



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Прикладная геодезия»

Учебное пособие

«Методы неразрушающего контроля в строительстве»

Авторы
Губеладзе А.Р.,
Губеладзе И.О.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

Учебное пособие разработано в соответствии с ФГОС по специальности 21.05.01 "Прикладная геодезия", направлениям подготовки 21.03.03 и 21.04.03 "Геодезия и дистанционное зондирование". Пособие составлено по основным разделам программы курса «Методы неразрушающего контроля».

Рассмотрены общие вопросы неразрушающего контроля: понятия качества и его контроля, классификация и краткая характеристика методов и средств контроля. Изложены причины возникновения дефектов строительных конструкций на разных стадиях существования зданий и сооружений и указаны применяющиеся на практике методы их обнаружения. Приведены рекомендации по выбору метода неразрушающего контроля для решения конкретной задачи.

Пособие предназначено для студентов при изучении дисциплин «Методы неразрушающего контроля» и «Обследование аварийных зданий и сооружений».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры
«Прикладная геодезия»

Губеладзе А.Р.

ассистент кафедры

«Прикладная геодезия»

Губеладзе И.О.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	6
1.1. Основные понятия и термины	7
1.2. Выбор оптимального метода неразрушающего контроля	10
1.3. Основные требования, предъявляемые к неразрушающим методам контроля	14
1.4. Основные принципы выбора средств измерений.....	18
1.5. Измерение геометрических величин	22
2. ДЕФЕКТЫ ЗДАНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ	26
2.1. Классификация дефектов зданий.....	26
2.2. Дефекты железобетонных конструкций	29
2.3. Дефекты изготовления сборных конструкций	30
2.4. Дефекты монтажа сборных конструкций.....	30
2.5. Дефекты кирпичной кладки	31
2.6. Коррозия каменных, бетонных и железобетонных конструкций	32
2.7. Коррозия конструкций из силикатных материалов...	34
2.8. Коррозия строительных конструкций из минеральных строительных материалов.	35
2.9. Коррозия металлических конструкций	35
2.10. Коррозия арматуры в бетоне	37
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ	39
3.1. Способы контроля качества строительных объектов	39
3.2. Методы проникающих сред.....	40
3.3. Механические методы испытаний	43
3.4. Оценка прочности древесины	52
4. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ	55
4.1. Ультразвуковые методы	55
4.2. Область применения ультразвуковых методов.....	58
4.3. Импульсные звуковые методы	67

5. МАГНИТНЫЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ	69
5.1. Дефектоскопия металла.....	69
5.2. Магнитные толщиномеры.....	71
5.3. Определение напряжений с помощью магнитоупругого тестера.....	73
5.4. Приборы магнитно-индукционного типа	75
6. МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	81
6.1. Область применения рентгеновского и гамма-излучений	81
6.2. Область применения нейтронного излучения	84
6.3. Радиодефектоскопия, инфракрасная дефектоскопия и голографические методы.	85
7. ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ.....	87
7.1. Цель и задачи теплотехнических обследований	87
Определение теплозащитных качеств ограждающих конструкций. Теплозащитные качества ограждающих конструкций характеризуются приведенным сопротивлением теплопередаче R_0 и термическим сопротивлением R_k . Их экспериментальное определение основывается на принципе стационарного режима теплопередачи, при котором тепловой поток, проходящий через любое сечение конструкции, перпендикулярное потоку, постоянен. В этом случае имеет место равенство.....	96
7.2. Тепловизионный контроль	99
8. ВЛАГО- И ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ	104
8.1. Определение влажностного состояния ограждающих конструкций.....	104
8.2. Определение воздухопроницаемости ограждающих конструкций.....	107
9. ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ	113
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	132

ВВЕДЕНИЕ

При современных темпах строительства степень важности контроля при застройке переоценить невозможно. Контроль необходим на всех этапах, от проектирования до сдачи объекта, и не только потому, что того требуют надзорные органы. На самом деле, неудовлетворительное качество любой постройки – будь это многоэтажный дом, небольшое здание для хозяйственных нужд, мостовые конструкции либо транспортные коммуникации – может привести не только к экономическому ущербу, но и нанести урон здоровью и жизням людей.

Для обеспечения высокого качества строительства необходим эффективный контроль, позволяющий обнаружить дефекты. Существуют два вида контроля качества: разрушающий и неразрушающий.

Разрушающий контроль приводит к полному разрушению или повреждению объекта контроля. При изготовлении тех или иных конструкций заводами стройиндустрии производятся выборочные испытания отдельных изделий, входящих в состав изготовленных партий. После чего разрушенные изделия не пригодны к эксплуатации, либо выбрасываются, либо перерабатываются для повторного использования. Это приводит к дополнительным затратам. При этом разрушающий контроль не дает полного представления о качестве всей выпущенной партии изделий.

Неразрушающий контроль – область науки и техники, охватывающая исследования физических принципов, разработку, совершенствование и применение методов, средств и технологий технического контроля объектов, не разрушающего и не ухудшающего их пригодность к эксплуатации.

Неразрушающий контроль позволяет без разрушения контролировать качество всех изделий на любом этапе как при изготовлении конструкций, так и при эксплуатации зданий и сооружений, что исключается при разрушающем контроле. Неразрушающие методы контроля можно использовать для выявления дефектов, определять прочностные свойства и плотность бетона, наличие, положение и диаметр арматуры, толщинометрии и т. д.

Неразрушающий контроль незаменим при проведении массового контроля качества строительных конструкций при их изготовлении, а также определение фактического состояния конструкций, узлов соединения, элементов в процессе эксплуатации и в процессе ремонта.

Наиболее полные данные о качестве конструкций и параметрах можно получить при совместном применении неразрушающего и разрушающего контролей.

Для получения наиболее полной информации о состоянии конструкций и сооружений используют в комплексе два и более метода неразрушающего контроля, каждый из которых дополняют друг друга, что позволяет частично проконтролировать полученные данные. Иногда одни и те же показатели могут быть получены разными методами с различной точностью. В строительстве применяют также механические.

При осуществлении неразрушающего контроля должны соблюдаться требования охраны труда и техники безопасности. К работе допускается только специально обученный персонал, прошедший вводный инструктаж по охране труда и инструктаж на рабочем месте. При радиационном методе неразрушающего контроля должны соблюдаться соответствующие требования санитарных норм и правил. Используют также дозиметрический контроль, эффективные защитные приспособления и средства защиты.

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

1.1. Основные понятия и термины

Неразрушающий контроль – определение показателей качества изделий и материалов без изменения присущих им свойств, параметров, характеристик с целью исключить на стадии изготовления потенциально ненадежные изделия со «скрытыми» дефектами

Неразрушающие методы контроля (дефектоскопия) – методы контроля, используемые для обнаружения нарушения сплошности или однородности макроструктуры, отклонений химического состава (дефектов) и других целей, не требующих разрушения образцов материала и/или изделия в целом.

Дефектоскопия – совокупность неразрушающих методов контроля материалов и изделий, применяемых для обнаружения нарушений сплошности и однородности макроструктуры объектов, отклонений химического состава, размеров и других целей.

Техническая диагностика – определение и изучение признаков, характеризующих наличие дефектов в технических объектах, для предсказания возможных отклонений в режимах работы (или состояниях), а также разработка методов и средств обнаружения и локализации дефектов в используемых конструкциях и их элементах.

Надежность и долговечность конструкций, их элементов, а также используемого оборудования, различных коммуникаций и т.д. в значительной степени обеспечивается тем, что материалы, элементы конструкций, сами конструкции, а следовательно, здания и сооружения в целом подвергаются контролю на всех этапах изготовления и эксплуатации.

Надежность – комплексное свойство технического объекта (здания и сооружения), состоящее в его способности выполнять заданные функции, сохраняя свои основные характеристики при определенных условиях эксплуатации, в установленных пределах.

Контролем в технике называется проверка соответствия продукции установленным техническим требованиям.

Качество продукции – это совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность продукции удовлетворять определенные потребности в связи с ее назначением.

Дефект – отклонение от нормального, предусмотренного техническими условиями, качества, которые ухудшают рабочие характеристики конструкций и всего объекта в целом. Дефект – каждое отдельное несоответствие продукции требованиям, ре-

гламентируемым нормативной документацией (ГОСТ, ОСТ, СНиП, СП и т.д.). К несоответствиям относятся:

- нарушение сплошности материалов и деталей;
- неоднородность состава материала (наличие включений, изменение химического состава, наличие других фаз материала и др.)
- любые отклонения параметров материалов, деталей и изделий от заданных (размеры, качество обработки поверхности, влаго- и теплостойкость и т.д.).

Нормальная эксплуатация здания – эксплуатация, осуществляем без каких-либо ограничений в соответствии с предусмотренными технологическими или бытовыми условиями, безопасная для людей, но с учетом проведения ремонтов.

Техническое состояние объекта – состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

Контроль технического состояния – проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени.

Техническая эксплуатация зданий – комплекс мероприятий по обеспечению организацией технического надзора и проведению всех видов ремонта здания.

Техническое состояние конструкций – совокупность свойств (прочность, жесткость, устойчивость, морозостойкость и др.) конструкции, определяющая степень ее работоспособности. Состояние может быть работоспособное, ограниченно работоспособное или аварийное.

Прогнозирование технического состояния – определение технического состояния объекта с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени.

Работоспособное состояние – техническое состояние конструкции, при котором она удовлетворяет требованиям эксплуатации и безопасности людей, однако имеет некоторые дефекты.

Ограниченно работоспособное состояние – техническое состояние конструкции, имеющей дефекты и повреждения, при которых ее эксплуатация возможна при определенных ограничениях нагрузок и воздействий, и специальных мероприятиях по обеспечению достоверного контроля за ее состоянием.

Неработоспособное состояние – техническое состояние конструкции, имеющей дефекты и повреждения, ведущие к значительной потере несущей способности, нарушению правил техники безопасности и невозможности эксплуатации.

Ремонтопригодность – способность конструкций объекта восстанавливать свои эксплуатационные качества после ремонта.

Коррозия – самопроизвольное разрушение твердых тел, вызванное химическими, электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой.

Авария – полное или частичное разрушение всего здания или отдельных его частей, отдельных несущих конструкций, а также деформации, вызывающие остановку производства или угрозу жизни людей.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния конструкций, зданий и сооружений.

Инцидент – отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от режима технологического процесса, нарушение положений федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также нормативных технических документов, устанавливающих правила ведения работ на опасном производственном объекте.

Критерий отказа – признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в нормативной технической документации или проектной документации.

Сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Нештатная ситуация – ситуация, при которой технологический процесс или состояние оборудования выходит за рамки нормального функционирования и может привести к аварии.

Предельное состояние – состояние объекта контроля, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Критерий предельного состояния – совокупность признаков, при которых использование технического устройства по назначению должно быть прекращено (или невозможно) и оно должно направляться на капитальный ремонт или сниматься с эксплуатации.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновление после ремонта до перехода в предельное состояние.

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

Измерение – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Средство измерений – техническое устройство, предназначенное для измерений.

Калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средств измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору.

Поверка средств измерений – совокупность операций, выполняемых органом государственной метрологической службы или другими уполномоченными на то органами (организациями), с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений установленным техническим требованиям.

Испытание – экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

Программа испытаний – организационно-методический документ, устанавливающий объект и цели испытаний, виды, последовательность и объем проводимых экспериментов, порядок, условия, место и сроки проведения испытаний, обеспечение и отчетность по ним, ответственность за обеспечение и проведение испытаний.

1.2. Выбор оптимального метода неразрушающего контроля

Выбор оптимального метода неразрушающего контроля следует осуществлять исходя из его: реальных особенностей, физических основ, степени разработки, области применения, чувствительности, разрешающей способности, технических условий отбраковки, технических характеристик аппаратуры.

