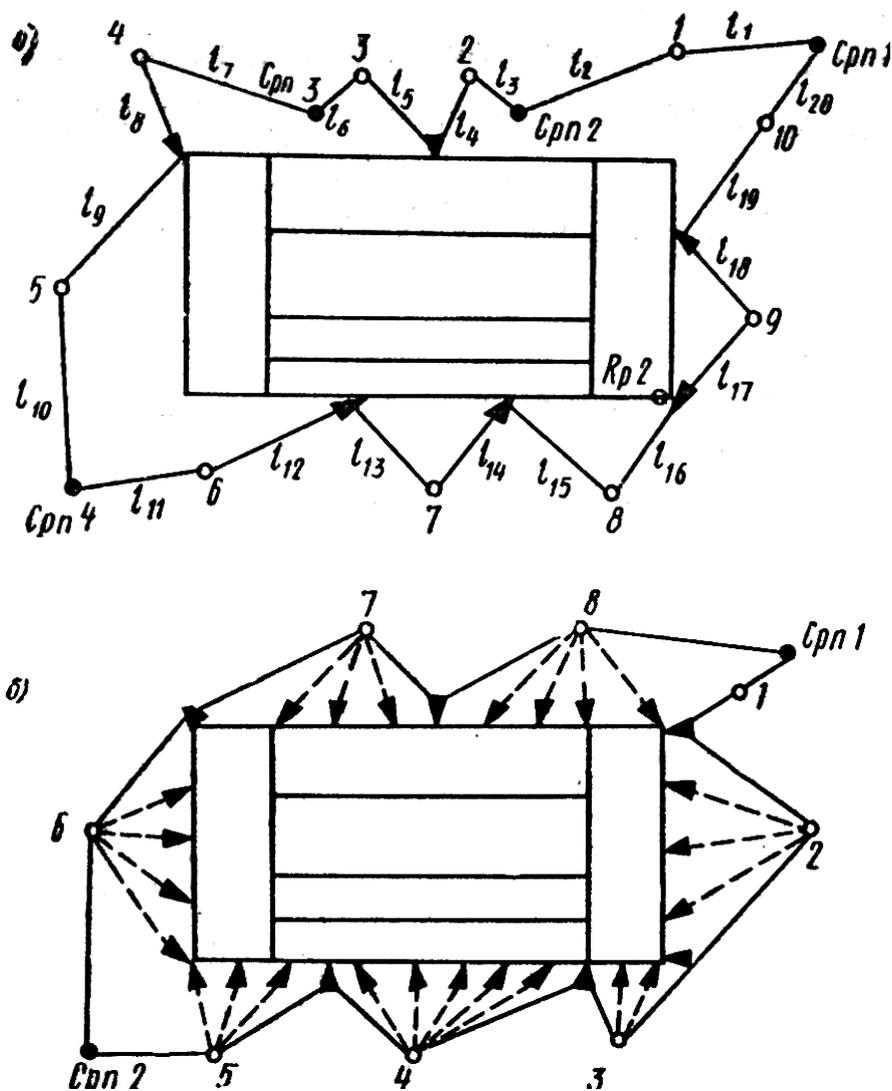


Рис. 13. Схемы нивелирования: а – опорных реперов; б – осадочных марок; 1...10 – номера станций; Срп 1 – Срп 4 – свайные реперы; ▲ – осадочные марки; Rp 2 – стеной репер; $l_1 - l_{20}$ – расстояния между станциями, свайными реперами и осадочными

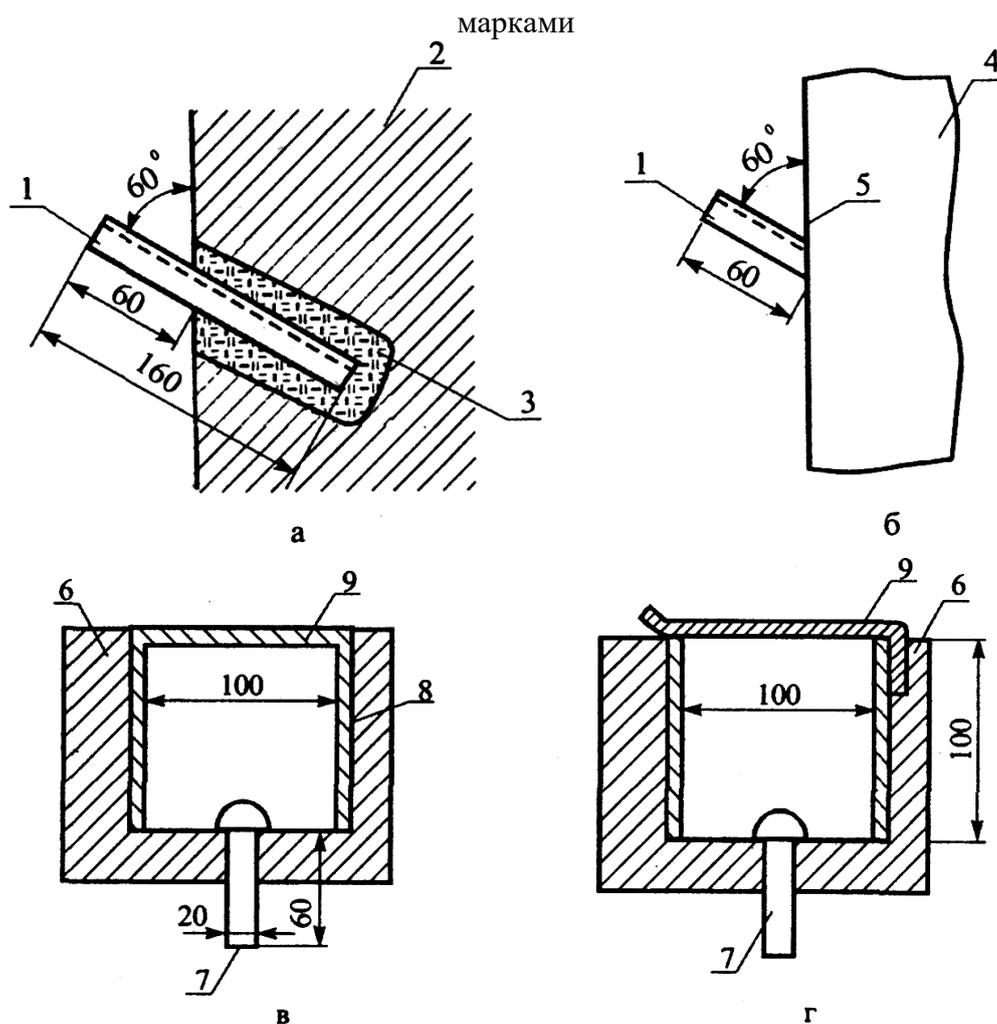


Рис. 14. Нивелирные марки стенные (а и б) и в фундаментных плитах (в и г):
 а – в каменных стенах; б – на стальных колоннах; в – с ввинчивающейся крышкой; г – с откидной крышкой; 1 – стальные уголки 30х5; 2 – каменная стена; 3 – цементный раствор; 4 – стальная колонна; 5 – сварной шов;
 б – бетонная плита; 7 – стальная заклепка; 8 – патрубок; 9 – ввинчиваемая крышка; 10 – съемная крышка

Опорные реперы закладывают на глубину с таким расчетом, чтобы основанием для них служили практически несжимаемые грунты (песчаники, плотные мергели, глины древних отложений и др.). Реперы располагают в 30...120 м вокруг здания. Осадочные марки закладывают в фундаменты по периметру сооружения, номера пишут на стенах (колоннах) масляной краской. Нивелировку опорных реперов и марок выполняют прецизионными нивелирами типа Н1, Н3, «КОН-007» и др. Определять крены сооружений можно различными способами: проектированием вспомогательной точки, измерением горизонтальных углов, боковым нивелированием (рис. 15). В этих случаях рабочим прибором служит теодолит. Разработаны и специальные приборы – кренометры и клинометры, в которых для измерения наклонов сооружений используют точные уровни с измерительным винтом; переносной клинометр, клинометр фирмы «Стопани» (Швейцария), стационарный кренометр конструкции Н. Г. Видуева и В. П. Гржибовского, фотоэлектрический и дистанционный кренометры конструкции А. Г. Григоренко и др.

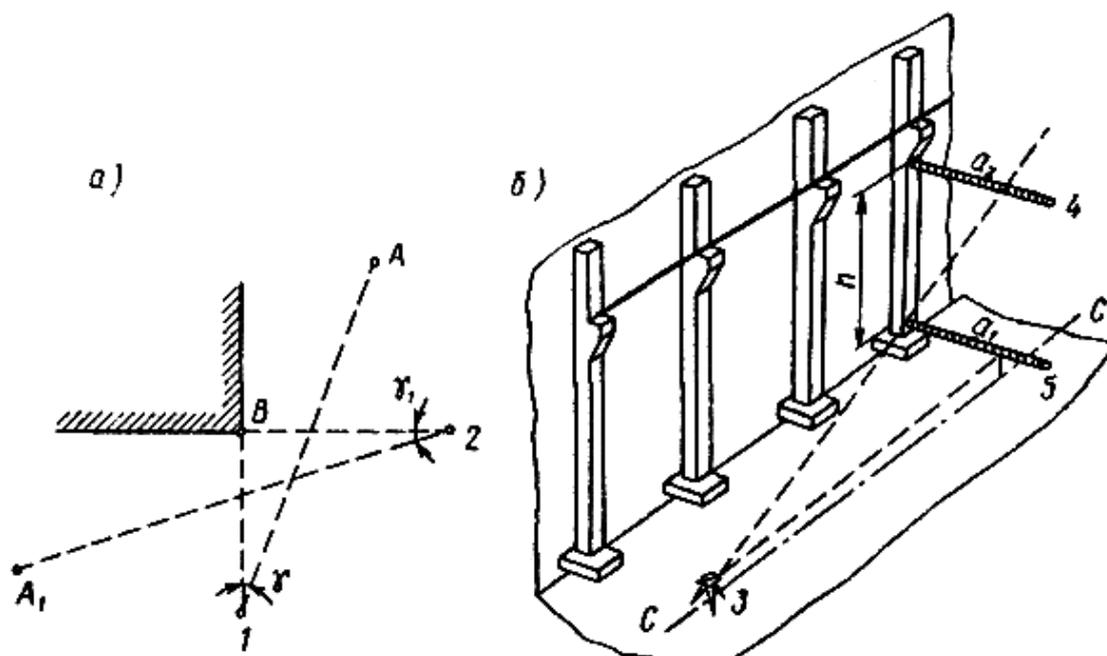


Рис. 15. Схема определения крена: *а* – измерением горизонтальных углов; *б* – методом бокового нивелирования; 1, 2, 3 – места расположения теодолита; *A, A₁* – удаленные предметы местности *B* – марка на верхнем обрезе стены; *CC* – створ; 4, 5 – положения реек для снятия отсчетов a_1 и a_2

Измерение сдвигов конструкций и сооружений выполняют с помощью теодолитов. При этом боковое смещение объекта (конструкции) измеряют от прямых линий, фиксируемых вдоль конструкций, а в качестве линии отсчета используют струну, натянутую между двумя точками прямой линии, или оптический луч, проходящий через эти точки. Соответственно способы определения сдвига конструкции или сооружения в целом подразделяют на способ струны, оптического створа, «ломаного базиса», микротриангуляции, метод косвенного измерения.

Для определения положения одновременно нескольких точек здания или сооружения в одной плоскости или в пространстве, выполнения исполнительных съемок и строительных обмеров сооружений, контроля точности строительномонтажных работ, деформаций больших размеров конструкций при статических и динамических нагрузках применяют методы инженерной фотограмметрии, в которой различают *фотограмметрический* и *стереограмметрический* методы. Фотограмметрические методы целесообразно применять при невозможности выполнения обмерочных работ более простыми способами. К местным деформациям (перемещениям) отдельных конструкций и их частей относят прогибы и углы поворота в различных плоскостях. Необходимо иметь в виду, что такие деформации имеют место всегда, но они не должны превышать предельных значений, установленных нормами по проектированию железобетонных и стальных конструкций. Для прогибов железобетонных конструкций указанные значения приведены в табл. 1, для прогибов стальных изгибаемых элементов и относительных отклонений колонн – в табл. 2, 3.

Таблица 1.

Значения предельно допустимых прогибов железобетонных конструкций

Элементы конструкций	Предельно допустимые
----------------------	----------------------

	прогибы
1. Подкрановые балки при кранах: ручных электрических	$l/500$ $l/600$
2. перекрытия с плоским потолком и элементы покрытия (кроме указанных в поз. 4) при пролетах, м: $l < 6$ $6 \leq l < 7,5$ $l > 7,5$	$l/200$ 3 см $l/250$
2. Перекрытия с ребристым потолком и элементы лестниц при пролетах, м: $l < 5$ $5 \leq l < 10$ $l > 10$	$l/200$ 2,5 см $l/400$
4. Элементы покрытий сельскохозяйственных зданий производственного назначения при пролетах, м: $l < 6$ $6 \leq l < 10$ $l > 10$	$l/150$ 4 см $l/250$
5. Навесные стеновые панели (при расчете из плоскости) при пролетах, м: $l < 6$ $6 \leq l < 10$ $l > 10$	$l/200$ 3 см $l/250$

Примечание. l – пролет балок или плит; для консолей принимается значение, равное удвоенному вылету консоли.

Прогибы конструкций обычно определяют относительно каких-то базовых точек (например, опорных столиков балки) методами геометрического и гидростатического нивелирования. При *геометрическом* нивелировании замеры выполняют с помощью нивелира и реек, которые шарнирно подвешивают к точкам обследуемой конструкции или устанавливают вертикально на конструкцию. По замерам в различных точках строят графики прогибов.

Таблица 2.

Значения предельно допустимых относительных прогибов стальных конструкций

Элементы конструкций	Относительные прогибы элементов (к пролету)
1. Балки и фермы крановых путей под краны: легкого режима работы (включая ручные краны, тельферы и тали) среднего режима работы	$l/400$ $l/500$

тяжелого и весьма тяжелого режимов работы	$l/600$
2. Балки рабочих площадок производственных зданий при наличии рельсовых путей: ширококолесных узкоколесных	$l/600$ $l/400$
3. Балки рабочих площадок производственных зданий при отсутствии рельсовых путей и балки междуэтажных перекрытий: главные балки прочие балки и косоуры лестниц стальной настил	$l/400$ $l/250$ $l/150$
4. Балки и фермы покрытий и чердачных перекрытий: несущие подвесное подъемно-транспортное или технологическое оборудование ненесущее подвесное оборудование прогоны профилированный настил	$l/400$ $l/250$ $l/200$ $l/150$
5. Элементы фахверка: ригели Прогоны остекления	$l/300$ $l/200$

Примечание. Для консолей следует принимать пролет l , равный удвоенному вылету консоли. При наличии оштукатуренной поверхности прогиб балок перекрытий только от кратковременной нагрузки не должен превышать $l/350$ длины пролета.

Таблица 3.

Значения предельно допустимых относительных отклонений стальных колонн на уровне верхнего пояса подкрановых балок

Направление горизонтального отклонения	Относительное отклонение колонны (к высоте h)	
	В открытых подкрановых эстакадах	В зданиях и сооружениях с количеством циклов нагружения 2×10^5 и более
Поперечное: при плоской расчетной схеме при пространственной расчетной схеме	$l/4000$	$l/2500$
	–	$l/4000$
Продольное	$l/4000$	$l/4000$

Примечание. h – высота колонны от низа базы до головки рельса подкрановой балки.

Гидравлический (гидростатический нивелир) прогибомер, выпускаемый серийно, состоит из базовой и мерной трубок, соединенных между собой резиновым шлангом. Гидростатическое нивелирование основано на принципе сообщающихся сосудов. Разность столбов в базовой и мерной трубках дает превышение одной точки

над другой. По сравнению с геометрическим нивелированием гидравлическое дает более высокую точность, проще в использовании, не требует большого свободного пространства, позволяет сопоставить точки в соседних помещениях. Относительный прогиб конструкции устанавливается по величине смещения штанги относительно горизонтальной планки или по углу наклона планки с помощью механического прогибомера. Вертикальные и горизонтальные относительные смещения сопрягающихся частей сооружений на температурно-осадочных швах измеряют щелемерами различной конструкции. Если доступ к швам затруднен, измерения проводят оптическими приборами (теодолит и др.).

2. Дефектоскопия конструкций и неразрушающие методы оценки прочности материала и трещинообразования в элементах зданий и сооружений

В задачи дефектоскопии строительных материалов и конструкций входит выявление различных дефектов: микро- и макротрещин, пустот, включений инородных тел и др. Кроме того, методами дефектоскопии можно установить без вскрытия бетона расположение арматуры в железобетонных конструкциях, а также сечение металлических конструкций, скрытых в толще стен или перекрытий. Для поиска дефектов в бетоне и стали применяют *методы ультразвуковой дефектоскопии* (импульсный и непрерывного излучения), при этом используют способность ультразвуковых волн отражаться от границ материалов различной плотности. Различают метод (эхо), основанный на отражении ультразвуковых волн, и метод сквозного прозвучивания (метод теневой дефектоскопии). Сочетание этих методов позволяет определить наличие и место дефектов с достаточной точностью. Реализация ультразвуковой дефектоскопии осуществляется известными приборами типа УКБ-1 и другими по ГОСТ 17624-87.

Обнаруженные при осмотре сооружения трещины, сколы, раскрытия швов и другие аналогичные дефекты, не подлежащие немедленному устранению, должны быть тщательно измерены и отмечены как на самом объекте, так и на соответствующих схемах. Все эти данные передаются затем эксплуатационникам для дальнейших наблюдений за состоянием сооружения.

Ширину раскрытия трещин в строительных конструкциях обычно определяют с помощью микроскопов МПБ2 с ценой деления 0,02 мм, пределом измерения 6,5 мм и прибора МИР-2 с пределами измерения от 0,015 до 0,6 мм. Динамику развития трещин во времени устанавливают с помощью маяков различного типа. Например, для наблюдения за трещинами в кирпичной кладке на них устанавливают гипсовые, стеклянные или металлические маяки (рис. 16). При продолжающемся расширении трещины маяк рвется и по ширине образовавшейся в нем щели можно судить об интенсивности раскрытия трещины под маяком. Однако уменьшение трещины может быть выявлено с трудом. Надлежащую сохранность самих маяков трудно гарантировать, и способ этот в настоящее время не может быть рекомендован.

Гипсовые и стеклянные маяки устанавливают на стене, предварительно очищенной от штукатурки, на алебастровом или цементном растворе. Металлические маяки обычно изготавливают из кровельной стали и крепят к стене гвоздями или клеем и окрашивают краской. На маяках ставят номер и дату. Данные заносят в специальный журнал. Глубину трещин устанавливают, применяя иглы и проволочные щупы в сочетании с приведенными выше ультразвуковыми методами. Для фиксации, как раскрытия, так и уменьшения ширины трещин и швов, а также сдвигов вдоль них,

используют ряд приемов. Простейшим является наблюдение за изменением взаимного положения пары меток, нанесенных на поверхность объекта по обе стороны наблюдаемой трещины или шва. Для длительных измерений пользуются различными перекрывающими трещину или шов приборами – *щелемерами* (в том числе и электрического принципа действия) как поверхностными накладками, так и глубинными. По своему устройству такие приборы аналогичны *тензомерам*. Для определения глубины трещин, выходящих на поверхность, строители применяют гибкие металлические щупы различной толщины, по глубине трещин постепенно, как правило, сужающиеся. Точные замеры производятся путем применения новейших физических методов исследования, как, например, с использованием ультразвуковых излучений.

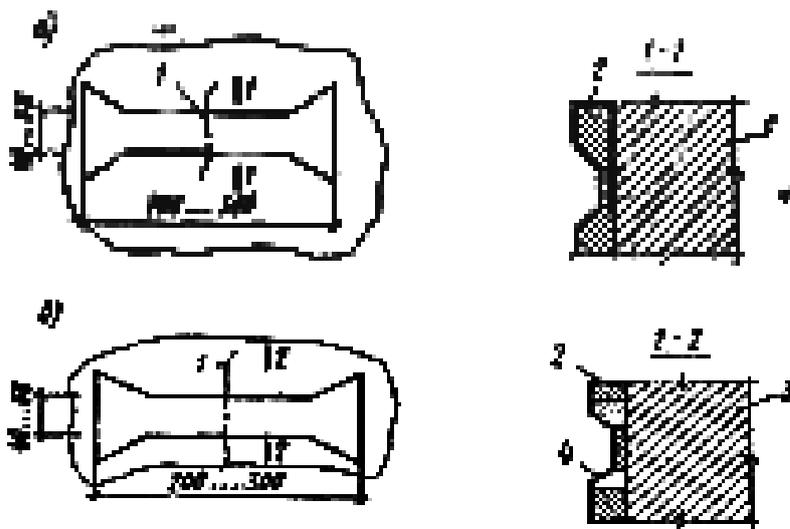


Рис. 16.
 Виды маяков:
 а – гипсовый;
 б – стеклянный;
 в – металлический;
 1 – трещина;
 2 – оштукатуренная поверхность;
 3 – стена;
 4 – алебастровый раствор;
 5 – риски через 2–3 мм

В массивных бетонных блоках при исследовании глубоких трещин пользуются *методом подсечки* (рис. 17). Как видно из этого рисунка, под углом $45...60^\circ$ к плоскости распространения трещины пробуривают ряд скважин. Отверстия их перекрывают тампонами и в скважины нагнетают воздух или воду под давлением в несколько атмосфер, переходя последовательно от одной скважины к другой. О глубине проникновения трещины судят при этом по выходу из нее воздуха или появлению на поверхности у ее краев мокрых пятен.