Измерительная система средств неразрушающего контроля должна быть скомплектована из прибора, преобразователя и контрольного образца. Раскомплектовка измерительной системы не-

допустима и ведёт к изменению метрологических характеристик. Важной характеристикой любых методов неразрушающего контроля является их чувствительность. Чувствительность (выявление наименьшего по размерам дефекта) зависит от особенностей метода неразрушающего контроля, условий проведения контроля, материала изделий. Удовлетворительная чувствительность для выявления одних дефектов может быть совершенно непригодной для выявления дефектов другого характера. Чувствительность разных методов неразрушающего контроля к выявлению одного и того же дефекта различна. При определении предельно допустимой погрешности выбранного метода неразрушающего контроля следует обязательно учитывать дополнительные погрешности, возникающие от влияющих факторов:

- минимального радиуса кривизны вогнутой и выпуклой поверхностей;
- шероховатости контролируемой поверхности;
- структуры материала;
- геометрических размеров зоны контроля;
- других влияющих факторов указанных в инструкциях для конкретных приборов.

В зависимости от физических явлений, положенных в основу, методы НК подразделяются на следующие виды: механические, тепловые, акустические, радиационные, радиоволновые, магнитные, вихретоковые, проникающими веществами, визуально-оптические и электрические.

Капиллярный контроль (контроль проникающими веществами) основан на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных дефектов и регистрации индикаторного рисунка (цветного, люминесцентного, контрастного). Применяют для обнаружения невидимых и слабовидимых невооруженным глазом поверхностных дефектов.

Капиллярные – основаны на капиллярном проникновении в полость дефекта индикаторной жидкости.

Течеискания – основаны на капиллярном прохождении индикаторной жидкости через сквозной дефект.

По способу получения первичной информации:

- ахроматический;
- цветной;
- люминесцентный.

Оптический вид неразрушающего контроля основан на взаимодействии светового излучения с контролируемым объек-

том. Применение инструментов (визуально-оптический контроль) типа луп, микроскопов, эндоскопов для осмотра внутренних полостей, проекционных устройств для контроля формы изделий, спроецированных в увеличенном виде на экран, значительно расширяет возможности оптического метода. Чаще всего оптические методы широко применяют для контроля прозрачных объектов. В них обнаруживают макро- и микродефекты, структурные неоднородности, внутренние напряжения (по вращению плоскости поляризации). Использование гибких световодов, лазеров, оптической голографии, телевизионной техники расширяет область применения оптических методов и повышает точность измерения.

К **тепловым методам** относятся методы, использующие тепловые свойства контролируемого объекта. Они основаны на регистрации инфракрасного излучения, исходящего с поверхности тела, или температурного поля объекта приемниками различного типа.

Под **акустическим видом неразрушающего контроля** понимают вид, основанный на регистрации параметров упругих колебаний, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте. В акустическом виде неразрушающего контроля чаще всего применяют звуковые и ультразвуковые частоты, т.е. используют диапазон частот приблизительно от 0,5 кГц до 50 МГц. В случае, когда при контроле используют частоты свыше 20 кГц, допустимо применение термина «ультразвуковой» вместо термина «акустический». Акустические методы неразрушающего контроля решают следующие контрольно-измерительные задачи:

- выявление глубинных дефектов типа нарушения сплошности, расслоения, непроклёп, непропаи;
- обнаружение дефектов типа нарушения сплошности, определяет их координаты, размеры, ориентацию путём прозвучивания изделия и приёма отраженного от дефекта эхо сигнала;
- измерение толщины изделия (иногда применяют для обнаружения зоны коррозионного поражения, непропаев, расслоений в тонких местах из металлов);
- обнаружение и регистрация развивающихся трещин или способных к развитию под действием механической нагрузки;
- контроль клеевых, сварных и паяных соединений, имеющих тонкую обшивку, приклеенную или припаянную к элементам жёсткости;
- обнаружение глубинных дефектов.

Радиационные методы контроля с использованием излучения рентгеновских аппаратов и радиоактивных источников применяют для обнаружения внутренних несплошностей, для изучения толщины деталей и покрытий на них, а также для обнаружения механических повреждений.

Радиоволновые методы основаны на взаимодействии электромагнитного излучения (в диапазоне длин волн $1 \div 100$ мм) с объектом контроля, преобразовании параметров поля в параметры электрического сигнала и передаче на регистрирующий прибор. Эти методы позволяют определять толщину и обнаружить внутренние и поверхностные дефекты в неметаллических изделиях. Применяются также для обнаружения различных объектов в грунте (в том числе поиск карстовых образований).

Магнитный метод неразрушающего контроля – вид контроля, основанный на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом. В магнитный вид неразрушающего контроля входят методы: магнитопорошковый, феррозондовый, магнитографический и другие.

Вихретоковый метод неразрушающего контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых в объект контроля этим полем. Данный метод применяют для контроля деталей, изготовленных из электропроводящих материалов. Особенности, присущие вихретоковым методам: многопараметровость, бесконтактный контроль, нечувствительность к изменению влажности» давления и загрязненности газовой среды и поверхности объектов контроля непроводящими веществами. Вихретоковые методы имеют два основных ограничения:

во-первых, их применяют только для контроля электропроводящих изделий;

во-вторых, они имеют малую глубину контроля, связанную с особенностями проникновения электромагнитных волн в объект контроля.

Контрольно измерительные задачи, решаемые с помощью вихретоковых методов:

– позволяют обнаружить трещины, раковины, неметаллические включения и другие виды нарушений сплошности (дефектоскопия);

– измерять толщины прутков, стенок труб (при одностороннем доступе), диаметр проволоки, а так же толщины лакокрасочных покрытий.

сочных, эмалевых, керамических, гальванических и других покрытий, нанесенных на электропроводящую основу (толщинометрия);

- контролировать химический состав, механические свойства, остаточные напряжения (структроскопия).

1.3. Основные требования, предъявляемые к неразрушающим методам контроля

Основные требования, предъявляемые к неразрушающим методам контроля, или дефектоскопии:

- возможность осуществления контроля на всех стадиях изготовления, при эксплуатации и при ремонте изделий;
- возможность контроля качества продукции по большинству заданных параметров;
- согласованность времени, затрачиваемого на контроль, со временем работы другого технологического оборудования;
- высокая достоверность результатов контроля;
- возможность механизации и автоматизации контроля технологических процессов, а также управления ими с использованием сигналов, выдаваемых средствами контроля;
- высокая надёжность дефектоскопической аппаратуры и возможность использования её в различных условиях;
- простота методик контроля, техническая доступность средств контроля в условиях производства, ремонта и эксплуатации.

Применительно к объектам строительства надёжность охватывает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, а следовательно она характеризуется:

- вероятностью безотказной работы;
- наработкой на отказ;
- техническим ресурсом;
- сроком службы;
- и рядом других показателей.

Важнейшие этапы процедуры нормирования надёжности:

1. Определение перечня компонентов объекта (зданий, сооружений, оборудования, систем и элементов) для нормирования их надёжности;
2. Задание желаемых требований по надёжности (стандартных, специальных) к каждому из компонентов перечня;
3. Сбор и анализ информации о режимах и условиях эксплуатации, условиях окружающей среды и о других факторах, влияющих на надёжность создаваемого объекта.

Методы неразрушающего контроля в строительстве

4. Анализ конструктивно-силовой, кинематической, электрической и т. п. схем создаваемого объекта;

5. Выявление возможных типов дефектов, повреждений, отказов и предельных состояний, анализ структурных и функциональных связей между ними;

6. Установление критериев и классификация отказов и предельных состояний по последствиям, характеру появления и другим признакам.

Надежность обеспечивается, прежде всего:

1. Высоким качеством проектных решений и конструкторских разработок.

2. Правильной эксплуатацией технического объекта.

3. Качественным материалом, бездефектностью конструктивных элементов технических систем.

История развития и эксплуатации технических систем свидетельствует, что конструкции обычно выходят из строя в результате:

- разрушения;
- усталостных повреждений;
- износа материала;
- коррозии;
- деградации свойств материала.

Основные виды дефектов в технических объектах

Первопричиной этих повреждений являются, как правило, дефекты, которые или находились в исходном материале, или были привнесены в результате технологической обработки и сборки конструкций, или же возникшие в процессе эксплуатации. Введем некоторые понятия, с которыми в дальнейшем придется весьма часто сталкиваться.

Для безопасной эксплуатации технических объектов необходимо:

- обнаружить существующие дефекты;
- классифицировать обнаруженный дефект, т.е. определить, к какому типу он принадлежит – трещина, пора, раковина и т.д.;
- определить их местоположение и оценить размеры;
- оценить потенциальную опасность существующего дефекта.

Если обнаруженный дефект по существующим нормам относится к категории допустимых, следует установить закономерности его роста и следить за его развитием. Это позволит своевре-

менно принять оптимальное решение о прекращении эксплуатации технической системы, проведение ремонтных работ и исключить катастрофическое разрушение.

Одним из важных средств обеспечения надежности и безопасности технических объектов является дефектоскопия или неразрушающий контроль и техническая диагностика.

Виды дефектов:

1. Производственно-технические.
2. Эксплуатационные.

По происхождения дефекты можно подразделить на:

1. Дефекты изготовления материала: трещины, раковины, включения, ликвации, рыхлости и т.д. при плавке, разливке.
2. Дефекты обработки материала: при прокатке, обработке давлением: внутренние и поверхностные трещины, расслоения, рубцы и т.п.
3. Дефекты изготовления деталей: закалочные и шлифовальные трещины, риски, внутренние напряжения.
4. Дефекты соединения деталей при производстве монтажных работ.
5. Дефекты, возникающие при эксплуатации конструкций: усталостные и коррозионные трещины, деформация, точечная коррозия и т.д.

Дефектоскопия или неразрушающий контроль служит для выявления дефектов в объеме и на поверхности конструктивных элементов, полуфабрикатов, эксплуатируемых технических системах. Любой известный закон природы может служить основой для создания методов и средств неразрушающего контроля, если он обеспечивает получение надежных данных, связанных с основными характеристиками материала, несплошностями и эксплуатационными характеристиками технической системы.

Таким образом, к неразрушающим методам контроля относятся все методы обнаружения или измерения основных свойств или рабочих характеристик материалов, деталей, узлов конструкций с помощью испытаний, которые не уменьшают их пригодности к применению.

Современные средства дефектоскопии, использующие для сбора, обработки и отображения информации ЭВМ, становятся неотъемлемой частью производственных процессов, встраиваются в технологические линии, осуществляют контроль качества продукции и автоматическую корректировку технологического процесса. Методы неразрушающего контроля используются в различ-

ных отраслях промышленности для обеспечения высокого качества продукции, причем чем высокотехнологичнее продукция, тем, как правило, выше затраты на контроль.

Техническая диагностика – оценка с заданной степенью вероятности состояния объекта по основным признакам, характеризующим возможность его функционирования. Цель технической диагностики — повышение надежности и ресурса технических систем.

Основная ее задача технической диагностики – распознавание (оценка) состояния технических систем в условиях ограниченной информации.

Разработка диагностической системы объекта, как правило, включает в себя решение ряда взаимосвязанных задач:

- изучение объекта с целью определения общего подхода к его диагностированию;
- выбор методов и средств измерения диагностических параметров;
- выбор и оптимизацию систем диагностических признаков;
- выработку алгоритмов распознавания состояния объектов и критериев для принятия решений об отнесении объекта к тому или иному классу состояний;
- оценку рисков, связанных с принятием ошибочных решений;
- разработку датчиков и узлов обработки и регистрации измерительной информации.