В заключение следует отметить, что поведение трещин, швов, соединений и т. п. является важным показателем состояния сооружения. Внимательное наблюдение за швами и соединениями, а также и трещинами, если они имеются, при правильной оценке полученных данных позволяет своевременно поставить «диагноз» скрытых нежелательных явлений, происходящих вблизи сооружений, и принять необходимые профилактические меры, не дожидаясь серьезных нарушений их работоспособности.

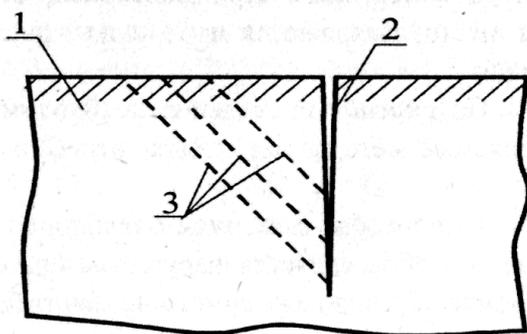


Рис. 17.
 Определение глубины распространения трещины методом подсечек:
 1 – бетонный массив;
 2 – трещина; 3 – буровые скважины

Оценка поверхностного состояния строительных конструкций в труднодоступных местах на расстоянии до 7,5 м осуществляется с помощью оптического прибора РВП-451. Наличие металла в перекрытиях, стенах и других конструкциях можно определить, пользуясь металлоискателем МИ-1, выпускаемым в России заводом АКХ им. К. Д. Панфилова. Для определения диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона железобетонных конструкций и сечения металлических элементов конструкций, скрытых в перекрытиях, стенах и т. п., применяют приборы типа ВИМ, ИЗС, ТЗС, ИСМ и др. Принцип их действия основан на измерении магнитной проницаемости материалов по ГОСТ 22904 –78 или на радиационных методах по ГОСТ 17625–83. С этой же целью используют методы просвечивания и ионизирующих излучений – радиоизотопные методы по ГОСТ 17623–87 (см. табл. 1). Для измерения механических напряжений в металле, возникших в результате сварки, и обнаружения трещин (ГОСТ14782–86) может быть использован прибор ИНТ–М2 в комплекте с выносимыми датчиками ВД–1 и ВД–2.

Неразрушающие методы являются наиболее приемлемыми для определения прочностных, деформативных и других физико-механических характеристик строительных материалов в условиях, когда эти свойства устанавливаются для конструкций возведенных и эксплуатирующихся зданий и сооружений. Места отбора образцов (проб) для лабораторных испытаний и места для проведения испытаний неразрушающими методами следует устанавливать на характерных участках конструкций с учетом действующих нагрузок и воздействий, напряженно-деформированного состояния обследуемых элементов, конструктивных решений. Эти места могут быть определены также по группам однотипных конструктивных элементов с целью получения совокупности данных для статистической обработки. Следует обратить внимание на обеспечение несущей способности и пригодности к эксплуатации конструкций, ослабленных отбором образцов (проб).

Неразрушающие методы применяют для установления прочности бетона на сжатие (имеется в виду кубиковая прочность бетона R), которая определяется как функция $R = f(x_i)$ какой-нибудь механической или физической характеристики бетона, полученной опытным путем. Различают механические методы, когда по результатам измерения приборами механических характеристик бетона x_i по таблицам и графикам определяют значение R , и физические методы, пользуясь которыми кубиковая прочность находится как функция физических характеристик, полученных также опытным путем.

Градуировочные таблицы и графики для конкретных конструкций уточняются по результатам испытаний бетонных образцов (кубов со стороной 7,07 см), вырезанных из тела конструкций (не менее трех образцов), или испытаний методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 21293–75, описанным ниже. В процессе обследований при установлении данных о прочности бетона в одной конструкции или среди разных конструкций рекомендуется выделить участки с общими прочностными характеристиками бетона исходя из того, что коэффициент вариации прочности бетона для каждой совокупности должен быть $v \geq 0,135$, а прочность бетона находится в пределах $R = (0,7...1,3) \bar{R}$, где \bar{R} – среднее значение прочности. Отдельные места конструкций или отдельные конструкции, имеющие значительные дефекты, в указанную выборку не включаются. Основные методы испытания, используемые для определения прочности бетона непосредственно в конструкциях эксплуатирующихся зданий и сооружений, приведены в табл. 4.

Из механических методов одним из наиболее распространенных является *метод пластической деформации*, основанный на взаимосвязи между прочностью бетона R и

размерами отпечатков на бетонной поверхности, которые получают путем статического или динамического вдавливания штампа. Отпечаток на бетонной поверхности (его геометрические размеры) характеризует пластическую (или упругопластическую) деформацию бетона при статической нагрузке в гидравлическом прессе, при динамической – под действием удара копра.

Метод испытания на отрыв со скалыванием основан на определении R по усилию P , требуемому для отрыва и скалывания куска бетона из тела конструкции, для чего в бетоне в высверленные отверстия устанавливаются с зачеканкой цементным раствором анкерные устройства, которые затем вырывают специальными приборами. Возможно, установить R по прочности бетона на отрыв, когда с помощью аналогичных приборов производят отрыв стального диска, приклеенного к поверхности бетонного элемента эпоксидным клеем. Прочность бетона можно определить и на основании измерения усилия скалывания части бетона в ребре конструкции. Кроме того, для испытания прочности ячеистых бетонов используют метод, заключающийся в выдергивании винтовых стержней, предварительно вкрученных в тело бетона. *Методом, основанным на измерении отскока подпружиненных молотков (склерометров) от бетонной поверхности*, характеризуют прочность бетона по величине отскока при ударе о бетон.

Таблица 4.

Рекомендации по выбору методов испытаний

Методы	Приборы и способы исполнения	Область применения
Методы испытания прочности в образцах, бетон которых уплотнен совместно с конструкцией	Бурение с последующим испытанием кернов. Распиловка изделий из кубы	Для выборочного контроля прочности в изделиях, технология изготовления которых значительно отличается от технологии приготовления кубов, с целью установления переводных коэффициентов от R изделия к R в кубах. Для проведения предварительных испытаний с целью получения тарировочных зависимостей, используемых для контроля прочности бетона (неизвестных составов) другими методами
Метод пластической деформации растворной составляющей	Приборы ДПГ–4, ДПГ–5, ПМ, ХПС, эталонный молоток Н.П.Кашкарова и др.	Для испытания прочности бетона в изделиях и конструкциях толщиной 40, 60 см. Приборы ДПГ–4 и ДПГ–5 более удобны при испытаниях на горизонтальных плоскостях, но для испытания нижних горизонтальных плоскостей непригодны
Метод пластической деформации бетона	Приборы типа «Штамп НИИЖБ»	Сфера применения та же. Толщина изделий (в зависимости от типа прибора) до 30 см. Прибор менее удобен в работе, но обеспечивает большую точность испытаний
Методы, основанные на отделении бетона от бетона	Отрыв со скалыванием, приборы ГПНВ–5, ГПНС–4	Для определения прочности бетона в конструкциях толщиной не менее 15 см. метод позволяет учитывать влияние прочности крупного заполнителя и степени его сцепления с раствором на R бетона.

		Метод пригоден для испытания бетона высоких марок.
	Отрыв, прибор ГПНВ-5	Сфера применения та же, что и для отрыва со скалыванием, а также для испытания тонкостенных конструкций
	Скалывание ребра конструкций, приборы УРС и ГПНВ-5	Для испытания конструкций толщиной не менее 4 см с шириной испытываемого ребра и его длиной соответственно не менее 18 и 20 см
Метод упругого отскока	Прибор КМ, склерометры Шмидта	Для испытания прочности бетона в изделиях и конструкциях толщиной не менее 100 мм. Для определения изменения прочности бетона во времени
	Прибор Царицына-Корниловича-Осидчука	То же, но только для вертикальных поверхностей
Резонансный метод	ИЧМК-2, ИЧЗ-5, ИЧЗ-3	Для лабораторных исследований и испытаний образцов бетона
	Вибростенд	Для испытания сборных изделий и конструкций типа прямолинейного бруса (в опытном порядке)
Импульсный ультразвуковой метод	Ультразвуковые приборы УКБ-1, УКБ-1М, «Бетон-8», УРЦ, УК-16П, Ук-10П, УФ-90ПЦ	Для контроля прочности и однородности бетона в конструкциях при известных заполнителях
Радиоизотопный метод	8УР11, РПП-1, РПП-2, ИПР-Ц	Для испытания ячеистых бетонов и бетонов на пористых заполнителях

Из физических методов определения прочности бетона в конструкции получили распространение *импульсные* и *радиоизотопные*. Из импульсных методов широко применяют ультразвуковые, основанные на измерении времени распространения ультразвука в бетоне и базы прозвучивания, по которым рассчитывают скорость ультразвуковой волны и как ее функцию определяют прочность бетона R . Метод волны удара основан на измерении скорости распространения в бетоне продольных волн $v_{уд}$, вызванных механическим ударом ручным или электрическим молотком. Далее по зависимости $R - v_{уд}$ устанавливают прочность бетона. Радиоизотопный метод позволяет определить плотность бетона ρ_v и по заранее установленным зависимостям $R - \rho_v$ выявить прочность ячеистых бетонов. Он основан на использовании γ -лучей, источником которых являются радиоактивные изотопы. Часто при обследовании бетонных и железобетонных конструкций определение прочности бетона неразрушающими методами приходится производить при отсутствии зависимости «косвенная характеристика – прочность» для обследуемого бетона конкретной конструкции. Для уменьшения ошибки при определении R рекомендуется проводить комплексные

испытания бетона, включающие определение прочности бетона разрушающими методами в образцах, полученных из тела обследуемой конструкции путем выпиливания образцов правильной формы (кубов цилиндров) по ГОСТ 10180–78 и кернов или образцов неправильной формы, методами штампа или раскалывания и параллельно установление прочности бетона несколькими неразрушающими методами. По их результатам находят наиболее достоверное значение величины R . При этом желательно сочетать как механические, так и физические методы определения прочности бетона.

Для установления деформативных характеристик бетона в эксплуатируемой конструкции может быть использован *метод испытания бетона путем скалывания*. Специальное устройство, принцип работы которого близок к работе прибора ГПНС–4, позволяет получить значение абсолютной деформации бетона при ступенчатой нагрузке, приложенной к вырываемому из бетона анкеру. По этим данным строят зависимости «деформация-напряжение» или «деформация – относительное напряжение» и вычисляют модуль деформации бетона.

Общие рекомендации по выбору методов испытаний в зависимости от области применения приведены в табл. 4, а по выбору типа прибора в зависимости от прочности бетона в табл. 5. Из всех рассмотренных физико-механических способов определения прочности бетона в конструкциях наиболее достоверные данные получают при испытаниях на отрыв и скалывание. Поэтому эти методы желательно применять параллельно с другими для контроля и уточнения результатов испытаний.

Таблица 5.
Рекомендации по выбору типа прибора в зависимости от прочности бетона

Методы испытания	Приборы	Пределы прочности бетона, МПа
Метод пластической деформации: раствора бетона	Эталонный молоток, приборы ДПГ–4, ХПС, ПМ	5...50
	ДПГ–5	20...55
	НИИЖБ	10...55
	КМ	10...40
Метод упругого отскока	Склерометр Шмидта	5...50
Метод отрыва со скалыванием	ГПНВ–5 со стержнями	10...80
	ГПНС–5 с разжимным конусом	10...50
	ГПНС–4	10...50
Метод отрыва	ГПНВ–5 с дисками	5...50 (для легких бетонов 5...30)
Метод скалывания ребра конструкций	УРС	10...70
Ультразвуковой импульсный метод	УКБ–1, УКБ–1М, «Бетон–транзистор», УК–10П, УФ–90ПЩ	10...50 (для легких бетонов 7,5...50)

Прочностные характеристики кирпича всех видов, бетонных и природных камней, а также кладки из них устанавливают с помощью испытания образцов, отобранных непосредственно из кладки на стандартном лабораторном оборудовании в соответствии с ГОСТ 8462–85 и СН 290–74 и ультразвуковым методом по ГОСТ 24332–80.

Физико-механические характеристики металлических конструкций и арматуры

железобетонных конструкций устанавливают стандартными испытаниями проб (образцов), вырезанных из эксплуатируемых элементов. Марка металла и его качество проверяются путем статического растяжения образцов (определяется временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение); испытания образцов на ударную вязкость при температурах + 20 и –20°С; химического анализа стали (устанавливается содержание углерода, кремния, марганца, серы и фосфора и др.); выявления распространения сернистых включений способом отпечатков по Бауману. Из металлических конструкций образцы для механических испытаний вырезают в соответствии с ГОСТ 7564–73, из листовой стали – поперек направления прокатывания, из фасонной стали – вдоль. Образцы для выявления распространения сернистых включений способом отпечатков по Бауману вырезают из листовой и широкополосной стали – вдоль направления прокатки, а из сортового или фасонного проката – поперек по ГОСТ 5639–82. Пробы для определения химического состава отбирают в соответствии с ГОСТ 7565–81 в виде металлической стружки в количестве не менее 50 г с одного элемента. Стружку допускается отбирать путем высверливания ручной дрелью. Ударная вязкость стали при нормальной и пониженной температуре устанавливается на плоских образцах с V-образным надрезом. Для испытания отбирают пробы от партии элементов, т.е. однотипных видов проката, одинаковых по номерам, толщинам, маркам стали и входящим в состав однотипных конструкций одной поставки или одного периода изготовления. При выборе количества образцов для испытаний можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 6

Таблица 6.

Рекомендации по выбору количества образцов для определения физико-механических характеристик стали

Вид испытаний	Количество элементов от торца	Количество проб (образцов)	
		От элемента	Всего от торца
Испытание на растяжение	2	1	2
Химический анализ	3	1	3
Ударная вязкость при: +20°С –20°С	2	3	6
	2	3	6
Отпечатка по Бауману	2	1	2

В железобетонных конструкциях образцы арматуры для механических испытаний отбирают (вырезают) из стержней эксплуатируемых элементов минимум по два образца из одноименных стержней. В целом отбор должен производиться на участках наименьших силовых воздействий с обязательным обеспечением прочности и устойчивости ослабленных элементов.

Прочность древесины деревянных конструкций неразрушающими методами можно установить огнестрельным способом, основанным на существовании зависимости между глубиной проникновения пули, плотностью и пределом прочности на сжатие, и используя ультразвуковые приборы, описанные выше, при известной связи между скоростью распространения ультразвука в древесине и ее упругой характеристикой (динамическим модулем упругости), но которой определяют предел прочности, а также прибором Певцова по отпечатку при падении шарика диаметром 25 мм с высоты 50 см и градуировочной зависимости.

3. Установление степени влияния коррозии, температуры и трещин на элементы зданий и сооружений

С методической точки зрения коррозионные поражения и трещины следует

выделить в особую группу. При осмотре устанавливается наличие трещин, определяются места с наибольшими поражениями коррозией. При выявлении элементов конструкций, ослабленных коррозией, следует иметь в виду, что наибольшему поражению подвержены металлические и железобетонные конструкции в цехах и специальных помещениях, в которых по технологическому режиму предполагается наличие агрессивных веществ. При этом самые существенные повреждения бетона и стали происходят из-за кислотной и сульфатной коррозии, при периодическом увлажнении и некачественной химзащите. Для обычных зданий и сооружений в наибольшей степени коррозии подвержены подземные части здания при воздействии агрессивных грунтовых вод и переменном температурно-влажностном режиме эксплуатации и несущие элементы покрытия при разрушении материалов кровли и утеплителей. При этом наибольшей коррозии следует ожидать на участках с максимальными напряжениями, в местах приложения сосредоточенных нагрузок, на вводах вентиляционных систем и в зонах с плохой вентиляцией, на участках с интенсивным пыленакоплением, а также в местах нарушения защитного слоя бетона и антикоррозионного покрытия.

По данным осмотра определяются качественные показатели коррозии: область распространения коррозии и ее характер. По характеру и области распространения коррозия подразделяется на сплошную и местную, равномерную, неравномерную и язвенную. Воздействие агрессивной среды на железобетонные конструкции может вызвать коррозию бетона, арматуры и закладных деталей и привести к снижению несущей способности конструкции в целом. В связи с этим при обследовании необходимо определить участки коррозионного повреждения бетона, арматуры и закладных деталей, характер, вид, степень и глубину коррозионных повреждений физико-химическим анализом проб бетона и арматурной стали. При этом определяют: глубину нейтрализующего слоя бетона путем анализа реакции спиртового раствора фенолфталеина на свежее обработанный скол бетона защитного слоя; ожидаемую глубину карбонизации и нейтрализации бетона агрессивными газами; вид и относительное количество продуктов коррозии (гипса, карбоната кальция, гидросульфатоалюмината кальция и др.), исследуя интенсивность соответствующих термических эффектов и дифракционных отражений методами дифференциального термического и фазового рентгеновского анализа состава вяжущей составляющей цементного камня с помощью пирометров, дифрактометров в комплекте с гониометрами различного типа; количественную и качественную структуру цементного камня путем оптико-микроскопических исследований микроскопами МБК-6, МИН-8 по ГОСТ 22023-76; величину капиллярного водопоглощения по ГОСТ 12730.0-78; концентрацию водородных ионов в водной вытяжке из цементного камня с помощью рН-титра.

В процессе обследований необходимо установить степень и вид поражения металла коррозией: сплошная или местная, равномерная, неравномерная и язвенная. Степень поражения материалов *равномерной коррозией* определяется сравнением поперечных сечений пораженных участков с проектными. При *местной и язвенной коррозии* устанавливают размеры локализованных поражений и их количество на единицу площади. Коррозия арматуры чаще всего обнаруживается визуально по появлению продольных трещин и ржавых пятен на поверхности защитного слоя бетона, а также электрическим методом в соответствии с положениями «Методических рекомендаций по исследованию ингибиторов коррозии арматуры в бетоне» (НИИЖБ Госстроя РФ. М., 1980). Проведение и анализ результатов физико-химических и электрохимических исследований осуществляется специализированными организациями.

Существует ряд причин коррозионного разрушения металлических и неметаллических (бетонных, каменных, деревянных, пластмассовых и др.) конструкций. Они возникают от физических, химических, электрохимических и биологических воздействий. Процессы коррозии неметаллических материалов отличаются от процессов коррозии металлов. Если для металлов коррозия происходит на границе металла и среды, то коррозия пористых неметаллов происходит и на границе со средой и в глубине материала, что обуславливается процессами диффузии. Всё зависит от природы материала (органического или неорганического происхождения) и агрессивности среды: концентрации вредных веществ, температуры и воздействия химических реагентов. Например, пластмассы и резины при воздействии на них агрессивных сред теряют свою эластичность, твердеют и становятся рыхлыми и их прочностные свойства резко снижаются.

Бетон и каменные материалы разрушаются от воздействия агрессивной среды при образовании в его порах новых соединений большого объема.

Степень воздействия агрессивных сред на неметаллические конструкции определяется:

- для газовых сред – видом и концентрацией газов, растворимостью газов в воде, влажностью и температурой (табл. 7);
- для жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности конструкции;
- для твердых тел (соли, аэрозоли, пыль, грунты) – дисперсностью, растворимостью в воде, гигроскопичностью, влажностью окружающей среды.