Процесс диагностирования включает в себя три этапа:

- измерение;
- анализ;
- принятие решения.

Для выполнения этих этапов необходимо: выбрать адекватные модели исправного состояния элементов технического объекта, аварийных состояний контролируемых параметров, распознавания аварийных ситуаций, прогнозирования текущих и аварийных состояний, технически реализовать системы автоматического контроля, защиты и регулирования функциональных элементов технического объекта.

Задачи технической диагностики решаются для определения долговечности работы технических объектов, расчетов оптимальных сроков их технического обслуживания и ремонтов и т. д.

1.4. Основные принципы выбора средств измерений

Действительный размер – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью, допущенной каким-либо нормативным документом в зависимости от поставленной цели.

Диапазон показаний средства измерений – область значений шкалы прибора, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

Диапазон измерений средства измерений – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаяемые погрешности средства измерений.

Измерительная система – совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещённых в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Измерительное устройство – часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

Измерительный преобразователь – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Класс допуска – обобщённая характеристика термометров сопротивления, определяющая допускаемые отклонения номинального значения сопротивления при 0 °С, номинального значения отношения сопротивлений, допустимое отклонение температурной точки t от нормальных значений.

Метрологическая аттестация средств измерений – признак метрологической службой узаконенным для применения средства измерений единичного производства (или ввозимого единичными экземплярами из-за границы) на основании тщательных исследований его свойств.

Нормальные условия – условия измерений, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

Нефункциональный измеряемый параметр – параметр, определяющий такую физическую величину измеряемого

объекта, которая не влияет на работоспособность объекта в процессе его эксплуатации, но её необходимо измерять при изготовлении объекта.

Постоянное давление – давление, не изменяющееся или плавно изменяющееся по времени со скоростью не более 1 % диапазона показаний (записи) в секунду.

Переменное давление – давление, плавно и многократно возрастающее и убывающее со скоростью от 1 до 10 % диапазона показаний (записи) в секунду.

Пульсирующее давление – давление, многократно возрастающее и убывающее по любому периодическому закону со скоростью свыше 10 % диапазона показаний (записи) в секунду. Для измерения пульсирующего давления приборы должны применяться с демпфером.

Рабочее средство измерений – средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Стандартизованное средство измерений – средство измерений, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта.

Выбор средств измерений должен производиться с учётом погрешностей, допускаемых при измерении и заданных в соответствующих нормативных документах.

При выборе средств измерений объёмного или массового расхода, частоты вращения и в связи с тем, что отсутствует нормативная документация регламентирующая определение погрешности измерения этих величин в зависимости от допуска на контролируемый параметр, необходимо задавать предельно допустимую погрешность измерений данных параметров в конструкторской документации на изделие.

Выбор средств измерений по точности должен осуществляться с учётом:

- допустимых отклонений на параметры;
- выбранной методики выполнения измерений и достоверности контроля;
- требуемой группы исполнения, определяемой условиями их использования в процессе производства, производственного контроля и эксплуатации изделия.

Методы неразрушающего контроля в строительстве

Выбор и назначение средств измерений должен удовлетворять требованиям получения действительных значений измеряемых величин с оптимальной точностью при наименьших затратах времени и материальных средств.

Основными исходными данными для выбора средств измерений являются:

- номинальное значение и разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями (допуск) измеряемой величины, указанные в нормативной, конструкторской или технологической документации;
- условия выполнения измерений.

При наличии в конструкторской документации только максимального или минимального значения измеряемой величины должно быть указано значение погрешности, допускаемой при выборе средств измерений.

В случаях, когда обоснованное назначение средств измерений по точности невозможно из-за отсутствия соответствующей нормативной документации, при выборе средств измерений следует руководствоваться следующим правилом: ошибка измерения (с учётом влияющих факторов) не должна превышать 35 процентов от допуска на контролируемый параметр.

При выборе по точности измерительных систем погрешность их следует определять путем суммирования погрешностей всех входящих в систему мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей по определенному для каждой системы закону.

Выбор средств измерений производится по стандартам и техническим условиям на конкретные средства измерений для нормальных условий их применения отражённых в ГОСТ 8.050, ГОСТ 8.395, ГОСТ 15150 и технических условиях на средства измерений.

Нормальными условиями измерений принято считать условия измерений, характеризуемые совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа или по их поверке (калибровке).

Следует различать рабочие условия измерений и предельные условия измерений.

Рабочими условиями измерений принято считать условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

Рабочей областью является область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средств измерений.

Предельными условиями измерений принято считать экстремальные значения измеряемой и влияющих величин, которые средством измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

При выборе средств измерений с целью применения их в рабочих условиях, когда значения влияющих величин отличаются от нормальных, установленных в стандартах, технических условиях на средства измерений конкретного вида, необходимо учитывать зависимость показаний средств измерений от влияющих величин, и, на основе этого, следует вносить поправки в показания средств измерений или применять корректирующие устройства.

Поправки должны определяться по нормированным для рабочих условий метрологическим характеристикам, указанным в паспортах (формулярах) на средства измерений общепромышленного применения или в свидетельстве о метрологической аттестации на средство измерений единичного производства.

После того, как осуществлен предварительный выбор по точности средств измерений, производят окончательный выбор средств измерений (тип средств измерений) с учётом требований к рабочей области значений влияющих величин, габаритам, массе, особенностям конструкции, соединительным элементам и другое.

При выборе средств измерений с целью применения их при проведении испытаний, когда условия окружающей среды определены программой испытаний, необходимо:

а) обеспечить согласованность рабочих условий эксплуатации средств измерений (измерительной системы):

- датчиков (первичных приборов) с условиями помещения для проведения испытаний (рабочей зоны);
- вторичных преобразователей (регистрирующих приборов) с условиями того помещения, где они установлены, то есть в месте нахождения оператора;

б) обеспечить предельно допустимую погрешность измерения выбранным средством измерений (измерительной системой) в

установленных нормативной документацией границах с заданной вероятностью.

Выбор и назначение средств измерений осуществляют подразделения, разрабатывающие:

а) технологические процессы измерений продукции, её составных частей и материалов;

б) нормативную документацию:

- при лабораторных исследованиях;
- в производстве при контроле качества;
- при испытаниях и эксплуатации продукции, её составных частей и материалов,
- с целью обслуживания оборудования и средств измерений.

Для выполнения измерений в процессе производства продукции назначаются рабочие средства измерений.

При выборе средства измерений предпочтение следует отдавать стандартизованным средствам измерений.

1.5. Измерение геометрических величин

Измерение геометрических величин осуществляется путём линейных и угловых измерений размеров.

Основная единица длины в современной Международной системе единиц – метр.

Линейные размеры могут быть выражены в кратных и дольных единицах.

1 метр (м) = 100 сантиметрам (см) = 1000 миллиметрам (мм) = 1 000 000 микрометрам (мкм).

Правила нанесения размеров и их предельных отклонений на чертежах и в другой технической документации устанавливает ГОСТ 2.307.

Предельные отклонения размеров, а также предельные отклонения формы и расположения поверхностей являются основанием для определения требуемой точности изделия при изготовлении и контроле.

Линейные размеры и их предельные отклонения на чертежах и в спецификациях указывают в миллиметрах, без обозначения единицы измерения.

Для размеров и предельных отклонений, приводимых в технических требованиях и пояснительных надписях на поле чертежа, обязательно указывают единицы измерения (ГОСТ 2.307).

Правила обозначения шероховатости поверхностей, и правила нанесения их на чертежах изделий устанавливает ГОСТ 2.309.

Так как шероховатость поверхности в процессе сборки и эксплуатации изделия может привести к дополнительным отклонениям размера и формы за счёт износа микро неровностей при трении или в результате их смятия и сглаживания при запрессовке под действием нагрузок, необходимо указывать в конструкторской документации наиболее грубый предел допускаемых значений шероховатости.

Требования к шероховатости поверхности не включают требований к дефектам поверхности, поэтому при контроле шероховатости поверхности влияние дефектов поверхности должно быть исключено.

Угловые измерения. За единицу измерения плоского угла в Международной системе единиц «СИ» принят радиан – угол между радиусами (сторонами угла), вырезающий на окружности дугу, длина которой равна радиусу.

Радиан используют в расчётах, а на чертежах и при измерении угловые размеры и предельные отклонения угловых размеров указывают во внесистемных единицах градусах, минутах и секундах.

На местности измерения углов производятся при помощи инструментов, называемых теодолитами. Мерой измерения углов служит градус, представляющий $1/90$ прямого угла или $1/360$ окружности. Градус содержит 60 угловых минут, минута делится на 60 угловых секунд. В некоторых странах применяют градусную систему, в которой градус составляет $1/400$ окружности, градусная минута $1/100$ град, а градусная секунда – $1/100$ градусных минут.

В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерения служит гон, равный 1 градус или 54 угловых минут; тысячная его доля, равная 3,24 угловых секунд, называется миллигон.

При измерении геометрических величин следует учитывать влияние на результаты измерений внешних условий: температуры окружающей среды, атмосферного давления, относительной влажности и других нормальных условий выполнения измерений линейных и угловых величин, регламентируемых ГОСТ 8.050.

Линейные измерения. Числовое значение физической величины длины в машиностроении называется размером. За размер принимается расстояние между двумя точками.

Наиболее распространенным видом геодезических измерений является измерение линий на местности. Для измерения линий применяются различные линейные мерные приборы. Линии измеряют в различных плоскостях (горизонтальной, наклонной и вертикальной) рулетками (рис. 5.1), оптическими, электронными и другими дальномерами



Рис. 1.1. Рулетки

Рулетки (рис. 1.1) выпускают стальные, фиброглассовые и тесьмяные длиной различной длины. В геодезической практике наибольшее применение получили рулетки длиной 20, 30, 50 и 100 м, шириной 10 – 12 мм, толщиной 0,15 -0,30 мм. Чаще всего на полотне рулетки наносят штрихи с ценой деления 1 мм по всей длине. Для измерения небольших отрезков применяются желобчатые металлические рулетки длиной до 10 м. В некоторых случаях рулетки длиной 30 и 50 м используют в комплекте с динамометрами, которые обеспечивают натяжение рулетки, равное усилию в 10 кг.

Перед началом работы рулетки необходимо сравнить с эталонами, т.е. прокомпарировать. В этом случае используют лабораторные или полевые компараторы, длины которых известны с высокой точностью. По результатам компарирования для каждого мерного прибора устанавливается уравнение:

$$l = l_0 + \Delta l_k + l_t, \quad (1.1)$$

где l_0 – номинальная длина ленты при нормальной температуре (в РФ $+20^\circ\text{C}$);

Δl_K – поправка за компарирование;

l_t – поправка за температуру, при которой производились измерения.

Значение физической величины, которое идеальным образом характеризовало бы в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину называется истинным значением величины.

На практике «истинное значение физической величины длины» заменяется «действительным значением», то есть значением, полученным путём измерений и настолько близким к истинному значению, что в условиях измерительной задачи может быть использовано вместо него.

В зависимости от количества выявленных размеров методы и средства линейных измерений следует разделять на дифференцированные (позэлементные) и комплексные.

Дифференцированным называется измерение, при котором у детали сложной формы каждый составляющий элемент или параметр измеряется отдельно.

Дифференцированные измерения необходимо применять при технологическом контроле (контроль режимов, характеристик, параметров технологического процесса), так как позволяет выявить отклонения отдельных элементов за пределы допустимых значений и установить какой параметр технологического процесса оказывает доминирующее влияние на ошибку изготовления размеров отдельных элементов.

Комплексными называются измерения, при которых оцениваются свойства, близкие к эксплуатационным. Такие измерения удобны для приемочного контроля.

Выбор средств измерений линейных величин по точности заключается в определении оптимального соотношения между ошибками средств измерений и допуском контролируемого параметра, регламентируемым в ГОСТ 8.05.

Ошибки измерения, отражённые в данных документах, являются наибольшими допускаемыми погрешностями измерений, включающими в себя все составляющие, зависящие от измерительных средств, установочных мер, температурных деформаций, базирования и т. д.

2. ДЕФЕКТЫ ЗДАНИЙ И КОНСТРУКЦИЙ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

2.1. Классификация дефектов зданий

Наиболее опасны дефекты в основаниях и фундаментах, в стенах, т.е. в основных конструкциях, т.к. их проявление ведет к деформациям и разрушению всего здания. Менее опасны деформации в перегородках и других несущих конструкциях, однако они существенно снижают эксплуатационные качества помещений или здания в целом. Следовательно, дефект – это первопричина повреждений. Дефекты разделяют на **явные** (обнаружение которых возможно предусмотренными правилами, методами и средствами контроля) и **скрытые**. Их также разделяют на **критические**, которые делают использование продукции практически невозможным, **значительные** (оказывающие существенное влияние на возможность и долговечность использования продукции) и **малозначительные**.



Рис. 2.1. Количественная классификация дефектов:
а – одиночные; б – групповые; в – сплошные

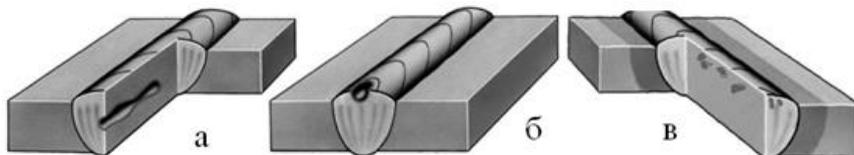


Рис. 2.2. Классификация дефектов по положению в объекте контроля: а – внутренние; б – поверхностные; в – подповерхностные

Дефекты разделяют также на **устраняемые** (устранение которых технически возможно и экономически целесообразно) и **неустраняемые**.

Рассмотрим некоторые разновидности технического контроля. По этапам создания и использования продукции различают контроль проектирования (проверка технической документации поставщика, поступающей к заказчику), операционный (контроль продукции во время выполнения или после завершения технологической операции) и приемочный (контроль продукции, по результатам которого принимают решение о ее пригодности к использованию). В эксплуатационном контроле различают входной и текущий виды контроля. Например, железнодорожные рельсы регулярно подвергаются текущему контролю. По исполнителям контроль подразделяют на самоконтроль, контроль производственным мастером, контроль специальным отделом (ОТК), ведомственный контроль, осуществляемый органами министерства или ведомства) и государственный надзор за качеством продукции. По полноте охвата различают сплошной контроль и выборочный. Сплошному контролю подвергают только продукцию ответственного назначения, в других случаях проводят выборочный контроль. При выборочном контроле могут применяться разрушающие методы, нарушающие пригодность продукции к применению, например, механические испытания на разрыв, удар и т.д. Неразрушающие методы контроля не нарушают пригодность продукции к применению. Как правило, неразрушающими методами контролируют всю продукцию, что резко повышает ее эксплуатационную надежность. Важность перехода от выборочного контроля к сплошному возрастает с увеличением сложности контролируемого оборудования. Это можно пояснить таким примером. Основную часть парового котла современной электростанции составляет трубная система, включающая в себя сотни тысяч отдельных труб и сварных соединений. Наличие даже одного дефектного узла, выводит станцию из строя. Поэтому, введение сплошного неразрушающего контроля трубной системы котла является необходимым условием его успешной эксплуатации.

Дефекты можно классифицировать по следующим признакам: по месту, причине и времени, характеру и значимости. Причинами **по месту** могут служить: неправильная ориентация здания на местности, неудачная посадка здания на участке, в застройке и т.п.

Причине и времени: ошибки и просчеты при изысканиях и проектировании, а также в процессе строительства. Дефектами изысканий и проектирования являются такие, которые допущены при выборе участка строительства и при оценке грунтов, а также

Методы неразрушающего контроля в строительстве

при выборе материалов, конструкций, определении нагрузок, сечений и т.п. Некоторые дефекты обнаруживаются уже при строительстве из-за неточности или неполноты чертежей, отсутствии в проектах необходимых указаний, в связи с чем строителям приходится самим решать тот или иной вопрос, исходя лишь из имеющихся материалов и собственных возможностей.

Дефектами строительства являются нарушения технических условий производства работ, небрежность в отборе материалов, неоправданная замена их в процессе строительства.

По характеру дефекты подразделяются на скрытые, невидимые при внешнем осмотре, и явные. По значимости (опасности) они подразделяются на три группы:

- дефекты, которые могут привести к аварии. При обнаружении таких дефектов их надо немедленно устранить;
- дефекты, не угрожающие целостности здания, но ослабляющие конструкции или снижающие эксплуатационные качества зданий; поэтому они также должны быть устранены. К этой группе относятся дефекты стыков, промерзание стен и т.д.;
- дефекты, которые не приводят к разрушению зданий, но снижают их эксплуатационные свойства и требуют дополнительных затрат на эксплуатацию.

Основные (возможные) дефекты строительных материалов. Долговечность и надежность заданий в значительной мере зависят от того, из каких материалов они построены. Качество строительных материалов регламентировано стандартами, однако при их изготовлении и при недостаточном контроле могут быть допущены нарушения в их составе, размерах и т.д.

Дефекты железобетонных и каменных работ конструкций часто связаны с плохим качеством исходных материалов: бетона, кирпича, раствора, недостатком конструктивного решения или с нарушением технологии производства работ.

Причинами многих дефектов зданий являются использование при их возведении некачественных строительных материалов или нарушение технологии их изготовления. Под это понимается, например, неправильно приготовленный раствор или бетон, использование малопрочного щебня и т.п.

Обычно дефекты возникают в труднодоступных для работы и контроля местах: на стыках, в местах большого насыщения арматурой, а также при производстве работ в зимнее время.

Нередки случаи, когда при перерывах в производстве работ для ускорения таяния льда на бетонных конструкциях их посыпа-

ют поваренной солью, что вызывает так называемую морозно-солевую коррозию. Соль впитывает влагу из воздуха, которая проникает в бетон и при замерзании разрушает его. Хлористая соль в материалах и конструкциях обнаруживается по выходу ее на поверхность – по высолам, а поваренная соль (при повышенной влажности воздуха) – по мокрым пятнам. Плохое качество бетона может объясняться недостатками его прогрева, нарушением режима тепловлажной обработки, ранним замораживанием, неудовлетворительным уходом за свежеприготовленным бетоном как в жаркое, так и в холодное время.

В бетоне нередко образуются пучения и выколы, а в штукатурке – «дутики» и «взрывы» – следствие замерзания намокших комьев глины либо ила, а также попадания или раствор негашеной извести. «Взрывы» в штукатурке происходят даже через два-три года после сдачи сооружения в эксплуатацию, например после ее замачивания при побелке.

Существенным недостатком кирпича зачастую является низкая его морозостойкость, обусловленная неудовлетворительным составом и некачественным приготовлением глиняной массы, неправильным обжигом. Такой кирпич, уложенный в конструкцию и даже защищенный штукатуркой, под воздействием отрицательных температур расслаивается и разрушается.

2.2. Дефекты железобетонных конструкций

В таких монолитных конструкциях при недостаточном контроле за качеством работ встречаются дефекты, которые могут вызвать потерю устойчивости и нарушение герметичности.

Наиболее опасными дефектами для монолитных и сборных конструкций являются: недостаточное или неправильное армирование, заниженная прочность бетона, загрязненные заполнители, нарушения технологии укладки бетонной смеси и т.д. К распространенным дефектам железобетонных конструкций следует отнести мелкие (до 2-3 см) раковины и сквозные пустоты. Они возникают в труднодоступных для тщательного вибрирования местах, при использовании изношенной опалубки и т.п.

Глубокие раковины опасны для несущих конструкций, особенно если они не устраняются сразу, а только прикрыты защитным слоем раствора. Важно оценить также опасность сквозных пустот; при необходимости следует утаивать железобетонные обоймы с нагнетанием в них раствор.

2.3. Дефекты изготовления сборных конструкций

На практике не редко встречаются отклонения и нарушения в технологии изготовления сборных элементов, что отражается на надежности и долговечности зданий из сборных конструкций.

Дефекты изготовления железобетонных элементов сооружений весьма разнообразны. Для удобства анализа они объединены в четыре группы:

I – отклонения размеров и формы элементов;

II – дефекты поверхности элементов;

III – трещины в защитном слое, отколы углов и ребер;

IV – смещение арматуры и закладных частей.

Дефекты отдельных элементов оказывают существенное влияние на качество и трудоемкость строительства, а в последствии – и на эксплуатацию зданий.

Так, в значительные отклонения натуральных габаритных размеров от проектных (I группа) усложняет и удорожает монтаж, снижает надежность стыков, ухудшает внешний вид сооружений. Уменьшение толщины элементов, в частности защитного слоя, сильно отражается на эксплуатационных качествах сооружений и их долговечности. Дефекты II группы главным образом ухудшают внешний вид (загрязнение панелей) сооружений, а при наличии больших раковин ослабляют их прочность. Дефекты III группы приводят к коррозии арматуры и разрушению зданий. Дефекты группы снижают несущую способность конструкций, точность и надежность монтажа.

2.4. Дефекты монтажа сборных конструкций

Монолитность сборных зданий зависит от надежности крепления закладных частей в бетоне и от прочности их соединения в смежных элементах. Поэтому дефекты IV группы не только усложняют монтаж, но и снижают надежность крепления конструкций и жесткость всего здания. Например, допуск на толщину защитного слоя зависит от ее толщины: при величине 10 мм он может быть ± 3 мм; при толщине 20 мм и более – от +10 до -5 мм. Допуски в расположении закладных частей и анкерных болтов также нормируются: допуски размеров длины и ширины закладных частей должны быть не более 2 ± 3 мм; допуски размеров между анкерными болтами ± 5 мм, а допуски расстояния между закладными частями ± 3 мм.

Характерные дефекты монтажа сборных железобетонных конструкций можно объединить в три группы:

- I – дефекты стыков;
- II – дефекты положения элементов (отклонения от вертикали, перекосы в плоскости и т.п.);
- III – дефекты опирания конструкций.

Наиболее опасны дефекты стыков несущих конструкций – прогонов, балок колонн, так как они могут привести к разрушению здания. При оценке дефектов монтажа руководствуются нормативными допусками.

Особое внимание надо уделять контролю состояния закладных частей. При вскрытии в местах, вызывающих подозрения, закладные детали необходимо защитить покраской или оцинкованием, а если они разрушены более чем на одну треть сечения – заменить.

Дефекты I группы встречаются наиболее часто. Они ухудшают внешний вид здания, надежность стыков, герметичность сооружений. Эти дефекты обычно не представляют опасности для прочности и устойчивости зданий.

Дефекты II группы сказываются главным образом на внешнем облике зданий. Однако значительные перекосы могут вызвать дополнительные напряжения и даже разрушение конструкций.

Дефекты III группы весьма опасны для прочности зданий: неправильное опирание или малая его площадь приводят к нерасчетной работе конструкции, что может привести к аварии. Главная причина проявления таких дефектов – неточность изготовления и монтажа конструкций – иногда исходит из проекта. Особенно опасно, когда недостатки монтажа железобетонных конструкций приводят к эксцентричному приложению нагрузки, что может быть выявлено по внешнему виду. Это вызывает перераспределение напряжений и может снизить прочность и устойчивость конструкций.