Таблица 7

Группы агрессивных газов в зависимости от их вида и концентрации

Наименование	Концентрация, Мг/М ³ , для групп газов			
	Наибольшая допустимая в незагрязненном воздухе, <i>A</i>	Предельно допустимая на рабочих местах, <i>B</i>	Превышает предельно допустимую в 20 раз, <i>C</i>	Превышает предельно допустимую в 100 раз, <i>D</i>
Углекислый газ	<2000	>2000	–	–
Аммиак	0,2	0,2-20	>20	–
Сернистый ангидрид	<0,5	0,5-10	10-200	200...1000
Фтористый водород	0,05	0,05...5	5...10	10...100
Сероводород	0,01	0,01...5	5...100	100
Оксиды азота	0,1	0,1...5	5...25	25...100
Хлор	0,1	0,1...1	1...5	5...10
Хлористый водород	0,05	0,05...5	5...10	10...100

При неагрессивной среде в течение года эксплуатации не снижается прочность материала, и отсутствуют внешние признаки коррозии. При слабоагрессивной среде теряется прочность до 5% и наблюдается слабое поверхностное разрушение материала. Среднеагрессивная среда дает 5...20% потери прочности материала, наблюдаются волосяные трещины, повреждения угловых зон. При сильноагрессивной среде потери прочности достигают более 20% и наблюдается сильное растрескивание материала.

Особенно вредные воздействия на конструкции оказывают:

– углекислый газ, сернистый ангидрид, фтористый водород, а также щелочи и кислоты;

– масла, нефть, нефтепродукты, растворители, различные виды сельскохозяйственных удобрений (фосфорные, аммонийные, азотные, калийные) и др.

Одним из часто встречающихся дефектов, возникающих при неправильной эксплуатации промышленных зданий, является промасливание бетонных конструкций. Исследования показывают, что плотно уложенный и высокопрочный бетон практически не подвергается промасливанию. Бетон недостаточной плотности с трещинами и раковинами может быть пропитан различными техническими маслами на значительную глубину. Прочность такого бетона может снижаться в 2 раза.

При обследовании железобетонных конструкций особое внимание необходимо уделить элементам, подвергающимся специфическим воздействиям высоких и низких температур. От высоких температур более 250°C и при пожарах в эксплуатируемых зданиях возможны большие деформации и обрушения. Это вызвано следующими причинами:

1) нагрев стальных конструкций и арматуры в железобетонных и армированных каменных конструкциях приводит к падению ее прочности и чрезмерному удлинению, что ведет к изменению геометрии конструкции и большим деформациям. Сжатые армированные зоны конструкций при разогреве и удлинении арматуры трещат и разрушаются;

2) бетон и каменная кладка при ограниченных деформациях испытывают большие температурные напряжения, что вызывает потерю их несущей способности;

3) бетон и каменная кладка становятся хрупкими из-за мгновенного изменения объема кварцевой составляющей при температуре более 500 °С;

4) тушение пожара водой неравномерно охлаждает бетонные и каменные конструкции и вызывает в них появление трещин.

Воздействие огня и воды приводит к отслаиванию верхнего слоя каменной кладки, образованию оплавлений и разрушению раствора в швах кладки. Однако, обычно применяемые в строительстве кирпичи из легкого бетона огнестойки. Кладка же из естественных камней, содержащих кварц (гранит, песчаник, андезит, порфирит) при температуре около 575°C претерпевает значительное скачкообразное увеличение их объема. Естественные камни разрушаются также при одностороннем нагреве и тушении водой.

Стойкость бетона к воздействию повышенных и высоких температур устанавливают путем проведения испытания по выявлению остаточной прочности образцов на сжатие, огневой усадки и термической стойкости по СН 156–67, а деформации под нагрузкой по ГОСТ 23283–78.

При кратковременном температурном воздействии, характерном во время пожара, тяжелый бетон при температурах 60 и 90°C снижает призмную прочность на 35 и 21%. При температурах 200...400° призмная прочность увеличивается на 5...10%, а при нагревании бетона выше 400°C уменьшается, снижаясь при 600°C на 35% и при 700°C на 52%. Изменяются и деформативные свойства бетона. Так, при нагреве до 100 °С модуль упругости уменьшается на 30%, при 500°C – на 57%, а при 700°C – на 82%. Существенные изменения физико-механических свойств под влиянием высокой температуры происходят и у стальной арматуры. Воздействие высокой температуры на железобетонные конструкции приводит к резкому снижению сцепления арматуры с бетоном. При нагреве до 100°C сцепление гладкой арматуры с бетоном уменьшается на 25%, а при 450°C – сцепление нарушается полностью. Нагрев до 200°C железобетонных конструкций с горячекатаной арматурой периодического профиля

практически не снижает сцепления, но при более высоких температурах происходит снижение величины сцепления, которое достигает 25 % при 450 °С.

Значительные деформации стальных конструкций при температурах, превышающих 400°С, происходят одновременно с падением предела текучести стали. При возрастании температуры на каждые 100°С стальные элементы удлиняются на 1,3 мм/м, при условии, что удлинение происходит беспрепятственно. Так как обычно линейные деформации элементов ограничены узлами, опорами, заделками в стены и т. п., то на последние передаются большие распорные усилия. В результате происходят искривления, сдвиг или обрушение опорных, а вместе с тем и вышележащих конструкций.

Древесина начинает разрушаться при температуре 150°С, сначала наружные слои, потом разлагаются более глубокие слои. Самовозгорание древесины происходит при температуре более 270°С. Однако, при длительном нагреве даже до 90°С (обшивка бань, саун) возможно экзотермическое разложение древесины с выделением тепла и самоповышение температуры до 290°С. Зафиксированы случаи самовозгорания таких помещений. Скорость обгорания поверхности древесины 2,4...4,0 см/час. Деревянные перекрытия старой конструкции, состоящие из балок, наката из досок, глинистой стяжки, засыпки, нижней обшивки и штукатурки теряют несущую способность через 20...40 минут. Деревянные стойки разрушаются через 30 минут горения. Несгоревшая древесина сохраняет свою форму и прочность и не деформируется при тушении пожара. Если несущие конструкции защищены огнестойкими материалами, то при пожаре они длительное время сохраняют свои эксплуатационные качества. Поэтому при проектировании новых и реконструкции эксплуатируемых зданий необходимо проработать вопросы огнезащиты строительных конструкций, а также противопожарные мероприятия.

Строительные конструкции часто эксплуатируются в режимах попеременного замораживания и оттаивания, что может существенно сказаться на прочности материалов. Морозостойкость бетона определяется на образцах, вырезанных из конструкции по ГОСТ 10060–87, и другими лабораторными методами в специальных климатических камерах.

При отрицательных температурах основания под фундаменты, состоящие, в основном, из глинистых и пылеватых грунтов, мелких и среднезернистых песков промерзают, что может вызвать увеличение их объема – пучение грунтов. Происходит это потому, что в этих грунтах вода в связанном состоянии в капиллярах находится выше грунтовых вод, а при замерзании верхних слоев грунта происходит подсосывание воды из нижних слоев. При этом объем увеличивается и при температуре 22°С давление от льда достигает 20 Па, что вызывает разрушение фундаментов и вышележащих стен. При строительстве новых зданий вблизи существующих необходимы мероприятия, которые бы препятствовали увлажнению оснований существующих фундаментов при отрывке вблизи них новых котлованов, иначе произойдет их промерзание, и как следствие, деформации в здании. Каменные и бетонные конструкции, соприкасающиеся с воздухом или грунтом, часто увлажняются и промерзают. От этого в них возникают большие напряжения и трещины. Обычно эти конструкции выдерживают не более 100...300 циклов замораживания или оттаивания. Чем меньше пористость материала, тем сопротивление разрушению, т. е. морозостойкость конструкции, повышается. В условиях зимнего строительства не всегда выполняют достаточный прогрев бетона и растворов, что приводит к их низкой прочности, и после размораживания возможны деформации и даже обрушения.

Для металлических конструкций низкие температуры также неблагоприятны. Поэтому важно строгое выполнение требований СНиП по назначению

соответствующих марок сталей в зависимости от типов конструкций и температуры эксплуатации. Также важно выполнять конструктивные мероприятия, которые препятствовали бы хрупкому разрушению конструкций при низких температурах. К сожалению, были случаи, когда металлические конструкции, выполненные для южных районов, завозились на север и там разрушались еще до монтажа.

Деревянные конструкции при низких температурах и повышенной влажности испытывают большие напряжения, которые могут привести к возникновению и развитию трещин. Это можно наблюдать в чердачных помещениях: обрешетка и стропила намокают при некачественной кровле, а зимой промерзают. При этом доски растрескиваются, соединения в узлах и стыках ослабляются, и происходит деформирование элементов. Неблагоприятны низкие температуры к клееным конструкциям, выполненным с дефектами.

В несущих элементах строительных конструкций к наиболее типичным дефектам относятся трещины, которые являются следствием ошибок при проектировании, изготовлении и эксплуатации сооружений. В металлических конструкциях появление трещин в большинстве случаев определяется явлениями усталостного характера. Усталостные трещины часто обнаруживаются при обследованиях сосудов давления, подкрановых балок, высотных сооружений. Появление и медленное развитие трещин под действием нагрузки наблюдается в условиях коррозии. Температурные напряжения вызывают микротрещины в сварных швах. Образование трещин при постоянных напряжениях возможно при наличии дефектов структуры в зонах концентрации напряжений. В металлическом элементе конструкции при статическом нагружении трещины появляются при низких температурах или высокоскоростном нагружении. В этих случаях хрупкая трещина быстро развивается, и, обследуя такие конструкции, можно обнаружить уже не дефект–трещину, а полное разрушение элемента. Так как в строительстве используются конструкционные металлы, как правило, с хорошо выраженными пластическими свойствами, то при обследовании металлических конструкций трещины встречаются значительно реже, чем в железобетонных, кирпичных и каменных конструкциях. Во многих случаях для металлических конструкций, работающих на статическую нагрузку, обнаруженная трещина не несет в себе непосредственной опасности. Дальнейшее развитие трещины часто ограничивается перераспределением усилий и зоной остаточных сжимающих напряжений у ее вершины. Распространение такой трещины наблюдается только при больших перегрузках.

При обследовании железобетонных и кирпичных сооружений детальное исследование трещин в конструкциях является наиболее ответственным этапом. Сооружение без трещин встречается значительно реже, чем с трещинами. Если же рассмотрению подлежат и микро-трещины, то в этом случае отсутствие дефектов в бетоне и кирпиче – явление невозможное. Экспериментальные исследования показывают, что технологические трещины существуют в бетоне до нагружения, а образование новых силовых микротрещин происходит при небольших воздействиях нагрузок порядка 10% от расчетных. Полная классификация трещин в железобетонных элементах представляется задачей чрезвычайно сложной. Существуют классификации трещин по их геометрическим (длина, ширина раскрытия, глубина распространения) и статистическим параметрам (среднее и дисперсия числа трещин в единице объема), энергетическим показателям (суммарная поверхностная энергия), характерным стадиям процесса трещинообразования при постепенном увеличении нагрузки и др.

4. Оценка качества и состояния строительных материалов и соединений

Проверке подлежат главные параметры, характеризующие родом материала и соединениями и условиями их работы. Выполняемые при этом операции разделяются на следующие группы:

1) определение *физико-механических характеристик* – прочности, деформативности (в частности, значения модуля упругости), однородности, объемной плотности, влажности;

2) *дефектоскопия* материалов и соединений – нарушения сплошности (трещины, сколы, расслоения, пустоты и т. п.), посторонние включения, поражения коррозией, гнилью и т. п.;

3) *толщинометрия* – в основном для конструкций, доступных при измерениях лишь с одной стороны (когда без устройства отверстий не могут быть выполнены обычные геометрические замеры);

4) в отдельных случаях приходится, кроме того, проверять *химический состав* и структуру примененных материалов.

В результате произведенных измерений устанавливается марка или класс материала, т. е. оцениваются фактические физико-механические характеристики материала в данном сооружении, и проверяется состояние материала и соединений, а также соответствие их требованиям эксплуатации. При приемочных освидетельствованиях основной задачей является сопоставление проектных значений и действительных характеристик примененных материалов. При повторных освидетельствованиях, если они имеют место, выявляются изменения этих характеристик в условиях эксплуатации.

По *способу* проведения необходимых *исследований* и измерений применяемые методы могут быть отнесены к следующим основным группам:

1 – способы, связанные с *отбором образцов*, характерным для этой группы способов является нарушение сплошности материала, неизбежное при выемке образца даже самого незначительного размера;

2 – *неразрушающие методы*, когда все измерения проводятся непосредственно на объекте без повреждения его элементов;

3 – к *промежуточной группе* относятся методы, не требующие выемки каких-либо образцов, но все же в большей или меньшей степени оставляющие на объекте следы производственных операций (например, вмятины поверхности).

Отбор образцов для традиционных лабораторных испытаний. Взятие образцов материала производится для лабораторных испытаний. Отбор любого образца связан с ослаблением исследуемого элемента. Однако для массивных бетонных блоков извлечение образцов практически нечувствительно, т.к. образовавшиеся пустоты могут быть надежно заполнены бетоном. В металлических конструкциях вырезка даже небольших кусков металла из ответственных элементов весьма нежелательна и требует затем тщательной работы по восстановлению полной работоспособности ослабленных сечений.

С учетом трудностей, связанных с отбором образцов и заделкой повреждений, естественной является тенденция к всемерному ограничению числа отбираемых проб, а также стремление предоставлять для их отбора по возможности менее ответственные и даже второстепенные элементы и участки сооружения. Однако этим нарушается основная цель взятия образцов материала для исследования, поскольку наиболее существенным с точки зрения оценки работоспособности сооружения является состояние материала именно в *ответственных* элементах конструкций. С другой стороны, образцы, взятые из второстепенных элементов, могут оказаться не характерными для сооружения в целом, так как нередко в процессе строительства для

менее ответственных частей, в силу необходимости, используют и "случайные", имеющиеся под рукой, материалы, которые не могли бы быть применены для основных элементов.

Для получения сколько-нибудь исчерпывающего представления о работе всего сооружения в целом и для суждения об однотипности материала недостаточно единичных образцов, а требуется большее количество проб, взятых из десятков, а для крупных сооружений – и из сотен точек. Между тем извлечение такого количества образцов является трудоемкой задачей, выполнение которой не всегда может быть обеспечено в требуемые, обычно сжатые, сроки.

В то же время результаты испытаний образцов могут в отдельных случаях дать и не вполне правильное представление о состоянии материала непосредственно в сооружении. Расхождения могут быть вызваны повреждением материала образца в процессе его извлечения, а также изменением характеристик материала образца от момента его взятия до момента испытания. Несмотря на все эти недостатки, испытания образцов продолжают все же достаточно широко применяться, поскольку этот способ прост; проведение же самих испытаний в лабораторных условиях осуществляется в соответствии с указаниями действующих нормативных документов. Взятие образцов и отправка их для испытаний может производиться силами обычного техперсонала, без привлечения высококвалифицированных специалистов.

Отбор образцов металлических конструкций. Заготовки для образцов берутся обычно путем огневой резки. При разметке образцов для их последующей механической вырезки следует отступать не менее чем на 10 мм от грани заготовки для исключения образующейся при огневой резке зоны термического влияния с измененной структурой материала. Весьма перспективным является применение электроэрозионной резки, обеспечивающей возможность извлечения образцов любого очертания без последующей обработки кромок.

Для уменьшения ослабления сечения образцы обычно берутся минимальных размеров. Вырезки в элементах конструкции должны быть заполнены сваркой соответствующих вставок с усилением их, в случае необходимости, дополнительными накладками. Очень важно, чтобы остаточные напряжения сварки у вновь осуществляемых швов не ухудшали условий работы элементов и не создавали бы возможности появления в них хрупких трещин.

Отбор образцов бетона. В отличие от металла для бетона, как материала неоднородного с заполнителями разной крупности, затруднена возможность испытания на малых образцах. По ГОСТ 10180–78 размеры (длины ребер) кубиков для испытания на сжатие даже при наименьшей крупности заполнителя должны быть не менее 70,7 мм; балочки для испытания на изгиб должны иметь сечение от 100x100 мм при длине 400 мм и т.д. Выборка образцов такого размера может быть выполнена без нарушения работы элемента лишь в массивных бетонных и железобетонных конструкциях и блоках. В других случаях приходится прибегать к испытаниям нестандартных образцов с размерами, обусловленными сечениями исследуемых элементов. Основным затруднением при извлечении бетонных образцов является возможность их повреждения. Наилучшим способом является выбуривание бетонных цилиндров с помощью алмазных коронок. Разработаны передвижные станки для резки бетона (например, в плитах) с помощью кругов и дисков из синтетических алмазов. Можно пользоваться для той же цели стальными дисками и ленточными пилами, усиленными, например, наваркой крошки сверхтвердых сплавов. Значительно худшие результаты получаются при часто применявшемся ранее перфораторном бурении ввиду неизбежных при этом способе повреждений и нарушений сплошности наружного слоя бетона заготовок.

Пустоты, образовавшиеся в элементах сооружений после выемки заготовок для образцов, должны быть сразу же заделаны. Желательно применять для этой цели бетон на безусадочном цементе – во избежание появления трещин по поверхностям стыкования заполнения со старой кладкой. Если образцы, взятые из сооружения, испытываются не тотчас же после их извлечения, то приходится считаться с возможностью постепенного изменения физико-механических характеристик бетона образцов при их хранении. Известно, например, что в крупных блоках бетон внутри массива может по своим характеристикам, в том числе и по прочности, может отличаться от бетона наружных слоев того же массива. После извлечения из блока глубинного образца последний при хранении оказывается уже в других условиях, и его прочность может быстро возрасти. Образец перестает, следовательно, характеризовать состояние аналогичного материала, оставшегося в глубине сооружения. Основным требованием является скорейшее испытание бетонных образцов взятых из сооружения. Указанный недостаток в значительной степени устраняется при подготовке образцов бетона по способу, предложенному для дорожных, аэродромных и иных покрытий: в плите в процессе ее бетонирования устанавливаются металлические бездонные формы, смазанные техническим маслом для предупреждения сцепления их с бетоном. После твердения бетона формы извлекаются, а образовавшиеся зазоры заполняются песком.

Отбор образцов древесины. В деревянных конструкциях вырезка образцов для лабораторной проверки физико-механических характеристик, как правило, нецелесообразна. Следует учесть также, что несущая способность деревянных сооружений зависит не только от общих характеристик материала, но и от наличия или отсутствия дефектов и повреждений древесины и, в особенности, от ее загнивания. Для обнаружения же и оценки этих факторов требуются не лабораторные испытания, а внимательный осмотр. Если образцы для лабораторных испытаний все же будут взяты, то необходимо предохранить их от изменения влажности. Для этого сразу после взятия вырезанные заготовки древесины должны быть залиты слоем парафина или помещены в герметически закрытые сосуды или пакеты, исключающие возможность их высыхания. Места вырезки образцов должны быть надежно заделаны вставками на клею и накладками и, при необходимости, антисептированы.

5. Диагностика характерных дефектов

Причины аварий и повреждений сооружений. Уже на заре первобытного человечества люди сооружали жилища, мосты, культовые и другие сооружения не имея никакого представления о теориях расчетов и конструировании, не сознавая, что вступают в невидимый конфликт с силами природы, в первую очередь с силами гравитации, которые, воздействуя на конструкцию сооружения, создают в ней внутреннее сопротивление разрушению либо создают условия, приводящие со временем к деградации свойств строительных материалов и конструкций. Если конструкция была в состоянии противостоять этим силам, то строительство завершалось успешно. В противном случае происходили аварии, и даже катастрофы с большими материальными потерями и даже человеческими жертвами. Единственным руководством для строителей с первобытных времен вплоть до средневековья был опыт возведения различных сооружений накапливаемый и передаваемый из поколения в поколение. Опыт подсказывал возможность построения подобных или более крупных объектов, чем уже построенные, если они удовлетворительно выполняли свои функции, а примерами аварий предостерегал от повторения ошибочных решений при назначении формы и размеров конструкций, выборе материалов и определении условий их работы.

Наиболее успешно построенные сооружения дошли до нас в виде выдающихся памятников древнего зодчества.

Первым, известным (по документам и из Библии) случаем драматической развязки конфликта между замыслами человека и реальными возможностями, является обрушение Вавилонской башни. В начале нашей эры в Фидене обрушился амфитеатр, под обломками которого погибли многие тысячи человек. Аварии конструкций возникали по разным причинам на протяжении всей истории строительства. Случаются они и в настоящее время.

Так, например, в 1879 году, через 19 месяцев после начала эксплуатации, в Англии обрушился Тейский мост длиной 3,5 км, шириной 4,5 м. Мост был рассчитан на вертикальную нагрузку с двадцатикратным запасом прочности. Пролетные строения опрокинулись от воздействия горизонтальной ветровой нагрузки. Катастрофа послужила толчком для уточнения расчетов на ветровую нагрузку. В 1891 года также в Англии, у станции Норзуд обрушился железнодорожный чугунный мост пролетом 9 м, после эксплуатации в течение 31 года. Причиной аварии послужила хрупкость чугуна. После этой аварии чугун для строительства мостов не применяют. В 1905 году в Петербурге обрушился Египетский мост, когда по нему проезжала конница. Обрушение произошло в результате резонанса, порожденного ритмичным шагом большой массы конницы, в результате стали учитывать возможность возникновения резонанса.