2.5. Дефекты кирпичной кладки

К **явным** дефектам кирпичной кладки относятся негоризонтальные и толстые швы, отсутствие перевязки швов, армирования колонн, простенков, а также отклонение стен от вертикали. Такие дефекты являются следствием недостаточного контроля за качеством материалов и ведением работ.

К **скрытым** дефектам кирпичной кладки относятся такие, как применение кирпичей с плотностью выше расчетной, более низкой марки и т.п. Такие дефекты возникают из-за небрежной

приемки материалов, без надлежащего контроля по паспортам, лабораторных испытаний и т.п.

Дефекты кладки приводят в одних случаях к осадкам и обрушениям, в других случаях – к продуванию, промерзанию и увлажнению стен.

Средняя толщина горизонтальных швов кладки составляет 12 мм (от 8 до 15 мм), вертикальных – 10 мм. Для повышения несущей способности кладки ее армируют. Диаметр проволоки арматурных сеток допускается не менее 3 мм и не более 8 мм; сетка должна быть сварена, связана или изогнута в зигзаг. Для проверки наличия арматурных сеток в столбах и простенках отдельные их концы должны выступать из горизонтальных швов на 2-3 мм.

Влияние изменения свойств строительных материалов во времени. Материал в сооружениях, по аналогии с биологическими средами, «живет», т.е. его состояние и характеристики в известной степени (в зависимости от рода материала, условий эксплуатации и приложенной нагрузки) изменяется во времени. Рассмотрим несколько наиболее характерных примеров.

Общеизвестно, что прочность бетона в сооружениях со временем возрастает. Однако при неблагоприятных условиях – при низких температурах свежееуложенного бетона, недостаточном увлажнении его и, в особенности, при воздействиях агрессивных сред, это нарастание прочности не только замедляется, но может приостановиться совсем, а в отдельных случаях – даже замениться обратным процессом.

При приложении внешней нагрузки зависимость между напряжениями и деформациями в бетоне носит криволинейный характер. Но при повторных циклах нагружения (не превосходящих 40-50 % от предела прочности) график деформаций постепенно выпрямляется и бетон начинает работать практически упруго.

В таких условиях находятся железобетонные мосты, систематически загружаемые проходящей подвижной нагрузкой. Наоборот, длительная выдержка сооружения в ненагруженном состоянии ведет к частичному восстановлению криволинейности диаграммы деформаций.

2.6. Коррозия каменных, бетонных и железобетонных конструкций

Действие коррозии на строительные конструкции зависит от материалов самой конструкции и от агрессивности окружающей

среды. По агрегатному состоянию агрессивная среда может быть газообразной, жидкой, твердой или многофазной. Примером многофазной агрессивной среды могут быть фундаменты зданий, которые контактируют с минерализованными грунтовыми водами, часто загрязненными промышленными стоками, заполняющими поры твердого вещества скелета грунта, растворяют газы, находящиеся в порах.

Коррозийные процессы более интенсивно протекают в жидкой агрессивной среде. По отношению к сухим материалам конструкций газообразная среда, содержащая пылевидные твердые частицы, неагрессивна. Однако поверхность элементов зданий всегда содержит адсорбированную из атмосферного воздуха влагу, в результате чего на ней образуется тончайший слой насыщенного раствора минеральных веществ, агрессивного по отношению к материалу строительных конструкций и инженерных систем.

По механизму протекания различают физическую, химическую и биологическую коррозию материала каменных конструкций. Вид коррозионных процессов зависит от местоположения конструктивного элемента и характера среды. Подземные конструкции могут подвергаться всем видам коррозии, надземные – преимущественно физической, реже – химической.

Наибольшее влияние на износ оказывает водная среда. Поскольку большинство конструкций зданий (фундаменты, стены, перегородки, перекрытия и элементы крыш) выполнены из искусственных каменных материалов с пористо-капиллярной структурой, при контакте с водой они интенсивно увлажняются.

Влияние влаги на процесс разрушения конструкций неодинаково. В одних случаях она как поверхностно-активное вещество ускоряет процесс разрушения, в других, являясь хорошим растворителем, действует в качестве химически активной агрессивной средой.

Наличие на поверхности и в теле каменных материалов пор, пустот капилляров и микротрещин приводит к увеличению площади их удельной поверхности, что повышает возможность контакта конструкции со всеми видами влаги.

Разрушение каменных материалов связано с одновременным воздействием отрицательных температур и влаги. Замерзающая в порах и капиллярах вода увеличивается в объеме, вызывая значительные напряжения в материале конструкции.

На долговечность каменных конструкций влияет также переменное увлажнение и высыхание материала даже при отсутствии отрицательных температур. В абсолютно сухом воздухе свободная, капиллярная и адсорбированная вода может полностью испариться из тела конструкции. При этом на конструкцию перестают действовать расклинивающие силы и как следствие в материале возникают значительные напряжения усадки.

При увеличении относительной влажности окружающей среды материал вновь увлажняется, трещины раскрываются. Скорость разрушения каменных конструкций под действием напряжений, усадки и набухания зависит от интенсивности увлажнения и высыхания.

Причиной физической коррозии каменных, бетонных и железобетонных конструкций может быть отложение продуктов коррозии закладных металлических деталей, а также арматура.

2.7. Коррозия конструкций из силикатных материалов

Силикатные материалы представляют собой соли кремниевых и поликремниевых кислот, алюмосиликаты, кальциевые силикаты или чистый кремнезем с примесями других соединений. Скорость коррозии конструкций из силикатных материалов, как и других каменных конструкций зависит от ряда факторов: химического и минералогического составов, характера их пористости (открытые или закрытые), типа структуры материала (аморфная или кристаллическая), характера агрессивной среды и концентрации химически активных веществ и др.

Коррозийная стойкость конструкций из силикатного кирпича определяется в основном свойствами входящих в состав материала конструкций веществ, главным образом извести, обладающей невысокой стойкостью к кислым агрессивным средам. Только в разбавленных растворах щелочей силикатный кирпич достаточно устойчив.

Механизм коррозии силикатного кирпича в солевых растворах объясняется осаждением в порах материала кристаллов, которые, увеличиваясь в объеме, создают растягивающие усилия, приводящие к его разрушению.

2.8. Коррозия строительных конструкций из минеральных строительных материалов.

Минеральные материалы отличаются от металлов строением составляющих их веществ. Они имеют молекулярную структуру преимущественно с ионными связями. Это обуславливает их легкую реакцию с водой. Химические свойства материалов характеризуются их способностью к химическим превращениям под влиянием вещества, с которыми данный материал находится в контакте.

Глиняный кирпич разрушается под действием щелочей, водных растворов органических и минеральных кислот, а также многих солей.

Конструкции из шлакобетонных камней и материалов неустойчивы к действию кислых агрессивных сред и малоустойчивы к действию влажной среды и растворов щелочей. Слабо устойчивы эти конструкции к попеременному увлажнению и замораживанию.

2.9. Коррозия металлических конструкций

Металлические конструкции и арматура в бетоне подвергаются значительной коррозии вследствие химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой.

По характеру разрушения различают общую и местную коррозию металла. Если на поверхности конструкции образуется равномерная коррозионная пленка, то поверхность становится микроскопически шероховатой, но макроскопически ровной с небольшими углублениями. Более опасна коррозия, поражающая отдельные участки поверхности, а также коррозия небольших по размеру участков, проникающая вглубь металла.

Такой тип коррозии наблюдается на металлических элементах, эксплуатируемых в сильно загрязненной примесями воздушной среде города (стальная кровля, открытые металлоконструкции зданий, балконные балки и др.)

В строительстве особое внимание должно уделяться несущим металлическим конструкциям и в частности местам соединения. Для усиления надежности в этих местах используются специальные заклепки, болты, гайки шлицевые.

Образующаяся при неполном сгорании углерода копоть и частицы пыли адсорбируются на поверхности конструкции и вызывают усиленную конденсацию водяных паров, которые формируются в виде капель электролита. Возникающий в результате

процесс электрохимической коррозии сопровождается образованием местных очагов – язв. То же самое происходит на поверхности конструкции, соприкасающейся с электролитом, в котором растворено разное количество кислорода.

Значительную опасность вызывает коррозия на границах блоков кристаллов, так как конструкция может разрушиться без видимых изменений.

Известны различные виды коррозии металлов. Одним из основных ее видов является химическая, которую иногда ещё называют газовой коррозией, так как иногда она происходит под воздействием газообразных компонентов из окружающей среды при высоких температурах. Химическая коррозия может происходить и под воздействием некоторых агрессивных жидкостей. Основным этого процесса является то, что она происходит без возникновения в системе электрического тока. Ей подвергаются детали и узлы машин, работающих в атмосфере кислорода при высоких температурах, например турбинные двигатели, ракетные двигатели и некоторые другие, а также подвергаются детали узлы оборудования химического производства.

Другим распространённым видом разрушения металлов является электрохимическая коррозия – поверхностное разрушение в среде электролита с возникновением в системе электрического тока. Электрохимическая коррозия – разрушение в атмосфере, на почве, водоемах, грунтах.

Характер разрушения поверхности металла может быть различным и зависит от свойств этого металла и условиях протекания процесса. Теперь остановимся подробнее на электрохимической коррозии.

Электрохимическая коррозия – наиболее распространённый вид разрушения металлов. Примером электрохимической коррозии является, например, разрушение деталей машин, приборов и различных металлических конструкций в почвенных, грунтовых, речных и морских водах, в атмосфере, под пленками влаги, в технических растворах, под действием смазочно-охлаждающих жидкостей и т.д. Как уже было отмечено, электрохимическая коррозия протекает на поверхности металлов под действием электрических токов, то есть происходят окислительно-восстановительные химические реакции, характеризующиеся отдачей электронов и их переносом, так как образуются катодные и анодные участки. Образованию катодов и анодов способствуют химическая неоднородность металлов (примеси и включения),

наличие участков остаточной деформации, неоднородность покрывающих металл защитных пленок и т.д. Наиболее часто в образовании данного вида разрушения металла участвуют не один фактор, а несколько. Когда металл начинает корродировать, он превращается в многоэлектронный гальванический элемент.

К основным видам наблюдаемой коррозии относятся:

Электрохимическая коррозия протекает интенсивнее, если в катод вкраплен металл, менее активный, чем корродирующий. Например, если корродирует сталь (а сталь – это сплав железа и углерода в котором частично образуется карбид железа) роль таких участков играет карбид железа (FeC).

Атмосферная коррозия – протекает во влажном воздухе при обычной температуре. Поверхность металла покрывается пленкой влаги, содержащей растворённый кислород. Интенсивность разрушения металла возрастает с ростом влажности воздуха, а также содержанием в нём газообразных оксидов углерода, серы, при наличии в металле шероховатостей, трещин облегчающих конденсацию влаги.

Почвенная коррозия – ее подвержены трубопроводы, кабели, подземные сооружения. В этом случае металлы соприкасаются с влагой почвы, содержащей растворённый кислород. Во влажной почве, с повышенной кислотностью трубопроводы разрушаются в течение полугода после их укладки (конечно, если не принять меры по их защите).

Электрическая коррозия – происходит под действием блуждающих токов, возникающих от посторонних источников (линии электропередач, электрические железные дороги, различные электроустановки, работающие на постоянном электрическом токе). Блуждающие токи вызывают разрушение газопроводов, нефтепроводов, электрокабелей, различных сооружений. Под действием электрического тока на находящихся на земле металлических предметах появляются участки входа и выхода электронов – катоды и аноды. На анодных участках наблюдается наиболее интенсивное разрушение.

2.10. Коррозия арматуры в бетоне

Защитный слой бетона затрудняет доступ к арматуре влаги, кислорода, воздуха или кислотообразующих газов. Однако с увеличением пористости бетона и разрушений в нем, происходящих под действием агрессивных сил, его защитные свойства резко снижаются.

Коррозия арматуры в бетоне является электрохимическим процессом. Поскольку арматурная сталь неоднородна по структуре, как и контактирующая с ней среда, создаются необходимые условия для протекания электрохимической коррозии.

Технологические мероприятия по защите арматуры и железобетона от коррозии заключаются в обеспечении высокой плотности, однородности и, как следствие, непроницаемости бетона.

В предварительно напряженных железобетонных конструкциях был выявлен особый вид коррозии арматуры – «коррозия под напряжением». Она проявляется в виде трещин, развивающихся перпендикулярно направлению главных растягивающих напряжений, т.е. поперек элемента. Возникает эта коррозия при незначительных поверхностных поражениях бетона. Напряжения в арматуре ускоряет процесс коррозии.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

3.1. Способы контроля качества строительных объектов

Существенное повышение качества строительных материалов, изделий и конструкций, а следовательно, повышение надежности и долговечности зданий и сооружений, может быть успешно решено при условии совершенствования производства и методов контроля качества на всех этапах строительного производства. Главным критерием высокого качества строительных объектов являются физические, геометрические и функциональные показатели. К ним относятся физико-механические свойства и структура материалов, геометрические размеры конструкций и их элементов, точность сборки и монтажа строительных конструкций.

Контроль качества строительных материалов изделий и конструкций производится двумя основными способами. Первый из них связан с выявлением предельных несущих способностей изучаемых объектов, что связано с доведением их до разрушения. Такой способ достаточно эффективен при проведении при проведении стандартных испытаний образцов из стали, бетона и других конструкционных материалов. При испытании моделей сооружений и их фрагментов конструкции могут доводиться до предельных состояний. Что касается реальных объектов, то разрушение их с целью выявления предельных несущих способностей экономически не оправдано.

Большое внимание уделяется развитию неразрушающих методов испытания конструкций и их элементов, однако актуальным становится тот путь, который позволяет сохранить эксплуатационную пригодность рассматриваемых объектов без нарушения несущей способности и выявить действительное его состояние. Неразрушающими методами можно определить влажность заполнителей бетона, степень уплотнения бетонной смеси в процессе формирования, плотность и прочность бетонов в изделиях, а также проводить дефектоскопию конструкций.

Неразрушающие методы построены, в основном, на косвенном определении свойств и характеристик объектов испытаний.

В настоящее время неразрушающие методы контроля широко используются для контроля и обеспечения качественного технологического процесса в целом ряде отраслей народного хо-

зйства: металлургии, машиностроении, химической промышленности, сварочном производстве и т.п. В сочетании с быстродействующими вычислительными устройствами применение неразрушающих методов дает возможность перейти к полной автоматизации производства с обеспечением необходимого соблюдения качества продукции.

В строительном деле неразрушающие методы применяются главным образом для контроля сварных металлоконструкций, при изготовлении железобетонных изделий и элементов и т.д. Неразрушающие методы контроля применяются и при освидетельствовании сооружений. Они являются весьма перспективными для контроля поточных линий на заводах строительных конструкций (в первую очередь железобетонных) не только для выявления уже допущенных дефектов и отступлений от требований ТУ, но прежде всего, для предупреждения самой возможности таких нарушений.

По физическим принципам неразрушающих исследований различают следующие основные методы:

- 1) при помощи проникающих сред (жидких, газообразных и т.д.);
- 2) механические методы испытаний;
- 3) акустические (ультразвуковые и более низких частот);
- 4) магнитные, электромагнитные и электрические;
- 5) при помощи ионизирующих излучений (рентгеновские, радиоизотропные и др.);
- 6) радиодефектоскопия и инфракрасная дефектоскопия.

3.2. Методы проникающих сред

Методы неразрушающего контроля проникающими веществами основаны на проникновении в полость дефекта контролируемого объекта специальных веществ. Когда речь идёт о выявлении слабозаметных или незаметных трещин на поверхности, методы неразрушающего контроля проникающими веществами можно назвать капиллярными, в случае поиска сквозных – теческаниания.

При применении методов неразрушающего контроля проникающими веществами дефекты окрашиваются индикаторной жидкостью (пенетрантом) и выявляются либо визуально, либо с помощью преобразователей.

На рис. 3.1. изображён способ применения капиллярного метода неразрушающего контроля (поэтапно):



Рис. 3.1. Поэтапное описание способа применения капиллярного МНК ПВ

В резервуарах, газгольдерах, трубопроводах и других аналогичных конструкциях, требующих обеспечения не только прочности, но и плотности соединений, контроль осуществляют с помощью проникающих сред. Кроме применявшихся ранее испытаний водой и керосином, в настоящее время разработаны и другие приемы.

Испытания водой. Проверяемые емкости заполняются водой до отметки обычно несколько выше эксплуатационной. В закрытых сосудах давление жидкости повышается дополнительным нагреванием воды или воздуха.

Гидростатическим давлением проверяются как плотность, так и прочность соединений и всего сооружения в целом. Контроль швов и соединений заливкой воды совмещается, таким образом, со статическим испытанием исследуемой жидкости.

Определенные швы металлоконструкций могут проверяться сильной струей воды из брандспойта, направленной под давлением примерно 1 атм нормально к поверхности шва. При наличии дефектов вода просачивается сквозь неплотности проверяемого соединения.

Проба керосином. Благодаря своей вязкости и незначительному, по сравнению с водой, поверхностному натяжению керосин легко проникает через самые малые поры и выступает на противоположной поверхности. При опробовании поверхность шва с одной стороны обильно смачивается или опрыскивается керосином. Для облегчения наблюдения шов заранее подбеливается водным раствором мела. На этом подсохшем светлом фоне отчетливо выявляются затем ржавые пятна и полосы, возникающие при просачивании керосина.

Проба сжатым воздухом. При наиболее простом применении данного метода проверяемые швы обмазываются мыльной водой. С другой стороны шов обдувается сжатым воздухом, подаваемым из шланга под давлением порядка 4 атм нормально к исследуемому шву. В замкнутые емкости сжатый воздух попадет внутрь их объема. Признаком дефектности шва служит появление мыльных пузырей на обмазке.

Более совершенным является применение ультразвуковых «течеискателей», принцип работы которых основан на регистрации ультразвуковых колебаний, возникающих в местах нарушения сплошности, под действием вытекающей здесь под давлением струи газа (воздуха). С помощью течеискателей можно выявлять неплотности размером 0,1 мм при избыточном давлении порядка 0,4 атм. Место нахождения дефекта определяется с точностью до 1,5 – 2,0 см.

Проба вакуумом. Проверка вакуумом требует доступа к конструкции лишь с одной ее стороны, что является существенным преимуществом данного метода.

К шву приставляется металлическая кассета в виде плоской коробки без дна с прозрачным верхом, через который виден проверяемый шов. Вакуум-насосом со шлангом, присоединенном к кассете, в котором создается небольшое разрежение, внешним воздушным давлением стенки кассеты, снабженные по их нижнему периметру мягкой резиновой прокладкой, прижимаются при этом к конструкции. Исследуемый шов предварительно должен быть смочен мыльным раствором. В местах нарушения плотности шва воздух, проникая сквозь эти неплотности, образует в мыльной пене отчетливо видимые стойкие пузыри.

При сварке сосудов высокого давления и других особо ответственных, требующих полной герметичности, конструкций для увеличения надежности контроля применяется проверка плотности соединений химическими реagenтами, например, воздушно-аммиачной смесью или другими газообразными соединениями, обладающие высокой проникающей способностью. Химические методы проверки плотности соединений обладают большой чувствительностью и дают возможность очень четко определять места нахождения дефектов, чем и обуславливается в наиболее серьезных случаях целесообразность применения этих более сложных примеров.

3.3. Механические методы испытаний

Рассматриваемые методы привнесены в область строительства из металловедения. Как известно, при испытании металлов широко применяются так называемые «пробы на твердость». К ним относятся испытания путем вдавливания в поверхность металла стального шарика или алмаза (по Брюнеллю, Роквеллу, Виккерсу и т.д.), измерения по упругому отскоку падающего шарика (испытания по Шору) и др.

Благодаря своей простоте, удобству и возможности быстрой проверки состояния материала в целом ряде точек на поверхности конструкций эти косвенные методы нашли применение и при освидетельствовании сооружений. Полученные при этом данные переводятся в прочностные характеристики исследуемого материала по эмпирическим формулам или с применением соответствующих графиков и таблиц.

Следует при этом иметь в виду, что само понятие «твердость» не является столь же определенным физическим критерием сопротивления материала силовым воздействиям как прочность, деформативность и т.д. В зависимости от вида испытаний на твердость выявляются различные факторы: в методе отскока (по Шору) – способность к упругой работе при наличии поглощения части энергии деформирования; при вдавливании шарика по Бринеллю – пластические свойства на уровне предела текучести; при вдавливании алмаза – сопротивление значительному деформированию (на уровне предела прочности) и т.д.

Оценка прочности металла. Наибольшее применение в строительной практике для оценки прочности металла имеет прибор Польди (рис. 3.2) ударного действия. Наконечником прибора является шарик 2 диаметром 10 мм из твердой закаленной стали, дающий при ударе отпечаток одновременно на исследуемом материале 1 и на стальном эталонном бруске 3, твердость которого HB должна быть заранее определена. Для получения отпечатков ударяют молотком по верхнему торцу стержня 4. Твердость HB исследуемого металла испытываемой конструкции определяется из соотношения

$$HB = HB^{эм} \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{эм}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}, \quad (3.1)$$

где D – диаметр стального шарика 2;

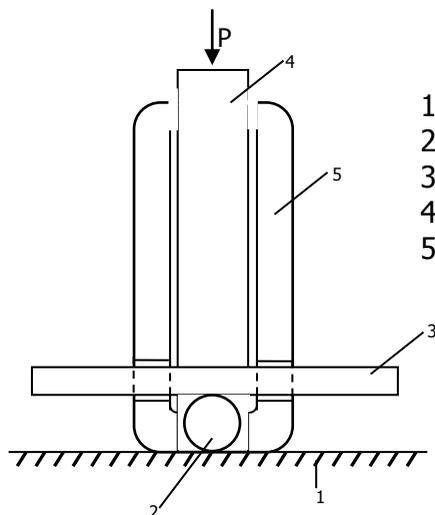
Методы неразрушающего контроля в строительстве

d – диаметр отпечатка на поверхности исследуемого материала;

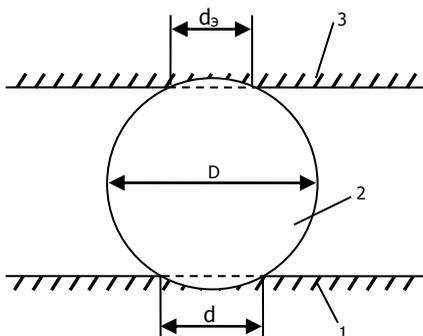
$d_{бр}$ – диаметр отпечатка на эталонном бруске.

Нахождение HB и определение прочности и марки металла производится с помощью соответствующих таблиц. Для термически обработанных сталей вводится поправочный коэффициент. С помощью прибора Польди можно получать, однако, лишь ориентировочные характеристики. Но и с учетом этого применение прибора практически полезно, в особенности в следующих случаях:

- для ускоренной проверки однородности материала в различных элементах освидетельствуемых конструкций;
- при отбраковке (проверке марок металла) поступающих заготовок.