В 1907 году произошло обрушение Квебекского моста в Канаде через реку Св. Лаврентия длиной 988 м, с главным пролетом 549 м. Обрушение произошло во время строительства. Из 86 работников погибло 75 человек. 28 января 1922 года в Вашингтоне обрушилось покрытие над зрительным залом кинотеатра «Никарбокар». Погиб 91 человек и 200 получили тяжелые ранения. Причиной аварии послужили перегрузка перекрытия снегом и низкая температура наружного воздуха, вызвавшие дополнительные сжимающие напряжения в верхних поясах стропильных ферм. Стали больше внимания уделять температурным воздействиям. В 1940 году в США обрушился узкий, гибкий висячий мост Такома Нерроуз через реку Такома длиной 1662 м, с главным пролетом 854 м (рис. 18). Обрушение произошло через 4 месяца после начала эксплуатации в течение 45 минут в результате больших динамических колебаний, вызванных ветром, имевшим скорость 18,8 м/с. В настоящее время динамический характер ветровых воздействий учитывается при проектировании мостов.

В 1956 году в Советском Союзе обрушилось покрытие меланжевого комбината. Причиной обрушения оказались перегрузка снегом и пылью, перепад температур в анкерных участках затяжек, а также нарушения, допущенные при производстве строительных работ. В 1957 году обрушилась железобетонная водонапорная башня. Причиной обрушения послужило применение в нижней части башни бетона невысокой прочности. В 1959 году обрушился силосный корпус зернового элеватора с квадратными ячейками, выполненный по типовому проекту. В 1961 году произошло обрушение типового силосного корпуса зернового элеватора с круглыми ячейками. Причинами аварий послужили отступления от норм и низкое качество бетона. В некоторых случаях аварии силосных корпусов не находили каких-либо разумных объяснений. В 1965 году в США разрушилось здание склада размером 350 x 42 м высотой 27 м с покрытием из трехшарнирных арок. Разрушение произошло в результате сдвига фундаментов, вызванного распором в опорах арок. Причиной аварии явилось неудачное проектное решение – не была предусмотрена установка затяжек в уровне опор арок.



Рис. 18. Висячий мост Такома Нерроуз через реку Такома: сверху – разрушение моста, снизу – тот же мост, усиленный фермами, обеспечившими жесткость плиты пролетного строения

Как видим, к авариям приводят разнообразные причины, которые возникают на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации объектов. Иногда они являются результатом недостаточного уровня знаний о работе конструкций, а иногда – халатности и недобросовестности строителей и эксплуатационников. Для устранения возможности возникновения аварий требуется длительное накопление опытных данных, а также повышение профессиональной подготовки специалистов. Увеличение надежности и улучшение конструктивных решений должно базироваться на опыте строительства и на научных исследованиях, имеющих многовековую историю.

Опыт обследования многих зданий и сооружений позволяет обобщить наиболее характерные дефекты, которые могут быть в конструкциях. Общими дефектами для зданий из разных материалов могут быть: не соответствующие проекту общие размеры и отметки, отсутствие температурных швов, несоблюдение требований пространственной жесткости зданий (отсутствие диафрагм или связей жесткости) и др. Ниже представлены часто встречающиеся дефекты в конструкциях стен и перекрытий, выполненных из разных материалов. Указанный перечень может служить напоминанием при обследовании, но не является окончательным – всеохватывающим. В каждой конкретной конструкции имеются свои дефекты и повреждения.

Характерные дефекты каменных конструкций: 1) отсутствие перевязки швов и

некачественная кладка; 2) трещины в каменной кладке; 3) насыщение влагой и промерзание; 4) расслоение и осыпание кладки, выпадение облицовочных плиток; 5) нарушение вертикальности стен и столбов; 6) отсутствие связей–анкеров с перекрытиями; 7) отсутствие арматурных сеток в простенках, арматуры в перемычках; 8) недостаточная прочность и морозостойкость кирпича и раствора; 9) недостаточная пространственная жесткость здания; недостаточное количество поперечных стен, отсутствуют связи и диафрагмы; 10) некачественная вертикальная и горизонтальная гидроизоляция в стенах подвала; 11) малый вынос карниза, что ведет к увлажнению стен; 12) механические повреждения от транспорта и др.

Характерные дефекты железобетонных конструкций: 1) отслоение защитного слоя бетона; 2) коррозия арматуры и закладных деталей; 3) отступление от проекта в армировании; несоответствие класса и диаметра шагов арматуры проектным; 4) трещины: усадочные, температурные, осадочные и деформационные; 5) негерметичность стыков панелей, раскрытие их; 6) низкая прочность бетона по сравнению с проектом; 7) увлажнение и промерзание стеновых панелей; 8) нарушение сцепления бетона и арматуры, например, после пропитки маслами; 9) коррозия поверхности бетона от агрессивности среды, воды и ветра; 10) механические повреждения и износ от истирания; 11) недопустимые прогибы, крены и горизонтальные отклонения; 12) изъяны, раковины, пустоты в бетоне, связанные с расслоением бетонной смеси, неправильным подбором состава бетона; 13) недостаточная площадь опирания конструкций; 14) некачественное выполнение сварных соединений.

Характерные дефекты металлических конструкций: 1) искривления стержневых элементов; 2) выпучивание полок и стенок составных сечений балок и колонн; 3) коррозия элементов и соединений; 4) трещины всех видов; 5) пересечения или примыкания сварных швов друг к другу; 6) резкие перепады сечений элементов; 7) прикрепление узловых фасонок к поясам ферм прерывистыми швами; 8) входящие углы в деталях; 9) дефекты сварных швов (отсутствие подварки корня шва, наплывы, прожоги, перерывы, неполное проплавление, шлаковые включения, поры, трещины, незаваренные кратеры, зарубки, надрезы); 10) отсутствие плавного перехода от металла сварного шва к основному металлу в конструкциях, воспринимающих динамические нагрузки.

Характерные дефекты деревянных конструкций: 1) недопустимые деформации и потеря устойчивости элементов; 2) гниение и поражение древесины жуками-точильщиками и другими насекомыми, грибами; 3) трещины вследствие низкого качества древесины; 4) ослабление сечений при строительстве и механические повреждения (запилы, зарубы, смятия) при эксплуатации; 5) расстройство сопряжений или отсутствие крепежных деталей; 6) необоснованное удаление каких-либо элементов конструкций; 7) наличие пороков древесины (сучков, трещин и т. д.); 8) повреждения от повышенной температуры и огня (температура должна быть меньше 50°C в неклееных и 35°C в клееных конструкциях); 9) коррозия металлических деталей деревянных конструкций и их деформирование; 10) коррозия древесины от агрессивных сред (аммиак, хлор, окислы азота, сероводород и др.); 11) усушка, разбухание и коробление при неблагоприятном температурно-влажностном режиме и отсутствии проветривания; 12) ослабление клеевых, гвоздевых и других видов соединений; 13) истираемость поверхности при эксплуатации; 14) отсутствие или разрушение связевых элементов.

Характерные дефекты предварительно напряженных конструкций: 1) непроектная величина предварительного напряжения (чаще недостаточная); 2) плохая анкеровка концов затяжек в металлических и деревянных и арматуры в

железобетонных конструкциях; 3) некачественное инъектирование каналов и заделка стыков монтажных элементов; 4) трещины в зоне анкеровки предварительно напряженной арматуры в железобетонных конструкциях; 5) вертикальные трещины в пролетных участках железобетонных балок и плит и в деревянных конструкциях; 6) коррозия арматуры, затяжек и конструкций в целом, вызванная агрессивностью среды; 7) недостаточная прочность материалов, из которых изготовлены конструкции; 8) механические повреждения в период транспортирования и монтажа конструкций; 9) нарушение технологии предварительного напряжения конструкций, например, приложение усилий преднапряжения на бетон с малой прочностью, неодновременное натяжение парных затяжек и т. д.; 10) разрушение защитных покрытий; 11) недопустимые деформации конструкций.

Выявить действительную причину возникновения трещин в несущей конструкции достаточно сложно. Они могут возникнуть в период изготовления конструкции, при ее транспортировке, при монтаже или, чаще всего, при эксплуатации объекта. Остановимся на наиболее характерных причинах, вызывающих появление трещин в различных конструкциях: 1). Перегрузка конструкции, вызывающая перенапряжение элементов и сечений или большие деформации. 2). Местная перегрузка участков или сечений конструкций от сосредоточенных сил, передающихся на небольшую зону конструкции. Например, опора балки загружает кирпичную пилястру без распределительной опорной подушки. 3). Усадка материалов, например бетона или древесины при высокой температуре и малой влажности, особенно, в период изготовления. 4). Отсутствие температурных швов в здании. 5). Осадки, просадки, пучение, оползни грунтов основания под фундаментами. 6). Нарушение сцепления арматуры с бетоном или связи в других композиционных материалах. 7). Коррозия арматуры в железобетонных конструкциях. 8). Пожары и другие резкие перепады температуры, в том числе полив раскаленных конструкций водой. 9). Низкая прочность материалов. Механические повреждения. 10). Неправильное армирование конструкций: большой шаг стержней, недостаточная анкеровка и т. д. 11). Многократные намокания и промерзания конструкций. Попадания воды в каналы конструкций с последующим ее замерзанием, например в многопустотные плиты перекрытий. 12). Неправильное выполнение соединений: сварных швов, болтов, заклепок, нагелей и т. д. 13). Усталость материала, способствующая приобретению хрупких свойств, например в пластмассах. 14) Коррозионное растрескивание в агрессивной среде или при высокой температуре. 15). Динамические воздействия, вибрации, колебания, удары, взрывы и т. д. 16). Резкие перепады сечений в конструкциях, вырезы, отверстия. 17). Биологическое повреждение за счет попадания в щели и роста семян трав, кустарников; попадания в поры микроорганизмов и грибов.

Для каждой конкретной конструкции необходимо определить причину или возможное сочетание указанных выше причин возникновения трещин и принять необходимые конструктивные меры. Отметим, что причинами возникновения дефектов и аварий могут быть некачественное проектирование, изготовление и монтаж конструкций, неправильная эксплуатация, а также внешние воздействия среды, стихийные бедствия теракты и боевые действия. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся причины.

Ошибки при проектировании: 1) неудачно выбранная расчетная схема всего здания или отдельных конструкций, полностью или частично несоответствующая действительной работе здания; 2) проектирование здания без достоверных или неполных геологических или гидрогеологических исследований грунтов основания; 3) недоучет или занижение сочетаний расчетных нагрузок и других воздействий (перепада температур, динамики, осадок опор и т. д.); 4) недостаточная прочность,

устойчивость и жесткость запроектированной конструкции из-за ошибочного расчета, недоучета требований СНиП; 5) ошибки в назначении марок стали, классов бетона и арматуры и других характеристик материалов; 6) неправильное размещение связей и жестких диафрагм; 7) неудачные технологичные решения конструкций, узлов и соединений; 8) применение недолговечных материалов. Отсутствие указаний по защите конструкций от коррозии; 9) отсутствие авторского и технического контроля за выполнением строительных работ; 10) малая глубина заложения фундаментов; 11) отсутствие учета влияния новых фундаментов пристраиваемых зданий на существующие.

Ошибки в процессе строительства: 1) неправильная геодезическая разбивка осей, несоблюдение вертикальности стен, колонн и т. д.; 2) отступления от правил производства работ в период строительства, особенно в зимний период; 3) применение некачественных материалов или неудачная замена арматуры или профилей, классов стали и бетона; 4) несвоевременная постановка связей; 5) несоблюдение технологий бетонных работ, толщины защитного слоя бетона, расстояний между стержнями; 6) некачественное выполнение соединений на сварке, болтах, заклепках и клее; 7) перегрузка конструкций увеличенной массой элементов (слоев) по сравнению с проектом; 8) плохая антикоррозийная защита металлических элементов, стыков, закладных деталей и т. д.; 9) пропуск деформационных швов, отсутствие гидроизоляции и др.

Неправильная эксплуатация конструкций: 1) отсутствие периодического осмотра и профилактических ремонтов конструкций и защиты их от коррозии; 2) перегрузка конструкций оборудованием, снегом и пылью. Настилка новых конструктивных слоев, внеузловая подвеска к фермам коробов и трубопроводов во время ремонтов; 3) устройство непредусмотренных проектом отверстий в несущих конструкциях, разрезка профилей и арматуры и т. д.; 4) пролив жидкостей, кислот, масел на несущие конструкции; 5) попадание атмосферной и технической воды и замачивание грунтов основания; 6) выемка грунтов вблизи существующих фундаментов. Их замачивание и промерзание; 7) промерзание стен, фундаментов, грунтов основания.

Внешние воздействия: 1) температура, осадки, воздушный поток, радиация; 2) газы, химические вещества; 3) биологические вредители; 4) шум, звуковые колебания, вибрации; 5) землетрясения, ураганы, наводнения; 6) блуждающие токи; 7) оползни, морозное пучение грунтов; 8) боевые действия и теракты.

III. СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1. Обследование оснований и фундаментов зданий и сооружений

При обследовании зданий и сооружений, подлежащих реконструкции, должна быть установлена несущая способность оснований и фундаментов. В целом работы по обследованию предусматривают выполнение инженерно-геологических и гидрогеологических исследований площадки застройки, инженерно-геологическое обследование грунтов оснований и инженерное обследование состояния фундаментов. Обследования оснований должны выполняться в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01–83.

Инженерно-геологические обследования грунтов основания и собственно фундаментов производят при отсутствии рабочих чертежей и исполнительных документов по возведению фундаментов, а также в случаях, когда обследованием

надземных конструкций зданий и сооружений обнаружены деформации, причиной появления которых могут быть неравномерные осадки основания. Кроме того, такие обследования производят в случаях, когда реконструкцией предусматривается увеличение или изменение характера нагрузки, перестройка с устройством подвальных помещений, сооружение вблизи существующих зданий новых, изменение технологического процесса, связанного с воздействием на фундаменты агрессивных жидкостей, повышенных или пониженных температур и т. д.

При обследовании оснований – грунтов, залегающих под фундаментами и воспринимающих от них нагрузку, необходимо обратить внимание на характеристики грунтов. Нужно изучить проектно-изыскательские материалы, акты на скрытые работы при проведении фундаментов, выявить характер грунтов, степень их пучинистости или просадочности, глубину промерзания, уровень грунтовых вод. Эти обследования производят с помощью открытых шурфов, количество и место расположения которых определяются в каждом конкретном случае. Проходку шурфов по одному – два осуществляют у каждого вида конструкции в наиболее нагруженном и ненагруженном участках, у наружных и внутренних стен, колонн, фундаментов под оборудование и др. Шурфы обязательно отрывают вблизи продеформировавшихся конструкций, а также на участках, выделенных под проектирование пристроек к зданиям, надстроек, и в местах предполагаемого существенного повышения нагрузок. Следует обратить внимание на недопустимость подтопления через шурфы оснований вскрытых фундаментов и их промерзания. После завершения работ по обследованию оснований и фундаментов шурфы необходимо засыпать послойной укладкой грунта с трамбованием и восстановить нарушенные водозащитные изоляционные покрытия. При отсутствии рабочей документации на основания и фундаменты количество, глубина и расположение в плане шурфов должно быть достаточным для составления планов и разрезов фундаментов и установления несущей способности оснований. Если имеется проектная исполнительная документация на основания и фундаменты, а строительные конструкции находятся в удовлетворительном состоянии, то допустимо выполнять только контрольное шурфирование. Глубину шурфов устанавливают, как правило, не менее 0,5...1,0 м ниже подошвы фундамента.

Различают грунты: нормальные, пучинистые и просадочные. При нормальных грунтах равномерная и небольшая осадка не вызывает деформации зданий. Опасными для здания являются пучинистые грунты (глинистые и пылеватые грунты), которые при увлажнении и промерзании увеличиваются в объеме на 10%. Под воздействием сил кристаллизации льда находящейся в грунте воды, они передают нормальные силы снизу вверх на подошву фундамента и касательные силы при смерзании пучинистых фунтов с поверхностями фундаментов и стен подвала. Нормальные силы пучения N_H , действующие на подошву фундаментов можно определить по следующей приближенной формуле:

$$N_H = mEA_n h_1,$$

где: n – коэффициент перегрузки, равный 1,1; R – эмпирический коэффициент, принимаемый 0,06 кг/см²; A_n – площадь подошвы фундамента; h_1 – высота мерзлого слоя грунта, см.

Если есть защита грунтов от избыточного увлажнения и промерзания (отмостки, теплозащитные подушки) и масса вышележащих конструкций превышает силы пучения, то разрушения фундаментов и стен здания не происходит. Промерзание грунта также опасно при последующем оттаивании грунтов и неравномерной осадке фундаментов. Причиной деформаций зданий могут также быть повреждения инженер-

ных коммуникаций, из которых агрессивные воды попадают в грунты. Плохое качество гидроизоляции также вызывает коррозию стен фундаментов. При высоком уровне грунтовых вод и отсутствии дренажа конструкции фундаментов и стены подвала находятся в воде, зачастую агрессивной, что вызывает их разрушение. В водном бассейне находится и грунт основания, возможна фильтрация и перемещение грунта из-под фундаментов. Разработка вблизи зданий котлованов изменяет влажностный режим фунтов и уровень фунтовых вод. Это вызывает деформацию грунтов и, как следствие, трещины в фундаментах и стенах здания.

После определения типа и конструкции, размеров и глубины заложения, наличия и вида гидроизоляции устанавливают физико-механические и физико-химические характеристики материала фундаментов известными методами (см; табл. 1). При этом выявляют дефекты, повреждения, отступления от проекта. При обследовании свайных фундаментов устанавливают их диаметр, количество и глубину, которую можно определить как шурфованием, так и геофизическими методами. В процессе обследования грунтов в шурфах используют *неразрушающие* и *экспресс-методы*. Так, модуль деформации и прочность при одноосном сжатии могут быть определены на грунтовых образцах *электронно-акустическим методом*, суть которого заключается в определении скорости распространения акустического импульса в грунте, и по известным зависимостям в вычислении деформативно-прочностных характеристик. Плотность и пористость грунтов можно установить, пользуясь тарировочными кривыми по данным замеров интенсивности гамма- или нейтронного излучения импульсов.

Лабораторные испытания проводят с целью определения физико-механических характеристик грунтов с нарушенной и ненарушенной структурой: удельного веса, плотности, влажности, сопротивления грунта срезу, сжимаемости; для просадочных грунтов – коэффициента просадочности. Опытном обследовании оснований под эксплуатируемыми зданиями установлено, что в зависимости от вида грунтов и их влажности за счет опрессовки оснований нормативное сопротивление возрастает до 25%. При этом, исследуя пробы грунтов, взятых непосредственно в основании существующих сооружений, необходимо учитывать действительное напряженное состояние грунтов, а также условия их дальнейшей эксплуатации.

Нормальные и касательные напряжения на контакте фундаментов, а также других конструкций подземных сооружений и грунта можно определить с помощью мессдоз различного типа: мембранно-балочного, мембранного, струнного и др. При анализе результатов обследований оснований и фундаментов необходимо руководствоваться требованиями глав СНиП 2.02.01–83 «Основания зданий и сооружений», СНиП 3.02.01–83 «Основания и фундаменты», СНиП 2.02.03–85 «Свайные фундаменты».

Фундаменты разрушаются при действии агрессивных грунтовых вод, насыщенных щелочными, сульфатными и другими химическими веществами. При этом отслаивается защитный слой бетона и корродирует арматура. Колебания и разрушения фундаментов вызывают динамические нагрузки от технологического и подъемно-транспортного оборудования. Под воздействием блуждающих токов происходит электрохимическая коррозия арматуры в бетоне. При этом разрушается защитный слой бетона и если коррозия арматуры достигла своего предела, то следует авария. Воздействие смазочных материалов (масел) на фундамент снижает его прочность за счет интенсивного ослабления сцепления арматуры с бетоном.

Причиной разрушения фундаментов могут быть: нарушение режима работы технологического оборудования, неучтенные при проектировании сочетания нагрузок и, особенно, влияние динамических нагрузок. Полная или частичная утрата надежности

системы «основание фундамент» называется *отказом*. Различают признаки отказов оснований и фундаментов:

– *явные*: вызывают полное обрушение здания или отдельных его конструкций, недопустимые крены, провалы и обвалы, выход из строя оборудования;

– *неявные*: осадки, просадки, подъемы, трещины в фундаментах и стенах, искривления и деформации элементов, отслоение и коррозия арматуры, нарушение вертикальности стыков и сопряжений элементов. Неявные признаки являются сигналом для принятия необходимых мер, иначе последуют явные признаки.

Существует несколько видов дефектов фундаментов:

1) расслоение кладки фундамента вследствие недостаточной перевязки швов каменной кладки и недостаточной прочности;

2) разрушение фундамента от воздействия агрессивной среды в грунте и применения нестойких к агрессии материалов;

3) разрыв фундамента по сечению вследствие морозного пучения грунта и неправильного конструирования (малой прочности материала фундамента и швов);

4) трещины в плите фундамента от недостаточных размеров или увеличения нагрузки на фундамент, а также увлажнения основания;

5) просадка фундамента при слабых грунтах (просадочных, плывунах) или недостаточном уплотнении грунта, малом заложении фундамента и изменении уровня грунтовых вод.

Характерные повреждения оснований фундаментов и грунтов, снижение их несущей способности вызваны ошибками при изысканиях и проектировании, недостаточным уходом в процессе строительства и подтопления основания грунтовыми, атмосферными и технологическим водами, а также срезки грунта вдоль здания или отрывке ям вблизи котлована.

2. Диагностика стен, перекрытий и покрытий здания

Обследование начинают с выявления конструктивной схемы здания, назначения стен (ограждающая, несущая, самонесущая), прочностных характеристик материала, типов соединения стен (стеновых панелей) с другими несущими конструкциями: фундаментами, колоннами, перекрытиями и т. д. С помощью геодезических приборов определяют отклонения стен от вертикали, местные выпучивания, горизонтальность стыков и швов. Измеряют толщину швов стыков и трещин. Относительные горизонтальные отклонения (к высоте этажа) для кирпичных и железобетонных стен не должны превышать 1/500, облицованных естественным камнем 1/700, витражи 1/1000. Влажность материала стен находят отбором проб из разных слоев конструкции стен, в случае ее многослойности. Пробы нумеруют, взвешивают и помещают в термостат, где они высушиваются при температуре $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ до постоянного веса. Влажность определяют по формуле:

$$W = (q_1 - q) 100 / q,$$

где: q_1 – вес отобранной пробы; q – вес пробы, высушенной до постоянного веса.

Сравнивают влажность стенового материала с допускаемой по нормам. Для определения пустот и трещин в конструкции стены применяют ультразвуковой прибор УКБ–1. Прочность стен, как уже отмечалось, определяют с помощью молотков Физделя, Кашкарова, УКБ–1 и т. д., или взятием проб и их испытанием в лабораториях.

Стеновые панели, как правило, армированы сетками и каркасами, в них имеются закладные детали. Поэтому их обследуют как железобетонные конструкции с

определением защитного слоя бетона, расположения и диаметра арматуры и т. д. Используют приборы ИСМ и ИЗС. Состояние арматуры и закладных деталей выявляют вскрытием не менее чем в трех местах. Тщательно обследуют простенки и перемышечные участки стен. Наиболее опасны горизонтальные трещины в простенках и вертикальные в перемышках. Трещины могут возникать от разных факторов: от перепада температуры, осадок фундаментов, усадки бетона, перенапряжения и т. д. Необходимо выявить, старые ли это трещины (пассивные), которые можно сразу заделать, или это активные развивающиеся трещины. Для этого устанавливают маяки на стену, очищенную от облицовки или штукатурки. На каждой трещине устанавливают по два маяка: в зоне наибольшего раскрытия и в конце. При обследовании деревянных стен или обшивки обязательно определяют влажность древесины и засыпок; выявляют степень зараженности гнилью, грибами, жучками и т. д. Отбирают из увлажненных мест образцы 10x5x1 см и направляют на микробиологический анализ. При обследовании стен с металлическим каркасом и обшивкой определяют степень коррозии, плотность и состояние всех видов соединений. Особенно следует обратить внимание на состояние стен здания, находящихся на склонах или вблизи их, так как из-за возможных оползневых подвижек грунта появляется опасность нарушения устойчивости и прочности конструкций здания.

При обследовании конструкций междуэтажных перекрытий следует определять, в первую очередь, тип перекрытия: с балками или безбалочное, монолитное или сборное, однопролетное или многопролетно-неразрезное, железобетонное, деревянное, металлическое или смешанное. Также необходимо уточнить характер опирания панелей и балок на стены и колонны: шарнирное, жесткое или жесткоупругое; уточнить конструкцию пола и подвесного потолка и все виды нагрузок, действующих на перекрытия. В зависимости от материала несущих конструкций перекрытия необходимо провести мероприятия по определению их прочностных свойств, выявить дефекты в элементах и соединениях: степень коррозии, отклонения от геометрических размеров и наличие трещин. Возможно их увеличение (уточняют установкой маяков из гипса или цемента). Замерить прогибы плит и балок в трех точках: на опорах и в середине пролета и найти разность отметок опирания концов балок можно с помощью нивелиров с оптической насадкой и реек со светящейся шкалой. Следует обратить внимание на состояние опорных частей балок, столиков колонн, закладных деталей, их анкеровки. Предельно допустимые прогибы определяют по нормам. Например, для традиционных железобетонных плит пролетом l до 6 м предельный прогиб $1/200l$, для металлических: главных балок $-1/400l$, прочих балок $-1/250l$, настила $-1/150l$. При наличии оштукатуренных потолков прогиб балок перекрытий только от кратковременной нагрузки не должен превышать $1/350l$, так как при больших деформациях штукатурка осыпается.

Ширина раскрытия трещин в железобетонных конструкциях также ограничена требованиями СНиП в зависимости от агрессивности среды. Поэтому надо обратить внимание в помещениях на проливы масел, кислот и щелочей на пол. Они вызывают как коррозию бетона, так и нарушение сцепления его с арматурой. В деревянных перекрытиях особенно уязвимы опорные узлы балок, заделанные в кирпичные стены. От сырости они разрушаются и поражаются грибами. Древесина, как материал органического происхождения, представляет собой питательную среду для многих видов фибков и насекомых. Гниение является результатом жизнедеятельности дереворазрушающих, плесневых и деревоокрашивающих грибов. Споры грибов особенно жизнеспособны при повышенной влажности более 40% и невысокой положительной температуре (до 50°C). При гниении древесина разлагается и раз-

рушается, твердость гнилой древесины в 15...30 раз меньше, чем здоровой. Гнилая древесина должна заменяться.

Участки, пораженные гнилью, особенно от плохой вентиляции конструкций пола и чердака, можно выявить зачастую только при вскрытии – снятии досок, очистке от засыпок изоляционных материалов и стяжек несущих балок и откола от них щепок для лабораторных испытаний. Клееные деревянные конструкции более стойкие и надежны в эксплуатации. Обследование послевоенных объектов показало, что большинство из них находятся в хорошем состоянии. Для изготовления этих конструкций были использованы фенолформальдегидные и казеиноцементные клеи, запрессовка осуществлялась в прессах и гвоздевым прижимом. Однако на ряде объектов, в местах водостоков и вентиляционных отверстий наблюдаются трещины и расслоения клееных конструкций. А в сочетании с некачественным изготовлением на заводе вызывает обрушение конструкций.

3. Особенности обследования промышленных зданий с мостовыми кранами

Особенностью промышленных зданий является требование бесперебойной работы, так как остановка производства на один день может принести убытки, эквивалентные 15...20% стоимости самих зданий. Другой особенностью являются крановые динамические нагрузки. Воздействие колес крана на подкрановые конструкции вызывает их частые повреждения, особенно при тяжелых режимах работы. Влияние высоких температур, загазованность и влажностная среда, низкие зимние температуры для неутепленных цехов и эстакад также ухудшают состояние конструкций. Интенсивность поражения коррозией достигает 0,05...1,6 мм в год. Скорость коррозии свыше 0,1 мм в год считается опасной, так как конструкции быстро выходят из строя. Довольно часто подкрановые конструкции подвергаются механическим воздействиям: ударам грузов, мостовых кранов, завалочных машин, технологического оборудования и транспорта. Иногда искривляют элементы конструкций подвешиванием блоков для подъема ремонтируемого оборудования. Бывают случаи вырезания раскосов ферм, отверстий в балках для пропуска трубопроводов и коробов. Наблюдений и ухода за конструкциями на заводах зачастую нет или они поручаются неквалифицированным людям.

Причиной разрушения подкрановых конструкций (подкрановых и тормозных балок, рельсов и колонн) является также перекося мостового крана, т. е. расположение его главных балок или ферм не перпендикулярно рельсам. Перекося вызывают большие боковые динамические силы на рельсы и их искривление. Осадки фундаментов и колонн также приводят к деформированию путей крана и по вертикали, расшатыванию всех узлов соединений. Поскольку горизонтальные силы передаются на рельсы и верхний пояс подкрановых балок, последний находится в очень тяжелом состоянии. Это вызывает появление трещин в поясных швах сварных балок и у ребер жесткости, расшатывание или срезку заклепок в клепаных балках.

В прессовом цехе завода бурового оборудования от больших динамических ударных нагрузок срезало заклепки в верхнем трехслойном поясе коробчатой металлической подкрановой балки пролетом 14 м, расположенной в зоне пресса. Остальные балки, эксплуатируемые более семидесяти лет, находятся в удовлетворительном состоянии, так как они не подвергались таким большим ударным воздействиям, передающимся через кран от мощного 600 тонного пресса. Наиболее повреждаемая часть балок торцевая. Это вызвано, в том числе, и низким качеством сварных швов в этих зонах и неудачными конструктивными решениями узлов сопряжения балок с колоннами. Интенсивность крановых воздействий на несущие

конструкции определяется грузоподъемностью и режимом работы крана. Принята классификация режимов работы кранов Госгортехнадзором в «Правилах устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов», а также группах режимов по ГОСТ 25546–82 (табл. 8).

Таблица 8.

Характеристики режимов работы кранов

Режим	Группа	Коэффициент нагружения, K_p
Легкий (Л)	2К – 3К	0,0001
Средний (С)	2К – 3К	0,0001...0,01
Тяжелый (Т)	7К	0,01...0,1
Весьма тяжелый (ВТ)	8К	0,1...1,0

Коэффициент нагружения K_p характеризует степень полной загрузки несущей конструкции в период ее эксплуатации. Интенсивность температурных воздействий зависит от типа здания, его габаритов, системы вентиляции и мощности источников тепловыделения. По интенсивности нагрева конструкций технологические температурные воздействия делятся на три типа: слабые – нагрев до 100 °С; средние – нагрев до 200 °С; сильные – нагрев свыше 200 °С.

Для промышленных зданий и сооружений, испытывающих большие динамические воздействия, необходимо определить амплитуды, частоты и формы вынужденных колебаний, частоты собственных колебаний, а также повреждения, вызываемые вибрацией. Результатами воздействия вибраций могут быть повышенные и неравномерные осадки фундаментов и трещины в надземных конструкциях, большие смещения конструкций и оборудования, выпадение стекол, отслоение штукатурки, нарушение связей и соединений, отрыв закладных деталей и т. д.

4. Методика диагностики бетонных и железобетонных конструкций

При обследовании бетонных и железобетонных конструкций реконструируемых зданий и сооружений следует учитывать требования СНиП 2.03.01–84 «Бетонные и железобетонные конструкции». Согласно действующим в настоящее время принципам проектирования и расчета несущих конструкций по предельным состояниям при обследовании все обнаруженные дефекты (отклонения от нормативных требований) необходимо разделять на следующие типы: дефекты, указывающие на угрозу снижения или необеспечения несущей способности; дефекты, недопустимые с позиций пригодности конструкций к нормальной эксплуатации.

При этом необходимо иметь в виду, что одни и те же дефекты могут указывать на неудовлетворение, как по несущей способности, так и по пригодности к эксплуатации. Например, ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси изгибаемого элемента (без предварительного напряжения), в растянутой зоне $a_{crc} \gg 0,4$ мм свидетельствует о превышении требований по второй группе предельных состояний, ограничивающих ширину раскрытия величиной $a_{crc} \leq 0,3$ мм, и одновременно указывает на возможность достижения предела текучести арматурной стали А –

II, что сопряжено с потерей несущей способности элемента.

Одним из наиболее характерных дефектов бетонных и железобетонных конструкций являются трещины. В соответствии с требованиями СНиП 2.03.01–84 в зависимости от категории трещиностойкости, связанной с условиями эксплуатации, видом (классом) арматуры, напряженным состоянием сечений (растяжение, сжатие) и продолжительностью раскрытия, предельно допустимая ширина раскрытия трещин в условиях неагрессивной среды колеблется от $a_{crc} \leq 0,1$ мм до $a_{crc} \leq 0,4$ мм. Для 1-й категории трещиностойкости образование трещин вообще не допускается. Следует различать трещины, появление которых вызвано напряжениями, проявившимися в железобетонных конструкциях в процессе изготовления, транспортировки и монтажа, и трещины, обусловленные эксплуатационными нагрузками и воздействием окружающей среды.

К трещинам, появившимся в доэксплуатационный период, относятся: усадочные трещины, вызванные быстрым высыханием поверхностного слоя бетона и сокращением объема, а также трещины от набухания бетона; трещины, вызванные неравномерным охлаждением бетона; трещины, вызванные большим гидратационным нагревом при твердении бетона в массивных конструкциях; трещины технологического происхождения, возникшие в сборных железобетонных элементах в процессе изготовления, доля которых в общем количестве дефектов в сборных железобетонных конструкциях достигает 60 %; трещины в сборных железобетонных элементах силового происхождения, вызванные неправильным складированием, транспортировкой и монтажом, при которых конструкции подвергались силовым воздействиям от собственного веса по схемам, не предусмотренным проектом.

Трещины, появившиеся в эксплуатационный период, можно разделить на следующие виды: трещины, возникшие в результате температурных деформаций из-за нарушений требований устройства температурных швов или неправильности расчета статически неопределимой системы па температурные воздействия; трещины, вызванные неравномерностью осадок грунтового основания, что может быть связано с нарушением требований устройства осадочных деформационных швов, аварийным замачиванием грунтов, проведением земляных работ в непосредственной близости от фундаментов без обеспечения специальных мер; трещины, обусловленные силовыми воздействиями, превышающими способность железобетонных элементов воспринимать растягивающие напряжения.

Трещины силового характера необходимо анализировать с точки зрения напряженно-деформированного состояния железобетонной конструкции. Так, в изгибаемых элементах, работающих по балочной схеме, возникают трещины, перпендикулярные (нормальные) продольной оси, вследствие появления растягивающих напряжений в зоне действия максимальных изгибающих моментов, и трещины, наклонные к продольной оси, вызванные главными растягивающими напряжениями в зоне действия существенных перерезывающих сил и изгибающих моментов (рис. 19). Нормальные трещины имеют максимальную ширину раскрытия в крайних растянутых волокнах сечения элемента. Наклонные трещины начинают раскрываться в средней части боковых граней элемента – в зоне действия максимальных касательных напряжений, а затем развиваются в сторону растянутой грани. Раздробление бетона сжатой зоны сечений изгибаемых элементов указывает на исчерпание несущей способности конструкции. Характерно развитие трещин силового происхождения на нижней растянутой поверхности плит с различным соотношением сторон (рис. 20). При этом бетон сжатой зоны может быть не нарушен. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты. Появление продольных трещин вдоль арматуры (рис. 21) в сжатых элементах свидетельствует о

разрушениях, связанных с потерей устойчивости (выпучиванием) продольной сжатой арматуры из-за недостаточного количества поперечной (косвенной) арматуры. Вообще же дефекты в виде трещин и отслоения бетона вдоль арматуры железобетонных элементов могут быть вызваны и коррозионным разрушением арматуры. В этих случаях происходит нарушение сцепления продольной и поперечной арматуры с бетоном. Нарушение сцепления арматуры с бетоном за счет коррозии можно установить простукиванием поверхности бетона, при этом прослушиваются пустоты.

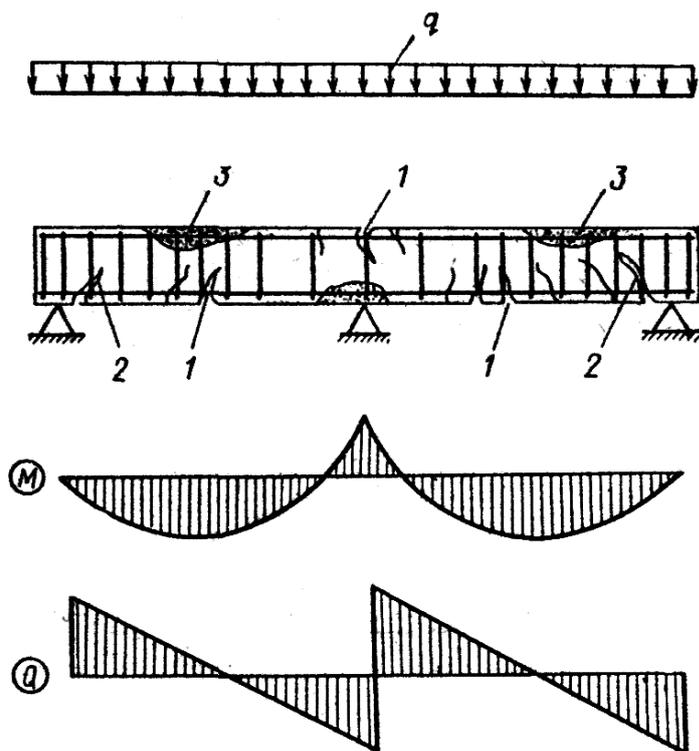


Рис. 19.
Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах, работающих по балочной схеме:
1 – нормальные трещины в зоне максимального изгибающего момента;
2 – наклонные трещины в зоне максимальной поперечной силы;
3 – трещины и раздробление бетона в сжатой зоне элемента

Продольные трещины вдоль арматуры с нарушением сцепления ее с бетоном могут быть вызваны и температурными напряжениями при эксплуатации конструкций с систематическим нагревом свыше 300°C или после действия пожара. Появление в изгибаемых элементах поперечной, практически перпендикулярной продольной оси элемента трещины, проходящей через все сечение (рис. 22), может быть связано с воздействием дополнительного изгибающего момента в горизонтальной плоскости, перпендикулярной плоскости действия основного изгибающего момента (например, от горизонтальных сил в подкрановых балках). Такой же характер имеют трещины и в растянутых железобетонных элементах, но при этом трещины просматриваются на всех гранях элемента, опоясывают его.

Необходимо обращать внимание на трещины, обнаруженные на опорных участках у торцов железобетонных конструкций. Трещины у торцов предварительно напряженных элементов, ориентированные вдоль арматуры, указывают на нарушение анкеровки арматуры. Об этом же свидетельствуют и наклонные трещины в приопорных участках, пересекающие зону расположения предварительно напряженной арматуры и распространяющиеся на нижнюю грань края опоры (рис. 23). Элементы решетки раскосных железобетонных ферм, как известно, могут испытывать сжатие, растяжение, а в опорных узлах – действие перерезывающих сил.