- 1 – исследуемый материал;
- 2 – стальной шарик;
- 3 – эталонный брусок;
- 4 – ударный стержень;
- 5- обойма прибор



- 1 – исследуемый материал;
- 2 – стальной шарик;
- 3 – эталонный брусок;

Рис. 3.2. Прибор Польди

Оценка прочности бетона. При косвенной оценке прочности бетона по твердостным характеристикам его поверхностного слоя приходится учитывать следующие факторы, усложняющие эту оценку:

1) большой разброс результатов испытаний на «твердость», обусловленный неоднородностью структуры бетона. Для получения надежных данных необходимо увеличить число проверяемых на поверхности точек и статистически обработать результаты испытаний;

2) возможная карбонизация поверхностного слоя, повышающая показатели твердости, а также увлажнение поверхности, снижающая эти показатели;

3) возможность расхождения прочностных характеристик на поверхности и в глубине массивных блоков. Это может быть проверено, например, контрольным бурением с выемкой образцов с разной глубины, а также применением рассматриваемых далее неразрушающих способов.

Необходимость в простых доступных для массового применения способов оценки качества бетона настолько настоятельна, что, несмотря на указанные затруднения, для суждения о прочности бетона по механическим характеристикам его поверхностного слоя предложен целый ряд приборов и приспособлений.

Оценка прочности бетона с помощью молотка К.П. Кашкарова (рис. 3.3) Принцип его действия аналогичен рассмотренному выше прибору Польди с той разницей, что удар наносится взмахом самого эталонного молотка.

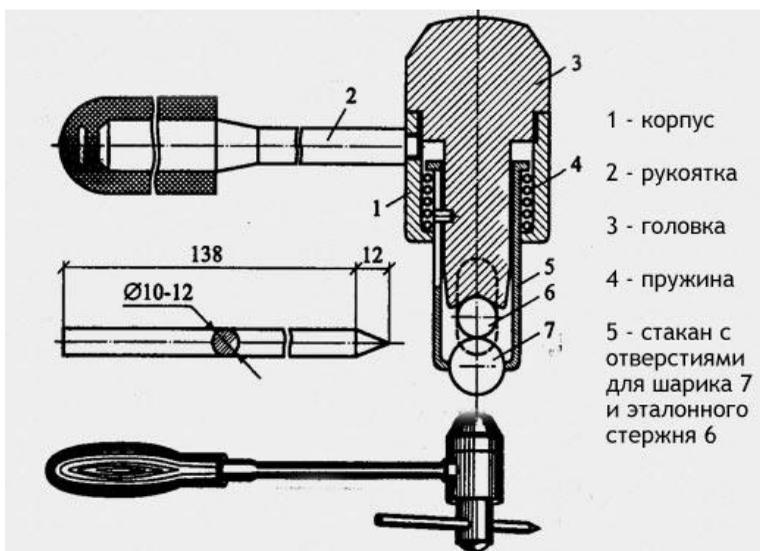


Рис. 3.3. Молоток К.П. Кашкарова

При ударе боек (стальной шарик диаметром 15 мм) оставляет на исследуемой поверхности исследуемого бетона вмятину диаметром d_{σ} , а на эталонном стержне (круглого сечения из Ст. 3 диаметром 10 мм) – отпечаток диаметром $d_{\text{эт}}$. Для десяти ударов, нанесенных по проверяемому элементу с удаленными штукатур-

ными и окрасочными слоями, определяется усредненное отношение $d_{\sigma} / d_{\sigma T}$; прочность бетона оценивается по корреляционной зависимости между $d_{\sigma} / d_{\sigma T}$ и пределом прочности бетона на сжатие, устанавливаемой экспериментально. При этом должны учитываться конкретные условия изготовления конструкции и твердения бетона, сроки испытаний, шероховатость, влажность и другие особенности состояния поверхности конструкции. Для эксплуатируемых сооружений указанная зависимость должна быть уточнена на образцах, выбуренных из соответствующих элементов.

Эталонный молоток рекомендуется для разных операций: оценок отпускной прочности бетонных изделий на заводах железобетонных конструкций, прочности бетона при передачи напряжений от арматуры на бетон в предварительно железобетонных конструкциях, коэффициента изменчивости прочности бетона в изделиях и конструкциях (что особенно существенно при освидетельствовании сооружений) и т.д.

Одним из наиболее простых приспособлений для сравнительной прочности бетона является молоток И.Л. Физделя (рис. 3.4).

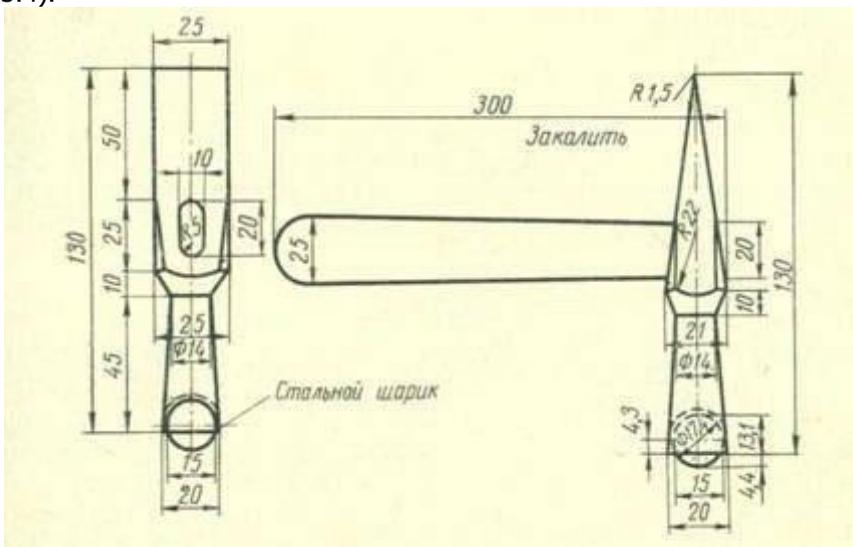


Рис. 3.4. Конструкция молотка И.А. Физделя

Прочность бетона определяют по графику в зависимости от диаметра отпечатка на поверхности бетона. Ударная часть стального молотка весом 250 г заканчивается шариком из твердой ста-

ли диаметром 17,46 мм, легко вращающимся в гнезде. По диаметру отпечатков, полученных при ударе, определяют прочность бетона по эмпирическому графику (рис. 3.5). Результаты, несмотря на их ориентировочность, все же полезны в производственных условиях. Пользование молотком при некотором навыке не вызывает затруднений.

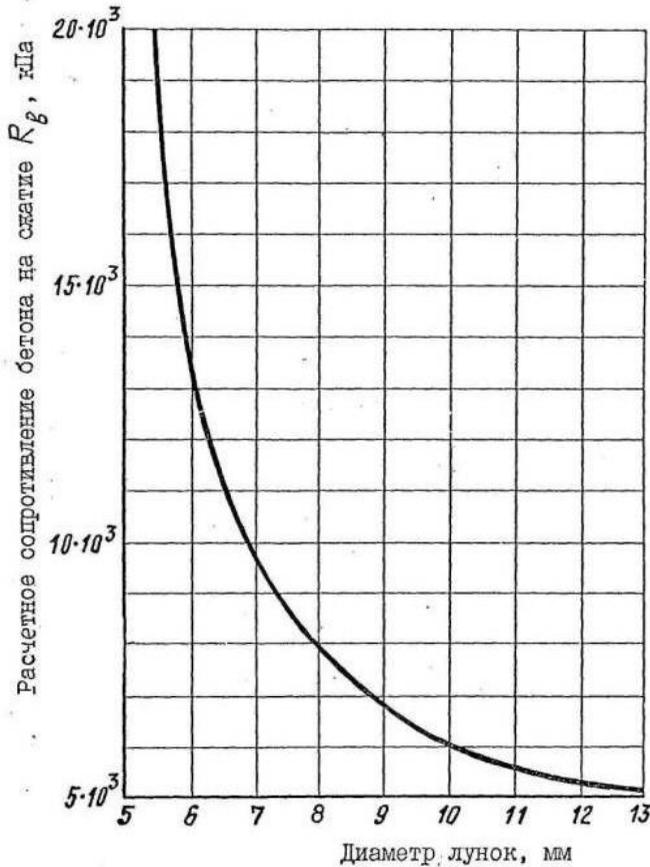


Рис. 3.5. Зависимость прочности бетона на сжатие от диаметра лунки на поверхности материала (молоток Физделя)

Испытания производят ударом молотка по бетону и замером диаметра отпечатка. Выбирают чистую, гладкую, однородную, без вкраплений, поверхность бетона.

На показатель твердости бетона влияет сила удара, а при применении шарикового молотка трудно обеспечить одинаковую силу удара, поэтому этот метод дает большой разброс результатов.

Метод определения прочности бетона молотком Физделя основан на использовании пластических деформаций строительных материалов. При ударе молотком по поверхности бетона локтевым ударом средней силы (локоть руки прижат к поверхности конструкции) по 10-12 ударов на каждом участке конструкции.

Расстояние между отпечатками ударного молотка должно быть не менее 30 мм. Диаметр лунки измеряют линейкой с точностью до 0,1 мм. Из приборов более сложной конструкции, предназначенных для получения ударных отпечатков на поверхности бетона, следует отметить прибор СоюздорНИИ (Е.Е. Гибшмана и В.Г. Донченко), аналогичный по принципу действия рассмотренному выше ударнику Польди для металла, прибор А.М. Губбера, ударяющий по увлажненной поверхности бетона кромкой стального диска. Эти приборы широкого применения не получили.

Прибор позволяет определять прочность бетона на сжатие в пределах от 50 до 600 кг/см².

Оценка прочности бетона склерометром. Приборы этого типа применяются главным образом за рубежом. Из их числа наиболее известен прибор Шмидта (Швейцария).



Рис. 3.6. Электронный молоток Шмидта Digi-Schmidt

В этих приборах, так же как в ударнике Шора для металла, о характеристиках материала судят по величине отскока стального бойка. Отскок фиксируется указателем на шкале. Удар наносится не непосредственно по исследуемой поверхности бетона, а воспринимается наконечником прибора, прижатого к конструкции. Этот промежуточный стальной элемент необходим, поскольку величина отскока при резкой разнице модулей упругости соударяемых материалов становится трудно сопоставимой. Удар осуществляется спуском пружины, а не свободным падением бойка, как у Шора, что позволяет испытывать любым образом ориентированные поверхности. Прибор удобен в работе и дает довольно четкие результаты. Ударники Шмидта применяются у нас в транспортном строительстве при освидетельствовании железобетонных мостов. Имеются несколько измененных конструкций прибора. Предложен также прибор, действующий по принципу отскока падающего маятника.

Электронный молоток Шмидта Digi-Schmidt (рис. 3.6) для испытания бетонных изделий сочетает в себе классический молоток Шмидта Original Schmidt от Proceq и устройство индикации, позволяющее прямое считывание и отображение результатов тестов.

У электронного молотка Digi-Schmidt можно легко настраивать такие параметры как направление удара, форм-фактор и временные факторы, а также глубина карбонизации.

Изделие Digi-Schmidt выпускается в двух версиях: *ND* и *LD*.

Функции и характеристики:

- автоматический расчет прочности на сжатие за счет встроенных кривых преобразований;
- возможно хранение индивидуальных кривых преобразований;
- большой и легко читаемый экран;
- возможны оценка и хранение данных, а также передача их на ПК посредством ПО ProVista.

Сферы применения:

- тип *ND*: используется для испытаний бетонных элементов толщиной 100 мм (3,94") и более;
- тип *LD*: используется для испытаний бетонных элементов толщиной менее 100 мм (3,94") или изделий из искусственно-го камня;
- оба идеально подходят для систематических измерений в больших объемах и обнаружения слабых мест в бетоне, а также для контроля единого стандарта качества бетонных изделий.