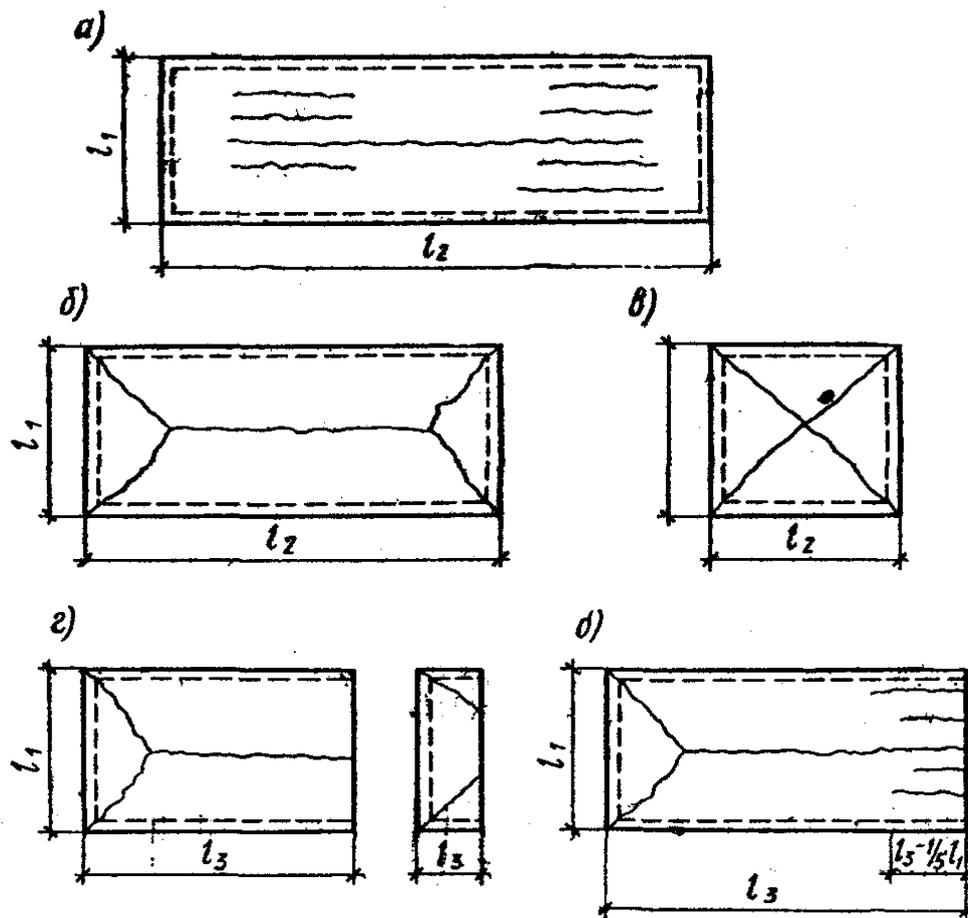


Рис. 20. Характерные трещины по нижней поверхности плит: а – работающих по балочной схеме при $l_2/l_1 \geq 3$; б – опертых по контуру при $l_2/l_1 < 3$; в – то же, при $l_2/l_1 = 1$; г – опертых по трем сторонам при $l_2/l_1 \leq 1.5$; д – то же, при $l_2/l_1 > 1.5$

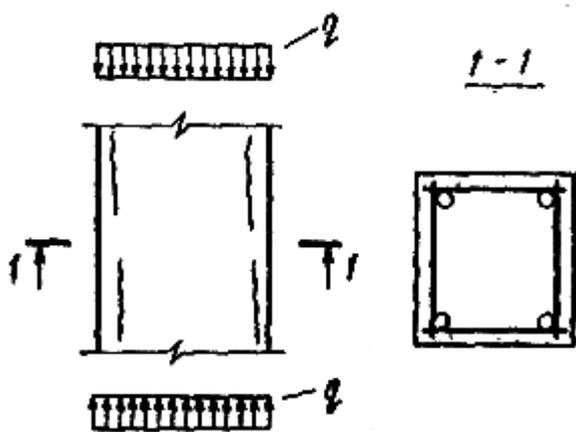


Рис. 21. Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах

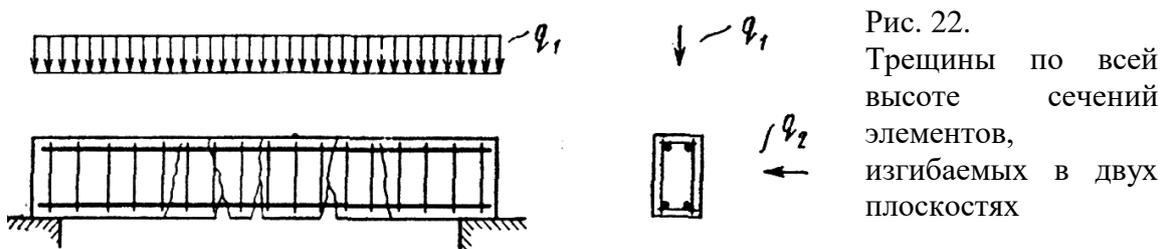


Рис. 22. Трещины по всей высоте сечений элементов, изгибаемых в двух плоскостях

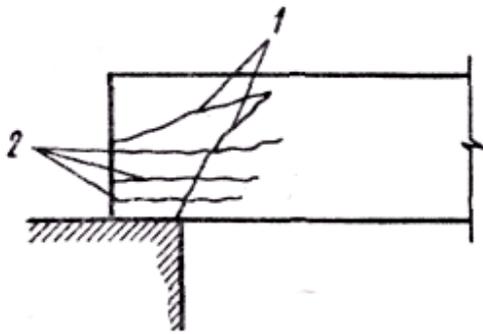


Рис. 23.

Трещины в опорной части предварительно-напряженного элемента: 1 – при нарушении анкеровки напряженной арматуры; 2 – при недостаточности косвенного армирования сечения на действие усилия обжатия

Характерные повреждения при разрушении отдельных участков таких ферм приведены на рис. 12. Так, в опорном узле могут возникнуть помимо трещин 1, 2 (рис. 23) повреждения типа 1, 2, 4 (рис. 24). Появление горизонтальных трещин в нижнем преднапряженном поясе типа 4 (рис. 24) свидетельствует об отсутствии или недостаточности поперечного армирования в обжатом бетоне. Нормальные (перпендикулярные к продольной оси) трещины типа 5 (рис. 24) появляются в растянутых стержнях при необеспеченности трещиностойкости элементов, т. е. при $N > N_{cr}$. Следует обратить внимание на то обстоятельство, что снятие внешней нагрузки на ферму, уменьшая растягивающие усилия в нижнем поясе, приводит к закрытию трещин типа 5, но при этом может вызвать увеличение раскрытия горизонтальных трещин типа 3. Появление повреждений в виде лещадок типа 2 свидетельствует об исчерпании прочности бетона на отдельных участках сжатого пояса ($\sigma_b = R_b$) или на опорах. В изгибаемых элементах, как правило, появлению трещин сопутствует увеличение прогибов и углов поворота. Недопустимыми (аварийными) можно считать прогибы изгибаемых элементов более $1/50$ пролета при ширине раскрытия трещин в растянутой зоне более $0,5$ мм. Значения предельно допустимых прогибов для железобетонных конструкций приведены в табл. 9.

В процессе предварительного обследования часто возникает необходимость оценки ориентировочной прочности бетона и арматурной стали. При этом для бетона можно воспользоваться данными табл. 10. Метод основан на простукивании поверхности конструкции слесарным молотком массой $0,4...0,8$ кг непосредственно по очищенному растворному участку бетона или по зубилу, установленному перпендикулярно

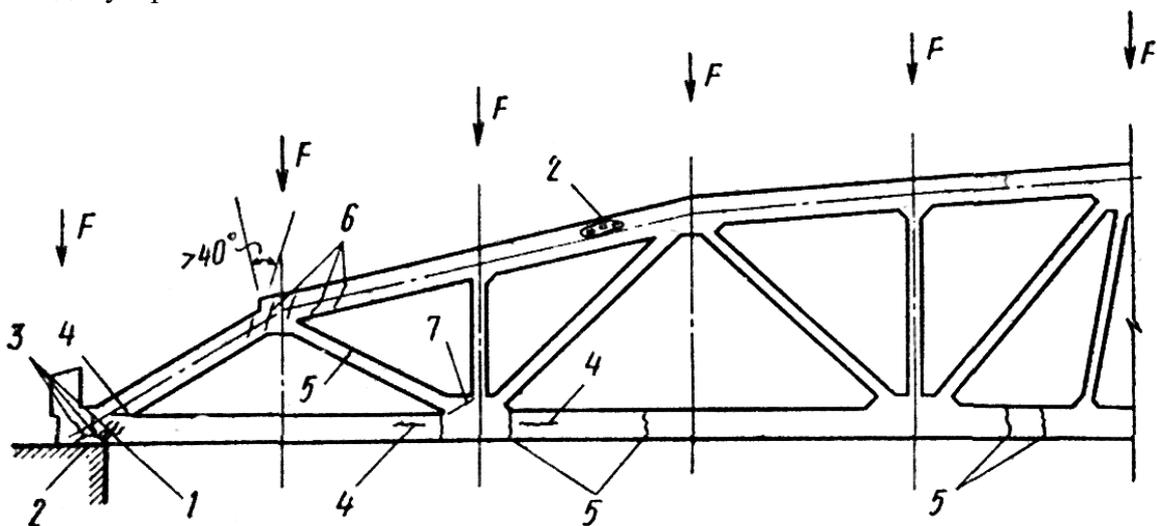


Рис. 24. Характерные повреждения силового происхождения в железобетонных фермах

с нижним предварительно напряженным поясом: 5 – наклонная трещина опорного узла;
 2 – откол лещадок; 3 – лучеобразные и вертикальные трещины;
 4 – горизонтальная трещина; 5 – вертикальные (нормальные) трещины в растянутых
 элементах; 6 – наклонные трещины в сжатом поясе фермы;
 7 – трещины в узле нижнего пояса в месте примыкания растянутого раскоса

Таблица 9

Прочность бетона, устанавливаемая путем простукивания поверхности
 (ориентировочная оценка)

Результаты одного удара средней силы молотком массой 0,4...0,8 кг		Прочность бетона, МПа
Непосредственно по поверхности бетона	По зубилу, установленному «жалом» на бетон	
На поверхность бетона остается слабо заметный след, вокруг которого могут откалываться тонкие лещадки	Неглубокий след, лещадки не откалываются	Более 10
На поверхность бетона остается слабо заметный след, вокруг которого могут откалываться тонкие лещадки	От поверхности бетона откалываются острые лещадки	20...10
Бетон крошится и осыпается; при ударе по ребру откалываются большие куски	Зубило проникает в бетон на глубину до 5 мм, бетон крошится	10...7
Остается глубокий след	Зубило забивается в бетон на глубину более 5 мм	Менее 7

Таблица 10

Предел прочности арматурных сталей, определяемый по внешнему виду
 (максимальная величина для ориентировочной оценки несущей способности
 конструкций)

Внешний вид арматуры	Предел текучести стали, МПа	Предел текучести стали по браковочному минимуму, МПа
Гладкая в зданиях постройки: до 1938 г. после 1938 г.	190 –	– 230
Периодического профиля с ребрами: винтового направления образующему елочку	– –	300 400
Жесткая из прокатных профилей	–	200

поверхности элемента. При этом для оценки прочности принимаются минимальные значения, полученные в результате не менее 10 ударов. Кроме того, следует учитывать, что более звонкий звук при простукивании соответствует более прочному и плотному бетону. Для получения достоверных данных о прочности бетона и арматурной стали следует прибегнуть к другим методам. В предварительно напряженных конструкциях

взятие проб бетона путем выбуривания кернов и определение прочности бетона разрушением малых объемов необходимо осуществлять на достаточном удалении от участков анкеровки арматуры.

Для предварительной оценки прочности арматуры по ее внешнему виду можно воспользоваться табл. 10, в которой приведены наименьшие значения пределов текучести арматурных сталей. Причем в конструкциях, возведенных в период до 1938 г., могла применяться арматура гладкого профиля, так называемое «торговое железо», Ст.1, Ст.2 и Ст.3, для которых предел текучести устанавливался как среднее арифметическое значение по результатам испытаний трех – пяти образцов. Расчет прочности железобетонных конструкций при этом производился по методу допускаемых напряжений. С момента введения для оценки прочности стали понятия коэффициента однородности и браковочного минимума предела текучести (1935 г.) эта величина стала контролируемой. Следует отметить, что в табл. 2 приведены наибольшие величины предела текучести стали для предварительной оценки несущей способности конструкций. Повышение этой величины возможно после лабораторных испытаний образцов стальной арматуры, вырезанных из конструкции (не менее трех образцов каждого вида арматуры), или на основании подтверждающей технической документации. В процессе проведения диагностики железобетонных конструкций целесообразно систематизировать полученные данные, для чего материалы обследования сводятся в таблицы или карты дефектов и повреждений.

5. Обследование каменных и армокаменных конструкций

При обследовании каменных и армокаменных конструкций необходимо прежде всего выделить несущие элементы, на состояние которых следует обратить особое внимание. Визуально и с помощью специальных приборов устанавливают характерные отклонения от нормативных требований и проектных решений. При этом выявляют фактические размеры конструктивных элементов, характер сопряжения стен между собой и конструкциями перекрытий и элементов каркаса, величину деформаций каменных и армокаменных конструкций в своей плоскости и перпендикулярно ей; несоблюдения требуемых условий опирания плит, балок, перемычек, состояние стальной арматуры и закладных деталей, степень повреждения их коррозией. Необходимо установить размеры разрушений, к которым относятся сколы, трещины и другие дефекты, и причины, их вызвавшие.

Среди возможных причин возникновения дефектов можно выделить *механические, динамические, коррозионные, температурные, влажностные воздействия*, а также дефекты, *обусловленные неравномерностью деформаций оснований*. Последние могут быть вызваны как разностью степени загрузки соседних участков стен (например, торцевых – самонесущих и продольных – несущих), так и разностью геологических условий на смежных участках, а также следствием вымывания грунта из-под фундамента грунтовыми или аварийными водами, замачиванием просадочных грунтов и др. Целесообразно в процессе обследования выяснить, нарастают ли трещины во времени. С этой целью на трещины устанавливают маяки. Для наблюдения за прогибами и осадками используют геодезические методы, описанные выше.

Обнаруженные в несущих каменных конструкциях трещины следует оценивать с позиций работы кладки под нагрузкой при сжатии. При этом не нужно исключать возможность появления трещин в результате нарушения технологии возведения кладки, например, в зимнее время, а также вызванных усадочными и температурными деформациями. Важным этапом обследования каменных конструкций является

установление деформативно-прочностных характеристик кладки. Прежде всего необходимо оценить качество выполненной кладки и ее соответствие проектным или другим техническим требованиям: заполнение швов раствором, соблюдение горизонтальности рядов, толщины горизонтальных швов, осуществление необходимой перевязки швов и др. Прочность кирпича и камней необходимо определять в соответствии с требованиями ГОСТ 8462–85, раствора – ГОСТ 5802–86 или СН 290–74. Плотность и влажность каменных кладок определяют в соответствии с ГОСТ 6427–75, 12730.2–78 путем установления разницы веса образцов до и после высушивания. Морозостойкость каменных материалов и растворов, а также их водопоглощение устанавливаются по ГОСТ 7025–78.

Отбор образцов для испытаний производят из малонагруженных элементов конструкций при условии идентичности применяемых на этих участках материалов. Образцы кирпичей или камней должны быть целыми без трещин. Из камней неправильной формы выпиливают кубики с размерами ребра от 40 до 200 мм или высверливают цилиндры (керны) диаметром от 40 до 150 мм. Для испытаний растворов изготавливают кубы с ребром от 20 до 40 мм, составленные из двух пластин раствора, склеенных гипсовым раствором. Образцы испытывают на сжатие с использованием стандартного лабораторного оборудования. Участки кирпичной (каменной) кладки, с которых отбирали образцы для испытаний, должны быть полностью восстановлены для обеспечения исходной прочности конструкции. Обследования каменных и армокаменных конструкций следует выполнять с учетом СНиП II.22–81 «Каменные и армокаменные конструкции», а также «Рекомендаций по усилению каменных конструкций зданий и сооружений».

6. Особенности диагностики металлических и деревянных конструкций

Стальные конструкции особенно широко используются в промышленных зданиях и сооружениях. Методика обследования металлических конструкций должна основываться на положениях СНиП II.23–81 «Стальные конструкции» и др. В связи с особенностями проектирования и возведения стальных конструкций работы по их обследованию имеют определенные отличия от аналогичного обследования железобетонных и каменных элементов. Сечения металлических элементов, как правило, легкодоступны, что упрощает их обмеры (арматура в железобетонных элементах скрыта в толще бетона). Относительно точные методы расчета позволяют проектировать металлические конструкции с минимальными запасами прочности, что, с другой стороны, вызывает необходимость предъявлять повышенные требования к качеству их выполнения и соответствию проектным решениям. При обследовании необходимо, прежде всего, обращать внимание на сжатые элементы, так как ввиду тонкостенности их сечения чаще всего лимитируются не прочностью, а устойчивостью. Высокоответственными элементами металлических конструкций являются узловые соединения, поэтому в начальной стадии обследования должно быть установлено соответствие проекту сечений элементов и узлов, проверены прямолинейность стержней, наличие соединительных планок, особенно в сжатых стержнях. Необходимо выявить, имеются ли превышения нормативных прогибов, углов поворота и других перемещений элементов. Важными условиями повышения надежности стальных конструкций являются высокое качество стали (особенно размер и однородность зерна) и технология изготовления и монтажа (качество сварки и др.).

Учитывая вышеприведенные особенности, при проведении обследования стальных конструкций необходимо обратить внимание на узлы и детали с высокими местными напряжениями от сосредоточенных нагрузок, с резкими концентраторами

напряжений при сочетании с высокими местными напряжениями, ориентированными поперек направления действующих растягивающих напряжений, на сближение (примыкание и пересечение в узлах) и резкое изменение, направлений сварных швов в элементах конструкций, на резкие перепады сечений элементов, а также их соединение с эксцентриситетом относительно центра тяжести сварных швов и др. Во всех случаях должно быть тщательно обследовано состояние сварных, заклепочных и болтовых соединений. Сварные соединения встречаются наиболее часто. Обследование начинают с визуального осмотра сварных швов, с помощью которого можно обнаружить трещины, поверхностную пористость, незаполненные кратеры, несплавления по кромкам, подрезы, наплывы, прожоги и др. Степень провара сварных швов устанавливают: угловых – методом засверливания, стыковых – физическими методами контроля. Засверливание производят по оси шва обычным сверлом диаметром на 6 мм больше ширины наружной поверхности шва. Осмотр высверленного места выполняют через лупу дважды – сразу после сверления и после обработки 20%-ным раствором азотной кислоты для определения границ сварного шва. Физические методы контроля в ответственных сварных соединениях осуществляют при наличии соответствующего оборудования и специалистов. К этим методам относятся: просвечивание рентгеновскими и γ – лучами, магнитная и порошковая дефектоскопия (ГОСТ 21105–87), магнитографический и радиографический (ГОСТ 7512–82), электромагнитный и ультразвуковой (ГОСТ 23858–79).

При обследовании отдельных видов конструкций можно выделить наиболее ответственные элементы и присущие им дефекты. Так, в конструкциях стальных покрытий следует обратить внимание на трещины в стыковых накладках и узловых фасонках поясов стропильных и подстропильных ферм, особенно растянутых, на опорные узлы ферм, где проверить состояние опорных столиков и плотность опирания опорных фланцев, на узлы опирания панелей покрытия и прогонов, которые должны иметь требуемые площади опирания и сварные соединения закладных деталей железобетонных плит со стропильной конструкцией. В стальных колоннах необходимо прежде всего проверить, не имеют ли конструкции механических повреждений в местах технологических проездов и на участках складирования материалов, состояние анкерных креплений колонн в фундаментах, а также узлов опирания подкрановых балок на консоли, убедиться в сохранности узлов крепления связей.

В подкрановых балках особо опасными дефектами считаются трещины в верхних поясных швах, в стенке под короткими ребрами жесткости и в швах крепления ребер к верхнему поясу, прогибы и поперечные трещины верхнего пояса балки. При этом следует обратить внимание на состояние крепления тормозного листа или фасонки тормозной фермы и в целом на крепление тормозной конструкции к колонне, крановых рельсов, стыков рельсов и узлов крепления рельсов к балке. На обследуемом объекте необходимо выделить для детальной проверки конструкции, эксплуатируемые вблизи источников повышенного тепловыделения, в зонах действия динамических нагрузок, химически агрессивных сред и других специфических воздействий. Качество стали обследуемых конструкций и ее сопротивляемость хрупкому разрушению устанавливают на основании сопоставления результатов испытаний стали различными методами. Нормативные и расчетные сопротивления материала конструкций и соединений определяют в соответствии с указаниями норм.

Деревянные конструкции в современном строительстве в качестве несущих элементов применяют сравнительно редко. Однако в зданиях старой постройки они встречаются в качестве стропильных элементов чердачной кровли, стропильных конструкций покрытий, перекрытиях жилых и общественных зданий, в некоторых сооружениях, сельскохозяйственных, производственных зданиях и др. При

обследовании деревянных конструкций, прежде всего, необходимо обратить внимание на условия их эксплуатации, выявить плохо вентилируемые помещения с повышенной влажностью, места систематического замачивания (увлажнения) деревянных элементов. Именно насыщение водой может стать причиной загнивания и распространения дефектов, вызванных появлением грибков, питающихся веществами клеток древесины, деревянных конструкций. Для установления повреждений должны быть отобраны образцы древесины для последующего лабораторного микологического анализа. Образцы для анализа размером примерно 15x10x5 мм отбирают с сохранением грибных образований. Проверку состояния труднодоступных мест производят путем выборочных вскрытий полов, перегородок, подшивки потолков, опор балок и ферм. В междуэтажных перекрытиях вскрытие осуществляют на участках между балками на площади не менее 0,5 м². На накатах убирают засыпку, а с поверхности перегородок и потолков – штукатурку на участках 30x30 см. Вскрытия целесообразно производить и в местах прохождения водопроводных и канализационных труб.

Прочностные характеристики древесины можно установить по виду материала (сосна, ель, лиственница, кедр, пихта и др.), пользуясь их нормативными характеристиками, или путем испытаний вырезанных образцов. При проведении общего обследования деревянных конструкций необходимо обратить внимание на качество выполнения и состояние металлических накладок, болтов, скоб, хомутов, проволоки и др. При значительном повреждении указанных металлических элементов коррозией прочность соединений оценивается с учетом этого фактора. Все работы по обследованию деревянных конструкций необходимо производить, основываясь на требованиях СНиП 11–25–80 «Деревянные конструкции».

7. Составление дефектных ведомостей при обследовании сооружений

При обследовании конструкций выявляются дефекты, которые целесообразно заносить в ведомости или таблицы. Они могут быть произвольной формы, например, в виде таблицы, и дают привязку дефекта (местоположение, расстояния от осей, этаж и т. д.); обозначают схематично дефект и дают его геометрические размеры; подробно описывают дефект и указывают предполагаемые причины его возникновения; методы устранения дефекта, предполагаемые в данный период и др. Если обследуется большеразмерная конструкция, в которой много дефектов.

Должно быть указано количество дрожащих заклепок, болтов, степень поражения металла коррозией, ослабление сечений отверстиями, вырезами и т. д. Осмотр сварных швов должен выявить все трещины, незаплавленные кратеры, несплавление по кромкам, подрезы, наплывы, прожоги, пористость поверхности и т. д. Желательно все дефекты сфотографировать и фотографии приложить к дефектной ведомости. Пример составления дефектной ведомости приведен в табл. 11 и 12. Выявление причины дефекта или повреждения является трудной задачей. Например, трещина в бетоне может образоваться от перенапряжения (перегрузок) или от температурно-усадочных явлений. Поэтому окончательные выводы делают после полного обследования конструкций, включая проверочные расчеты.

8. Проведение проверочных расчетов конструкций при обследовании сооружений

Проверочные расчеты основных несущих конструкций зданий и сооружений являются одним из важнейших этапов обследования зданий. Они оказываются необходимыми в следующих случаях:

Таблица 11. Ведомость дефектов жилого дома

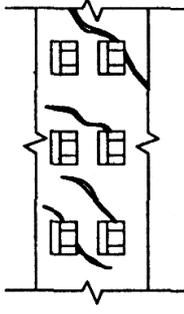
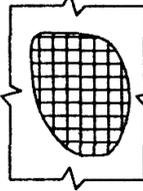
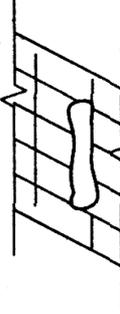
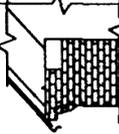
№ дефекта	Оси	Эскиз	Описание дефектов	Мероприятия по устранению дефектов
1	«А» «1—3» (1 и 2 эт.)		Сквозные трещины в кирпичных стенах. Ширина раскрытия до 20 мм.	
2	«Б» «1—2» (4—1 эт.)		В железобетонных плитах перекрытия над 1-м этажом отсутствует защитный слой бетона. Оголена и корродирована арматура (10 стержней). Глубина повреждения бетона до 30 мм.	
3	«В» «1—2» (чердак)		Стропильные подкосы, стойки и обрешетка под кровлю имеют участки загнивания (до 30 %) и сквозные трещины. Ослаблены болтовые и гвоздевые соединения.	
4	«А» «1—2» (кровля)		Разрушение асбестоцементных листов (до 25 %).	
5	«Д» «1—2» (карниз)		Отслаивание штукатурки и частично кирпичной кладки на глубину 10—15 см.	

Таблица 12. Ведомость дефектов колонн по оси «5»

№ де-фекта	Оси	Эскиз	Описание дефектов	Мероприятия по устранению де-фектов
1	12		В панели 4—6 со стороны оси «13» вырван кусок полки двуглава размером $\approx 30 \times 50$.	
2	90		В панели 16—18 в сторону оси «91» на расстоянии 2050 от тормозной площадки погнута ветвь полки колонны $l = 400$ мм.	
3	28		В панели 5—7 полка ветви колонны со стороны оси «27» погнута $f \approx 30$ мм.	
4	28		В панели 1—3 по оси «28» в стенке колонны вырез $l = 150$ мм, $h = 100$ мм.	

— при недостаточности или полном отсутствии расчетных данных, с чем часто

приходится встречаться при обследованиях уже эксплуатируемых сооружений с несохранившейся документацией;

– при наличии несоответствий между расчетными предпосылками и установленными при обследовании фактическими данными в отношении принятой расчетной схемы, нагрузок, размеров, свойств материалов и т. д.;

– при наличии дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность и деформативность сооружения.

Проверочные расчеты позволяют установить несущую способность и пригодность к нормальной эксплуатации конструкций в изменившихся условиях их работы, выявить элементы и соединения, требующих принятия своевременных мер (замены, усиления, ремонта), дать рекомендации о необходимых ограничениях по величине нагрузки, скорости движения и т. д. Расчеты выполняют с учетом результатов обследования: выявленных дефектов, отклонений от размеров, коррозионного износа, реальных прочностных свойств материала, действительных прочностных и деформативных характеристики материалов, расчетных схем и нагрузок, температурных воздействий, осадок фунтов и т. д. Выполняя проверочные расчеты фактической несущей способности реконструируемых зданий и сооружений, нагрузки и воздействия следует принимать, руководствуясь положениями норм, и уточнять на основании проведенных обследований. Если в результате обследования принимается решение о необходимости проведения испытаний, то проверочный расчет завершается подсчетом требуемой испытательной нагрузки и определением соответствующих усилий, напряжений, осадок, деформаций и перемещений в исследуемых конструкциях. Эти расчеты должны проводиться с использованием наиболее точных инженерных методов с учетом действительной работы проверяемого сооружения.

Проведение проверочных расчетов обследуемых строительных конструкций зданий и сооружений можно разделить на два этапа: 1) определение несущей способности отдельных элементов (расчет по предельным состояниям первой группы); 2) определение усилий в конструкциях от внешних нагрузок и воздействий, соответствующих проектному заданию на реконструкцию. В случаях, когда конструкции выполнены в соответствии с проектом и не имеют дефектов и повреждений, при наличии технической документации, включая данные о их несущей способности, проверочные расчеты могут быть выполнены в ограниченном объеме: производят сопоставление внутренних усилий, возникающих от расчетных нагрузок, с несущей способностью конструкций, приведенной в технической документации.

Действительные постоянные нагрузки от собственного веса конструкций должны быть установлены на основании определения плотности и фактических размеров элементов. Путем случайного отбора образцов, количество которых должно быть не менее 5, рекомендуется определять нормативные нагрузки от собственного веса конструкций путем статистической обработки результатов взвешивания образцов. Этот способ целесообразен для материалов, обладающих существенной изменчивостью плотности: легких и ячеистых бетонов, засыпок, утеплителей и др. Для стали и тяжелого бетона плотность устанавливается по справочным данным. Способ определения нагрузок от собственного веса путем установления плотности образцов предполагает их взвешивание, вычисление объема и на основании этих данных получение плотности, которая и является исходной для установления фактической нагрузки.

Временные длительные нагрузки необходимо устанавливать с учетом норм, с уточнением действительной схемы расположения на основании паспортных данных или рабочих чертежей, при их отсутствии – по обмерочным чертежам, а при возможности – путем взвешивания. При определении временных кратковременно

действующих нагрузок на эксплуатируемых объектах необходимо пользоваться нормативными или паспортными данными, но при этом допускается учитывать фактический характер и величину. Так, при определении вертикальных крановых нагрузок, действующих на конструкции здания, разрешается учитывать фактическое размещение кранов и приближение крановой тележки к колоннам при условии, что имеются ограничители сближения и перемещения кранов и тележек или другие гарантирующие меры ограничения зоны действия кранов. При специальном обосновании на период производства строительных работ по реконструкции в соответствии с указаниями действующих норм по нагрузкам для периода возведения при новом строительстве допускается уменьшать значения снеговых, ветровых, гололедных и климатических температурных нагрузок и воздействий, а также принимать нормативные значения эквивалентных равномерно распределенных нагрузок от обременения и складываемых материалов по фактическим величинам.

Методика проверочного расчета включает выполнение последовательных шагов. Расчет зданий начинают с установления расчетных схем здания и его несущих элементов. Затем определяют расчетные нагрузки. В табличной форме составляются нагрузки на 1 м^2 проекции всех ограждающих конструкций кровли, перекрытий. Подсчитывают нагрузки от стен, колонн, перегородок, лестниц и т. д. Определяют грузовую площадь на колонну, простенок или ширину грузовой площади на стропилы, балки от кровли и перекрытий. Складывают нагрузки по этажам на конкретный несущий элемент здания. Например, простенок или колонну любого этажа, стену подвала, фундамент и т. д. Выполняют статический и динамический расчеты здания в целом и его отдельных несущих элементов. При этом используют современные программные комплексы расчета на прочность, которые могут учитывать пространственную работу конструкций и в целом здания, деформированность, нелинейность и т. д. Ниже будут показаны возможности новых программ «Микро-Fe», «Мираж», «Мономах» и «Лира-Windows», которые применяют в настоящее время в нашей стране для расчета конструкций и автоматизированного проектирования зданий.

Целесообразно выделить среди подлежащих проверке расчетом конструкций две группы: не имеющие дефектов (повреждений) и с дефектами (повреждениями), способными снизить несущую способность элементов. Конструкции первой группы при условии их эксплуатации под проектной нагрузкой не менее 10 лет, а также в случаях, когда предлагаемые в дальнейшем изменения нагрузок не приведут к увеличению внутренних усилий (M , N , Q), могут проверяться расчетом по нормам, действующим во время их проектирования. В противном случае расчет конструкций следует выполнять по нормам, действующим на момент обследований. При этом необходимо внимательно относиться к выбору расчетных величин прочностных характеристик материалов, не забывая, что, например, для железобетонных конструкций класс бетона и арматурной стали и их прочностные нормативные и расчетные характеристики по действующим в настоящее время нормам установлены при обеспеченности 0,95, что соответствует технологическому уровню современных предприятий строительной индустрии и металлургической промышленности. Для определения исходных прочностных характеристик материалов, конструкций, возведенных в прошлом, необходимо воспользоваться обработкой опытных данных по методике, приведенной ниже. В процессе обработки результатов обследований сопоставляют действительные (полученные при испытаниях) прочностные характеристики материалов конструкций с заложенными в проекте. При этом для установления нормативных значений сопротивлений материалов по результатам испытаний, полученных в процессе обследований, как для отдельных образцов, так и для испытаний, выполненных на натуральных конструкциях с применением

безобразовых методов, способами, рассмотренными ранее и утвержденными соответствующими ГОСТами или другими нормативными документами, используются вероятностные оценки. Переход от нормативных значений сопротивлений к расчетным, а также способы перехода от определяемой прочностной характеристики (предел текучести – для стали, класс по прочности на сжатие – для бетона и др.) к другим характеристикам прочности и деформативности осуществляются в соответствии с требованиями СНиП. Конструкции, относящиеся ко второй группе, необходимо рассчитывать по нормам, действующим на период обследования с учетом их фактического состояния.

Часто особенности действительной работы конструкций, имеющих дефекты и повреждения, учесть прямым расчетом затруднительно. В этих случаях допускается вводить в расчет коэффициенты условий работы, которые устанавливаются научно-исследовательской или проектной организацией на основе специальных исследований и опыта эксплуатации конструкции. В качестве примера можно привести методику оценки несущей способности кирпичной кладки, имеющей повреждения, разработанную в ЦНИИСК Госстроя СССР. Условие, при котором поврежденные каменные и армокаменные конструкции подлежат усилению, имеет вид:

$$K_{\text{бп}} F > \Phi K_{\text{тр}},$$

где: $K_{\text{бп}}$ – коэффициент безопасности ($K_{\text{бп}} = 1,7$ – для неармированной кладки, $1,5$ – для кладки с сетчатым армированием); F – фактическая нагрузка в момент обследования; Φ – несущая способность конструкции без учета повреждений, определяемая по фактическим значениям площади сечений, гибкости и прочности материалов кладки в соответствии с указаниями.

При этом в формулы для расчета конструкции подставляется средний предел прочности кладки \bar{R} , который при известной марке кирпича и раствора принимается равным удвоенной величине расчетного сопротивления кладки R . Коэффициент снижения несущей способности $K_{\text{тр}}$ каменных конструкций при наличии повреждений кладки стен, столбов и простенков вертикальными воздействиями и неравномерными осадками оснований определяют по табл. 13.

Задача определения усилий в несущих строительных элементах решается путем статического расчета конструкций, который осуществляется известными методами строительной механики, в том числе с использованием ЭВМ. В необходимых случаях выполняют расчет на действие динамических (технологических или сейсмического характера) нагрузок, а также проверяют устойчивость сооружения в целом и его элементов. Важнейшим этапом расчета является установление конструктивной расчетной схемы здания или сооружения и нагрузок, наиболее отвечающих действительности. Здесь необходимо обратить внимание на фактическое исполнение узлов опирания и сопряжения элементов конструкций, на наличие и состояние связей, обеспечивающих пространственную жесткость зданий и сооружений и их элементов.

Следует учесть фактические и предполагаемые сочетания постоянных и временных нагрузок и другие принятые в расчете предложения.

На найденные расчетные усилия (изгибающие моменты, продольные и поперечные силы) проверяют сечения элементов конструкций, узлов соединений, стыков и т. д. Определяют также деформативность, крены, ширину раскрытия трещин в соответствии с требованиями СНиП для каждого типа конструкций по материалу. При отсутствии в конструкциях дефектов и повреждений, недопустимых прогибов и трещин проверочные расчеты допускается выполнять по проектным данным о размерах сечений, расчетным сопротивлениям материалов, расчетной схеме, армирования и т. д.

Поскольку часто встречаются задачи проверочного расчета жилых и гражданских зданий, ниже будет представлена методика сбора нагрузок и расчета нескольких элементов таких зданий. В табл. 14 представлены основные расчетные формулы для проверочных расчетов конструкций из разных материалов. Наглядно видно, что они, в основном, схожи и отличаются только для железобетонных элементов. При выполнении расчетов металлических конструкций необходимо учитывать влияние коррозионных повреждений.

Таблица 13

Значения коэффициента снижения несущей способности кладки в зависимости от характера повреждений

Характер повреждения кладки стен столбов и простенков	K _{тр} при кладке	
	Неармированной	Армированной
Трещины в отдельных кирпичах, не пересекающие растворные швы	1	1
Волосные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной 15...18 см)	0,9	1
То же, при пересечении не более четырех рядов кладки (длиной до 30...35 см) при числе трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенки	0,75	0,9
Трещины с раскрытием до 2 мм, пересекающие не более восьми рядов кладки (длиной 60...65 см) при числе трещин не более четырех на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка	0,5	0,7
То же, при пересечении более восьми рядов (длиной более 65 см)	0	0,5

Для этого расчетную площадь поперечного сечения необходимо определять по формуле:

$$A_{ef} = (1 - K_{sa}\Delta^*)A_0$$

где: A_0 – площадь поперечного сечения без учета коррозии; K_{sa} – коэффициент слитности сечения, равный отношению периметра, контактирующего со средой, к площади поперечного сечения (для уголков $K_{sa} \approx 2/t$, для труб – $1/t$, швеллеров и двутавров – $4/(t+d)$, (t и d – толщины

Таблица 14. Основные расчетные формулы для проверочных расчетов

Материал, элемент	Металл	Дерево	Камень	Бетон	Железобетон
Растянутый	$N \leq A_n R_y \gamma_c$	$N < A_n R_p$	$N < A_n R_p$	$N < A_b R_M$	$N < R_a A_a$
Сжатый	$N \leq A_n R_y$ $N \leq \varphi A R_y$	$N \leq A_n R_c$ $N < \varphi A_p R_c$	$N < m_g \varphi R A$	$N < \alpha R_b A_b$	
Изгибаемый	$M < W_{min} \cdot R_y \gamma_c$ $Q \leq (I \cdot R_s \cdot \gamma_c) / S$ $f < [f]$	$M < W \cdot R_u$ $Q \leq (I_{сп} \cdot b \cdot R_{сд}) / S_{сп}$ $f < [f]$	$M \leq R_{ib} \cdot W$ $Q \leq 2I_3 (R_{tw} \cdot b \cdot h)$	$M < \alpha R_{bt} \cdot W_{pl}$ $W_{pl} = b \cdot h^2 / 3,5$	$M \leq R_b b_x (h_0 - 0,5x) + R_a A_a (h_0 - a')$ $Q \leq 0,34 \varphi_{wt} \cdot \varphi_{bt} \cdot R_b \cdot b h_0$ $f < [f]$
Внецентренно-растянутый	$(N/A \cdot R_y)^n + M/c W \cdot R_y < 1$ $N/A + M/W \leq R_y$	$N/A + M R_p / W R_u < R_p$			$N_e < R_a A'_a (h_0 - a')$ $N_e < R_a A_a (h_0 - a')$
Внецентренно-сжатый	$N/A + M/W \leq R_y$ $N < \varphi_e \cdot A \cdot R_y \gamma_c$	$N/A + M/W \leq R_c$	$N < m_g \cdot \varphi_1 \cdot R \cdot A \cdot \omega$ $A_c = A(1 - 2I_0/h)$	$N \leq R_b \cdot A_b$	$N_e < R_b x (h_0 - 0,5x) + R_a A'_a (h_0 - a')$

полки и стенки соответственно); Δ^* – величина проникновения коррозии, которую принимают равной Δ при односторонней коррозии замкнутых профилей и равной $\Delta/2$ при двухсторонней коррозии открытых профилей (двутавров, швеллеров, уголков и т. п.), где Δ – толщина металла, на которую уменьшалась толщина элемента, вследствие коррозии.

При расчете изгибаемых элементов момент сопротивления равен:

$$W_{ef} = (1 - K_{sw}\Delta^*)W_0$$

где: W_0 – момент сопротивления сечения без учета коррозии; K_{sw} – коэффициент изменения момента сопротивления от коррозионного износа. N , M – соответственно сила и изгибающий момент в рассчитываемом сечении элемента; b , h – высота и ширина сечения; A , W – соответственно площадь и момент сопротивления сечения элемента или арматуры; R – расчетное сопротивление материала элемента; t – толщина стенки балки; e – эксцентриситет; x – высота сжатой зоны; φ , γ , m_g , ω – коэффициенты, подбираемые из условий работы.

Искривленные элементы рассчитывают как внецентренно сжатые, с учетом эквивалентного эксцентриситета /30/. Также необходимо учитывать локальные дефекты и повреждения, изменяющие условия работы отдельных элементов конструкции. В табл. 8–12 представлены нагрузки от наиболее распространенных конструктивных элементов. Показана методика сбора нагрузок на 1 м² часто встречающихся кровельных, чердачных и междуэтажных перекрытий. На основании проверочных расчетов несущих конструкций и других этапов обследования комиссия составляет заключение о техническом состоянии эксплуатируемого объекта, в котором указывает, что конструкции, не отвечающие требованиям проверочного расчета, подлежат усилению или замене. В табл. 15 и 16 приведен пример нахождения нагрузки от перегородок и даны примеры сбора нагрузок по этажам на простенок и колонну многоэтажного здания. На рис. 13 приведен пример подсчета нагрузок от перегородок. Подсчет нагрузок от перегородок производится в зависимости от их суммарной длины (Σl), приходящейся на грузовую площадь колонны или простенка, высоты (h), толщины (t) и плотности материала (γ).

Например, если в зону грузовой площади колонны попадает три участка перегородок длиной $l_i = 2,8 + 2,8 + 2,4$ м без проемов, то при их высоте $h = 2,78$ м имеем массу F_{nep} всех перегородок, толщиной t , выполненных из материала с плотностью γ .

$$F_{nep} = \gamma t h \Sigma l = \gamma \cdot t \cdot 2,78(2,8 + 2,8 + 2,4) = 22,24 \gamma t.$$

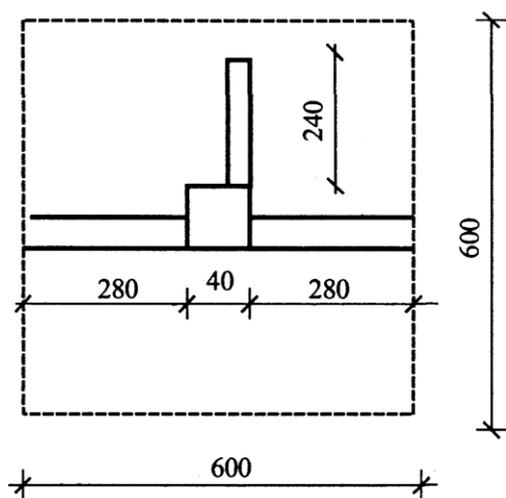


Рис. 13.
Схема расположения перегородок на участке перекрытия 6х6 м

Таблица 15
Нормативная нагрузка от 1 м² конструктивного элемента (кН/м²)

Вид конструктивного элемента	Нагрузка
1. 4 слоя рубероида	0,25
2. Черепица	0,45
3. Асбофанера волнистая	0,15
4. Обрешетка и стропильные элементы	0,20
5. Оцинкованный металлический штампованный настил	0,15
6. Армированная цементная стяжка 25 мм	0,50
7. Цементная или асфальтовая стяжка 25 мм	0,45
8. Пароизоляция	0,05
9. Паркетный пол	0,10
10. Древесноволокнистые плиты ($\gamma = 700 \text{ кг/м}^3$) 10 мм	0,07
11. Дощатый пол ($\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$) по лагам ~5 см	0,30
12. Мозаичный пол 50 мм	1,40
13. Жесткие минераловатные плиты ($\gamma = 370 \text{ кг/м}^3$) 10 см	3,7
14. Керамзитовый гравий ($\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$) 20 см	0,80
15. Железобетонная многопустотная панель 1 (толщ. ~2 см.)	3,00
16. Железобетонная ребристая панель (толщ. ~7 см)	1,8
17. Кирпичная стена 51 см ($\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$)	9,2
18. Кирпичная перегородка 12 см	2,2
19. Гипсобетонная перегородка 8 см ($\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$)	0,96
20. Керамзитобетонная панель ($\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$) 30 см	3,6
21. Шлакобетон ($\gamma = 1400 \text{ кг/м}^3$) 20 см	2,8
22. Железобетонная стена ($\gamma = 2500 \text{ кг/м}^3$) 20 см	0,50
23. Бетонная стена ($\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$) 40 см	0,96
24. Штукатурка толщиной 2 см	0,36
25. Засыпка из песка ($\gamma = 1750 \text{ кг/м}^3$) 10 см	1,75
26. Засыпка из керамзитового гравия ($\gamma = 600 \text{ кг/м}^3$) 20 см	1,2
27. Засыпка из шлака ($\gamma = 1050 \text{ кг/м}^3$)	2,1
28. Пенополистирол, пенополиуретан ($\gamma = 20 \text{ кг/м}^3$) 20 см	0,4
29. Маты минераловатные ($\gamma = 100 \text{ кг/м}^3$) 15 см	0,15

Таблица 16. Сбор нагрузок на 1 м² кровли (в кН/м²)

Наименование	Нормативная нагрузка, qH	Коэффициент перегрузки, γ_f	Расчетная нагрузка, q
А. Постоянная нагрузка			
1. Асбофанера волнистая	0,14	1,1	0,154
2. Обрешетка деревянная	0,04	1,1	0,044
3. Стропила деревянные	0,04	1,1	0,044
Итого:	0,22		0,24
Б. Временная нагрузка			
Снеговая (снеговой район – Ташкент, уклон кровли – $\alpha = 20^\circ$) $70/\cos\alpha = 70/0,94$	0,66	1,6 при $q_0/S_0 = 0,22/0,7 < 0,8$	1,056
Итого:	0,88		1,3

Если перегородки выполнены из кирпича ($\gamma=1800$ кг/м³) толщиной $t = 12$ см и оштукатурены (1 + 1=2 см) с двух сторон, то при $t = 12 + 2 = 14$ см: $F_{пер} = 22,24 \cdot \gamma \cdot t = 22,24 \cdot 1800 \cdot 0,14 = 5645$ кг = 56,5 кН, откуда на 1 м² грузовой площади колонны приходится нагрузка от перегородок: $56,5 / 36 = 1,57$ кН/м².

Если перегородки выполнены из гипсобетонных ($t = 8$ см) плит ($\gamma = 1200$ кг/м³) с затиркой поверхности (0,5 + 0,5 = 1 см), то при $t = 8 + 1 = 9$ см: $F_{пер} = 22,24 \cdot \gamma \cdot t = 22,24 \cdot 1200 \cdot 0,09 = 2402$ кг = 24,02 кН, откуда нагрузка на 1 м² грузовой площади колонны: $24,02 / 36 = 0,67$ кН/м². Для нахождения нагрузки при другой толщине элемента нужно перемножить плотность (γ) и толщину (t).

При расчетах необходимо стремиться к выявлению скрытых резервов несущей способности элементов, существенное увеличение которой может дать учет пространственной работы конструкций, рассчитанных ранее как плоские. В статически неопределимых конструкциях по возможности желательно учесть развитие пластических деформаций и вести расчет с учетом схемы предварительно выявленного месторасположения пластических шарниров. В частности, в железобетонных конструкциях пластические шарниры часто появляются в узловых соединениях неразрезных ригелей с колоннами из-за недостаточности площади опорной арматуры, некачественно выполненного сварного соединения, несоосности стыкуемых арматурных стержней ригеля и колонны и др. Некоторый запас прочности конструкции могут иметь за счет завышенных сечений, подбор которых до введения методов расчета по предельным состояниям производился по завышенным нормам нагрузок и заниженным допускаемым напряжениям.

По окончании всего цикла работ по обследованию, после анализа всех полученных материалов, членами комиссии составляется заключение о техническом состоянии объекта, которое подписывается всеми членами комиссии и заверяется печатью соответствующего учреждения. В заключении должны быть освещены такие вопросы (табл. 17-21):

- 1) на основании какого приказа или распоряжения назначена комиссия по обследованию. Состав комиссии, сроки проведения обследования. Задание на обследование и кем оно выдано;
- 2) перечень документов, используемых комиссией при обследовании; использованные первоисточники (техническая документация и т.п.);
- 3) краткое описание архитектурно-планировочного решения здания или

сооружения и основных несущих конструкций;

4) технология производства на объекте, условия эксплуатации конструкций;

5) результаты натурального обследования конструкций, основные выявленные дефекты, их причины и возможные последствия; даты выполнения обследований и проверочные расчеты;

6) прочностные характеристики материалов конструкций;

7) данные о фактических нагрузках на конструкции;

8) результаты проверочных расчетов конструкций с учетом реальных расчетных схем, нагрузок, дефектов и ослабления сечений и т. д.

9) выводы о несущей способности основных конструкций и первоочередные мероприятия по обеспечению безопасности людей. Рекомендации по ремонту или усилению конструкций, необходимости дальнейшего наблюдения за объектом и т. д.

Таблица 17. Сбор нагрузок на 1 м² чердачного перекрытия (в кН/м²)

Наименование	Нормативная нагрузка, qH	Коэффициент перегрузки, γ_f	Расчетная нагрузка Q
А. Постоянная нагрузка			
1. Керамзитовый гравий (6 см, $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$)	0,64	1,3	0,83
2. Пароизоляция	0,05	1,1	0,06
3. Дощатый настил (5 см, $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$)	0,40	1,1	0,44
4. Деревянные прогоны и балки	0,1	1,1	0,11
5. Штукатурка (2 см, $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$)	0,36	1,3	0,47
Итого:	1,55		1,91
Б. Временная нагрузка			
Для чердачного помещения – 70 кг/м^2	0,7	1,3	0,91
Итого:	2,25		2,82

Таблица 18. Подсчет нагрузки на 1 м² междуэтажного перекрытия (кН/м²)

Наименование	Нормативная нагрузка, qH	Коэффициент перегрузки, γ_f	Расчетная нагрузка q
А. Постоянная нагрузка:			
1. Паркетный пол набойный	0,06	1,1	0,07
2. Древесно-волоконистая плита	0,06	1,1	0,07
3. Цементная стяжка–2 см	0,38	1,3	0,50
4. Керамзитобетон–4 см ($\gamma=800 \text{ кг/м}^3$)	0,32	1,3	0,42
5. Пароизоляция	0,05	1,3	0,06
6. Железобетонная многопустотная плита 22 см (прив. 12 см)	3,00	1,1	3,30
Итого:	3,87		4,42
Б. Временная нагрузка			
Квартиры жилых домов	1,5	1,3	1,95
Итого:	1,5		1,95

Всего:	5,35		6,37
--------	------	--	------

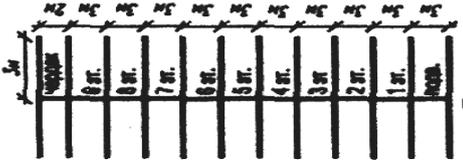
Таблица 19. Подсчет нагрузки на 1 м² совмещенного кровельного покрытия (в кН/м²)

Наименование	Нормативная нагрузка, qH	Коэффициент перегрузки, γ_f	Расчетная нагрузка q
А. Постоянная:			
1. Гравийная 2-х слойная засыпка	0,30	1,3	0,39
2. 4-х слойный рубероидный ковер	0,25	1,3	0,33
3. Асфальтобетонная стяжка ($\gamma=1800$ кг/м ³)–2,5 см	0,45	1,3	0,59
4. Керамзитобетон ($\gamma=600$ кг/м ³)–20 см	1,2	1,3	1,56
5. Пароизоляция	0,05	1,3	0,06
6. Железобетонная ребристая панель	1,8	1,1	1,98
Итого:	4,05		4,88
Б. Временная нагрузка			
Снеговая (г. Волгоград) II р-н	0,7	1,4	0,98
Итого:	4,75		5,89

Таблица 20. Подсчет нагрузок на простенок по оси 1 при $A_{гр.} = 6 \times 3 = 18 \text{ м}^2$ (в кН)

Схемы фрагментов фасада и разреза здания	Нагрузка от стен	Нагрузка от перегородок	Нагрузка от перекрытия	Суммарная	
				на 1 эт.	на л эт.
	кирп. стена 51 см и 77 см		$1,3 \cdot 18 = 23,4$		
	$0,51 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 1,1 = 121$	$1,57 \cdot 18 = 26,5$	$2,82 \cdot 18 = 50,6$	198,1	221,5
	$0,51 \cdot (6 \cdot 3 - 1,6 \cdot 1) \cdot 18 \cdot 1,1 = 166$	26,5	$6,37 \cdot 18 = 114,7$	307,2	528,7
	166	26,5	114,7	307,2	835,9
	166	26,5	114,7	307,2	1143,1
	166	26,5	114,7	307,2	1450,3
	166	26,5	114,7	307,2	1757,5
	166	26,5	114,7	307,2	2064,7
	166	26,5	114,7	307,2	2371,9
	166	26,5	114,7	307,2	2679,1
$0,77 \cdot 6 \cdot 18 \cdot 1,1 \cdot 3 = 274,2$	26,5	114,7	307,2	300,7	3287,0 (на 6 м) 557,4 (на 1 м)

Таблица 21. Подсчет нагрузок на колонну по оси 2 при $A_{эр.} = 6 \times 6 = 36 \text{ м}^2$ (в кН)

Схема фрагмента разреза здания	Нагрузка От колонн	Нагрузка от Перегородок	Нагрузка от перекрытия	Суммарная	
				на 1 этаже	на и этаже
	$a \cdot b \cdot h \cdot \gamma \cdot \gamma_f$		$1,3 \cdot 36 = 46,8$	46,8	46,8
	$0,4 \cdot 0,4 \cdot 25 \cdot 2 \cdot 1,1 = 8,8$	$1,57 \cdot 3,6 = 56,92$	$2,82 \cdot 36 = 101,52$	167,24	214,04
	13,2	56,92	$6,37 \cdot 36 = 229,32$	299,44	513,5
	13,2	56,92	229,32	299,44	812,9
	13,2	56,92	229,32	299,44	1112,3
	13,2	56,92	229,32	299,44	1411,8
	13,2	56,92	229,32	299,44	1711,2
	13,2	56,92	229,32	299,44	2010,7
	13,2	56,92	229,32	299,44	2310,1
	13,2	56,92	229,32	299,44	2609,5
	13,2	56,92	229,32	299,44	2909,6
13,2	56,92	229,32	299,44	3208,4	

9. Составление заключения о техническом состоянии зданий и сооружений

Среди перечисленных разделов заключения ключевым является вопрос о несущей способности конструкций зданий и сооружений. Ответ на него получают в результате проведения проверочного расчета несущей способности оснований и конструкций объекта, используя результаты данных обследования. В каждом конкретном случае структура заключения, также как и программа обследования, может уточняться организацией, которая в дальнейшем будет заниматься строительным проектированием или реконструкцией объекта. Если заключение составляется для оценки рыночной стоимости объекта, необходимо указать в нем физический износ отдельных конструкций и здания в целом, перечень устранимых и неустранимых физических дефектов и др. При более глубоком обследовании целесообразно составлять паспорт технического состояния несущих конструкций здания или сооружения. В нем представляются схемы планов и разрезов здания, типы основных несущих конструкций, их техническое состояние и фактическая надежность, имеющиеся дефекты и повреждения и рекомендации по усилению или профилактике конструкций. В паспорте также указывается организация, проводившая обследование, дата обследования и рекомендуемые сроки восстановления конструкций и последующего обследования.

Перерасчет конструкции по фактическим показателям, полученным при обследовании, выполняется с целью окончательной оценки несущей способности и эксплуатационной пригодности сооружения; определения напряжений, деформаций, перемещений несущих конструкций при различных уровнях полезной нагрузки (результаты используются на втором этапе обследования – в ходе испытаний конструкций статической нагрузкой). Для окончательной оценки пригодности сооружений перерасчет выполняется в соответствии с существующей на момент обследования методикой расчета по предельным состояниям. В результате такого перерасчета определяются завышенные внутренние усилия, деформации и перемещения конструкции в предположении сочетания неблагоприятных отклонений исходных параметров. Результаты расчета необходимы также для сравнения с данными проводимых впоследствии испытаний, то есть исходные параметры и уточненная методика ориентированы на ожидаемый в эксперименте результат. Перерасчет проводится по средним фактическим характеристикам с построением доверительных интервалов и соответствующих вероятностей. Перерасчет проводится с учетом реальных отклонений в расчетной схеме и перераспределения усилий, вызванных неравномерной осадкой основания; различием в деформативности соседних несущих элементов; нелинейностью деформирования материалов; концентрацией напряжений на дефектах, конструктивных и структурных неоднородностях. В расчет закладываются фактические параметры геометрии конструктивных элементов, нагрузок и реальные физико-механические характеристики материалов.

Окончательный поверочный расчет по результатам первого этапа обследования, если испытания пробной нагрузкой не предусматриваются, проводится согласно методике, установленной нормативными документами для соответствующих конструкций. Перерасчет конструкций по данным обследования представляет собой аналитическую схему, в которой присутствует и реальная конструкция с ее отказами различной степени опасности, и действительные отклонения расчетных параметров. Для решения практических задач обследований можно рекомендовать полувероятностный (с частичным использованием данной схемы) или даже детерминированный перерасчет по фактическим показателям с окончательным критерием оценки состояния конструкций по несущей способности.

Заключение о состоянии конструкций представляет собой краткий отчет, в котором должны быть отражены результаты по всем видам работ обследования. Если обследованная конструкция относится к сооружениям, для которых существует нормативно-техническая документация, то заключение о состоянии конструкции и рекомендации по усилению могут быть построены на основе результатов сравнения параметров характерных дефектов конструкций с признаками износа для этих конструкций.

Методические рекомендации по обследованиям типовых конструкций классифицируют объект обследования по степени физического износа. Степень физического износа обследуемой конструкции с целью удобства обработки и анализа информации о надежности и долговечности типовых конструкций оценивается в процентах. Так, для обследованных конструкций гражданских зданий состояние дефектных элементов должно быть оценено в соответствии с указаниями, содержащимися в методике определения физического износа гражданских зданий. Перечень признаков, по которым дается количественная оценка физического износа перекрытия из сборного железобетонного настила приведен в табл. 22.

Поскольку конструктивные решения сооружений, методы и средства контроля их состояния постоянно улучшаются, нормативно-техническая документация по методикам обследования должна развиваться и дополняться. В связи с этим, в заключении должны содержаться рекомендации, направленные на совершенствование критериев количественной оценки состояния конструкций. Кроме того, информация по результатам обследования и вероятностного перерасчета конструкций должна дополнить статистическую выборку отказов, необходимую для развития методики расчета на надежность и долговечность проектируемых сооружений, а также для прогноза надежности реальных конструкций зданий, построенных по типовому проекту или с применением аналогичных конструктивных решений.

Таблица 22. Перечень признаков физического износа перекрытия из сборного железобетонного настила

Физический износ, %	Признаки износа	Примерный состав ремонтных работ
0 ... 10	Трещины в швах между плитами	Текущий ремонт
11...20	Незначительные смещения плит (до 1,5 см) относительно друг друга; местами неровности потолка; отслоение выравнивающего слоя	Выравнивание поверхности потолка
21...30	Значительные смещения плит перекрытия относительно друг друга по высоте (до 3 см) и неровности потолка; сырые пятна в местах опирания плит на наружные стены	Выравнивание поверхности потолка с подвеской арматурных сеток; устройство местами цементно-песчаных пробок в пустотах настила на опорной части
31...40	Волосные трещины в пролетах, трещины и сырость на плитах в местах опирания	Укрепление мест опирания плит, устройство цементно-песчаных пробок в пустотах настила по всей опорной части

41...50	Поперечные трещины в плитах (без оголения арматуры); прогиб не более 1:100 пролета	Усиление плит
51...60	Глубокие поперечные трещины в плитах с оголением арматуры; прогрессирующие смещения плит (более 3 см); прогибы не более 1:50 пролета	Усиление плит и мест опирания
61...70	Повсеместные глубокие трещины в плитах; смещение плит из плоскости с прогибами, более 1:50 пролета	Полная замена плит
71...80	Конструкция на грани обрушения, которое местами уже началось	Полная замена плит

Итоговым документом обследования является акт, в котором дается окончательная оценка проектного решения, качества заводского изготовления строительных деталей, строительно-монтажных работ, соответствия условий эксплуатации конструкций сооружения техническим требованиям. На основании результатов перерасчета в акте дается заключение о возможности дальнейшей эксплуатации сооружения или необходимости усиления конструкций. Заключение о техническом состоянии зданий и сооружений служит основой для предварительного решения о целесообразности реконструкции строительной части объекта.

Литература

1. Бельский Н. Р., Лебедев А. Н. Усиление стальных конструкций. Киев, 1981.
2. Бондаренко С. В., Санжаровский Р. С. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий. – М.: Стройиздат, 1990.
3. Лещинский М. Ю. Испытание бетона. М., 1980.
4. Обследование и испытание сооружений. Под ред. О. В. Лужина. – М.: Стройиздат, 1987.
5. Онуфриев Н. М. Усиление железобетонных промышленных зданий и сооружений. Л.– М., 1965.
6. Ребров И. С. Усиление стержневых металлических конструкций. Л., 1988.
7. Ройтман А. Г. Предупреждение аварий жилых зданий. – М.: Стройиздат, 1990.
8. Рекомендации по усилению железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий /Харьковский ПромстройНИИпроект. – Харьков, 1985.
9. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений / ЦНИИСК им. Кучеренко. М., 1984.
10. Реконструкция зданий и сооружений. Под ред. А. Л. Шагина. – М.: Высшая школа. 1991.

Содержание

Наименование разделов	Стр.
I. Методы технической диагностики конструкций зданий и сооружений	
1. Общие вопросы и задачи диагностики и реабилитации строительных конструкций	3
2. Методология обследования конструкций зданий и сооружений	10
3. Приборы и инструменты для проведения обследований	18
II. Виды технической диагностики зданий и сооружений	
1. Определение деформаций зданий, сооружений и их конструкций	21
2. Дефектоскопия конструкций и неразрушающие методы оценки прочности материала и трещинообразования в элементах зданий и сооружений	28
3. Установление степени влияния коррозии, температуры и трещин на элементы зданий и сооружений	36
4. Оценка качества и состояния строительных материалов и соединений	43
5. Диагностика характерных дефектов	46
III. Способы оценки технического состояния конструкций при диагностике зданий и сооружений	
1. Обследование оснований и фундаментов зданий и сооружений	53
2. Диагностика стен, перекрытий и покрытий здания	56
3. Особенности обследования промзданий с мостовыми кранами	59
4. Методика диагностики бетонных и железобетонных конструкций	61
5. Обследование каменных и армокаменных конструкций	68
6. Особенности диагностики металлических и деревянных конструкций	69
7. Составление дефектных ведомостей при обследовании сооружений	72
8. Проведение проверочных расчетов конструкций при обследовании сооружений	72
9. Составление заключения о техническом состоянии зданий и сооружений	88
Литература	91
Приложение	93

Приложение

<i>Образец</i>	<p>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</p> <p>о техническом состоянии конструкций здания</p> <p>по ул. Джаркурганской, 127 г. Самарканда</p> <p style="text-align: right;"><i>8 августа 2005 г.</i></p> <p>Комиссия в составе: председателя – доцента СамГАСИ Джураева И.И., членов комиссии: главного инженера Абдуллаева П.П., инженера Ходжаева С С.,</p>
----------------	--

Техническая диагностика и реабилитация строительных конструкций

Редактор: **Т.И.Умурзакова**

Разрешено в печать _____ Объем печ. л. 5,50

Формат бумаги 60x84. Заказ № ____ Тираж 10 экз.

Тиражировано в типографии ТашИИТа.

г. Ташкент, ул. Адылходжаева, 1.