Способ стрельбы. Данный способ является своеобразным вариантом динамических оценок прочности материала. В 1933 г. Б.Г. Скрамтаевым была предложена оценка качества бетона по объему лунки, выбиваемой в нем револьверной пулей. Выстрел из «нагана» производился с расстояния 6-8 м от конструкции перпендикулярно ее поверхности с ограждением стреляющего от осколков и возможного рикошета. Объем образовавшихся лунок определяется измерением или, что более точно, по объему замазки, расходуемой на заполнение выбоин. Разброс получаемых результатов, однако, является значительным.

Дальнейшим развитием метода было предложенное несколько позднее Ф.Ф. Поляковым специально сконструированное ружье с подставкой, приставляемой к поверхности элемента. При выстреле в бетон входит стальной ударник, глубина погружения и служила показателем прочности материала. Способ стрельбы нашел практическое применение в испытаниях деревянных конструкций.

Оценка прочности бетона по отпечатку при статическом воздействии. Из числа предложений, основанных на статическом принципе отметим, как наиболее характерное, устрой-

ство для вдавливания штампов, разработанное Г,К Хайдуковым, А.И. Годером и Д.М. Рачевским. В зависимости от марки бетона берутся сферы радиусом 24, 14 и 10 см и гидравлическим домкратом создается усилие 2400, 2000 и 2200 кгс соответственно. Конец стального поршня домкрата, служащий штампом, обработан по сферической поверхности заданного диаметра. Для замера отпечатка на бетоне под поршень укладывают по листу белой и копировальной бумаги. Для крепления всего устройства на исследуемом элементе и создания упора для домкратов имеются стальные захваты в виде массивных скоб.

Существенным преимуществом штампов большого диаметра является передача усилия более значительному объему материала, что позволяет судить о совместной работе всех компонентов бетона. Другие же из рассмотренных ранее приборов (с наконечниками небольших размеров) дают в основном представление о характеристиках затвердевшего раствора между крупными включениями.

К недостаткам установки следует отнести сравнительно большой ее вес, а также возникающие в отдельных случаях трудности закрепления, ограничивающие ее применение.

3.4. Оценка прочности древесины

Метод ударных отпечатков. О прочности древесины судят по диаметру отпечатка (вмятины), позволяющегося на гладко оструганной поверхности элемента при падении стального шарика диаметром 25 мм с высоты 50 см со специальной подставки. Для проб на вертикальных и наклонных гранях применяется спуск горизонтально оттянутого шарика, скрепленного с нитью длиной 50 см.

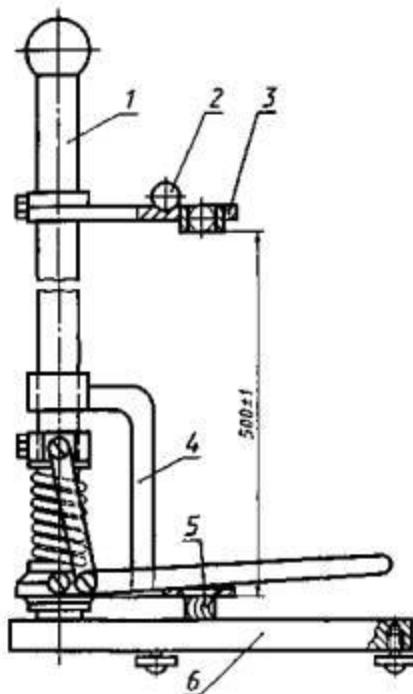


Рис. 3.7. Прибор для определения прочности древесины
 1 – стойка; 2 – шарик; 3 – держатель; 4 – устройство для прижима образца; 5 – образец; 6 – опорная плита

Ударную твердость (H_{wy}) образца при влажности (W) в момент испытания в Дж/см² вычисляют по формуле

$$H_{wy} = \frac{4mgh}{\pi d_1 d_2} \quad (3.2)$$

где m – масса шарика, кг;
 g – ускорение силы тяжести, м/с²;
 h – высота падения шарика, м;
 d_1 и d_2 – размеры отпечатков в направлении поперек и вдоль волокон, см.

Диаметры отпечатка фиксируются с помощью белой и копировальной бумаг, помещенных на исследуемую поверхность в

месте удара. Для перехода от диаметра отпечатка к прочности материала пользуются экспериментальными кривыми, построенными для разных сортов древесины. Для учета влияния влажности вводится поправочный коэффициент.

Способ стрельбы предложен К.П. Кашкаровым. В испытуемый деревянный элемент стреляют из мелкокалиберной винтовки, закрепленной в легком переносном станке. Расстояния от конца винтовочного ствола до поверхности древесины принимаются равным 10 см. Направление простреливания – нормальное к годовым слоям. Глубина погружения пули определяется электрозондом. От среднего арифметического значения глубин погружения при нескольких выстрелах переходят к прочности на сжатие вдоль волокон материала по графикам, построенным экспериментально для соответствующих сортов древесины. Исследования показали, что глубина погружения пули практически не зависит от влажности простреливаемых слоев.

4. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

4.1. Ультразвуковые методы

К акустическим методам неразрушающего контроля относят обширную область исследований, основанную на регистрации параметров упругих колебаний, возбуждаемых или возникающих в контролируемом объекте. Для акустического метода неразрушающего контроля чаще всего применяют звуковые и ультразвуковые частоты, т.е. используют диапазон частот приблизительно от 0,5 кГц до 50 МГц. В случае, когда при контроле используют частоты свыше 20 кГц, допустимо применение термина «ультразвуковой» вместо термина «акустический». Акустические методы неразрушающего контроля решают следующие контрольно-измерительные задачи:

- выявление глубинных дефектов типа нарушения сплошности, расслоения, непроклёп, непропаи;
- обнаружение дефектов типа нарушения сплошности, определяет их координаты, размеры, ориентацию путём прозвучивания изделия и приёма отраженного от дефекта эхо сигнала;
- измерение толщины изделия (иногда применяют для обнаружения зоны коррозионного поражения, непропаев, расслоений в тонких местах из металлов);
- обнаружение и регистрация развивающихся трещин или способных к развитию под действием механической нагрузки;
- контроль клеевых, сварных и паяных соединений, имеющих тонкую обшивку, приклеенную или припаянную к элементам жёсткости;
- обнаружение глубинных дефектов.

Акустические методы подразделяют на две большие группы: активные (основанные на излучении и приеме волн) и пассивные (основаны на приеме волн, источником которых является сам объект контроля). На рисунках 6.1 и 6.2 представлена классификация активных и пассивных методов соответственно. Большинство акустических методов являются ультразвуковыми, хотя известны случаи использования и колебаний звуковой частоты, в частности импедансный метод контроля, используемый при контроле паяных, клеевых или сварных контактной сваркой конструкций.



Рис. 4.1. Классификация акустических методов контроля

Для возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний используют пьезоэлектрический эффект: некоторые материалы (кварц, титанат бария, титанат-цирконат свинца) под действием переменного электрического поля меняют свои размеры с частотой изменения поля. Пьезоэлектрическую пластину помещают в специальном устройстве-пьезопреобразователе. Материалы, используемые в пьезопреобразователях: плексиглас, капролон, фторопласт, полистирол – способствуют гашению отраженной волны, так как имеют большие коэффициенты затухания ультразвуковых колебаний и малую скорость их распространения. Пьезопреобразователи, предназначенные для ввода волны в направлении, перпендикулярном поверхности, называют прямыми, или нормальными, а для ввода под некоторым углом – наклонными, или призматическими. Пьезопреобразователи включаются по раздельной, совмещенной или раздельно-совмещенной схемам. В последнем случае в одном корпусе размещаются два пьезопреобразователя, разделенных между собой экраном. При падении ультразвуковой волны на поверхность раздела двух сред, в частности на границу дефекта, часть энергии отражается, что и используется при контроле.

Акустические методы основаны на возбуждении упругих механических колебаний. По параметрам этих колебаний и условиям их распространения судят о физико-механических характеристиках и состоянии исследуемого материала.

В зависимости от частоты колебаний акустические методы делятся на ультразвуковые (при частотах от 20 тыс. Гц и выше) и методы, основанные на использовании колебаний звуковой (до 20 тыс. Гц) и инфразвуковой (до 20 Гц) частот.

Возбуждение и прием колебаний. Для возбуждения ультразвуковых волн на поверхности исследуемого материала устанавливают преобразователи переменного электрического тока, создающие колебания. Чаще всего применяются преобразователи, действующие по принципу пьезоэффекта. При этом для возбуждения колебаний используется так называемый «обратный», а для приема колебаний – «прямой» пьезоэффекты.

Поскольку воздушные прослойки препятствуют передаче и приему ультразвуковых колебаний, между преобразователями и исследуемым материалом наносят контактирующую среду. Для металла применяют обычное минеральное масло, для бетона и других материалов с неровной поверхностью необходимы смазки более густой консистенции – солидол технический вазелин, эпоксидные смолы и т.д.

Условия прохождения ультразвуковых волн. Ультразвуковые колебания могут быть введены в исследуемую среду узким направленным лучом, т.е. лучом с малым углом расхождения. Колебания частиц происходят лишь в локализованном объеме материала, ограниченным контурами пучка, а исследуемый же элемент в целом остается неподвижным. Эта возможность прозвучивания материала в заданных направлениях является весьма существенной при проведении исследований.

Ультразвуковые волны, переходя из одной среды в другую, преломляются, а также отражаются от граней, разделяющих эти среды, что используется для определения их распространения при данном методе контроля. В воздушных прослойках ультразвуковые колебания затухают почти полностью, что позволяет выявлять и исследовать скрытые внутренние дефекты: трещины, расслоения, пустоты и т.д.

Различают продольные и поперечные волны. В первом случае частицы материала колеблются по направлению ультразвукового луча, а во втором – перпендикулярно к нему. Используют также поверхностные волны как продольные, так и поперечные, распространяющиеся лишь поверхностном слое материала и позволяющие, например в металле, обнаружить самые мелкие поверхностные повреждения. Скорость распространения волн (своя для каждого из указанных видов материалов) является одним из

основных показателей при оценке физико-механических характеристик и состояний бетона, древесины и других материалов с переменными плотностью и влажностью.

Способы прозвучивания. По направлению ультразвуковых волн различают два основных приема прозвучивания. Сквозное – когда излучатель, возбуждающий колебания, и приемник, воспринимающий их, расположенных сторон исследуемого объекта. Направление ультразвукового луча по отношению к поверхности материала может быть при этом как нормальным, так и наклонным, а также с использованием отражения или «эхо-метода», когда излучатель и приемник располагаются на одной и той же стороне, что особенно важно при возможности лишь одностороннего доступа к объекту. Кроме того, эхо-метод удобен при использовании не двух, а одного приемно-передающего преобразователя, который последовательно посылает упругие волны и сам же принимает их отражения.

По характеру излучения необходимо различать:

1) метод непрерывного излучения с подачей к излучателю колебаний переменного тока постоянной частоты. По такому принципу были разработаны первые дефектоскопы для выявления дефектов в материале по направлению звуковой тени;

2) импульсный метод, получивший сейчас самое широкое применение как наиболее эффективный при исследовании бетона, при дефектоскопии сварных швов металлоконструкций и др. В этом случае к преобразователю через определенные достаточно малые промежутки времени (25 или 50 раз в 1 сек) подаются короткие серии колебаний высокой частоты.

Регистрация ультразвуковых колебаний производится с помощью специальной аппаратуры. Наиболее распространенной является передача электрических колебаний от приемного преобразователя через усилитель на экран электроннолучевой трубки катодного осциллографа. С большой точностью при этом могут быть определены скорость прохождения ультразвуковых колебаний через исследуемый материал, интенсивность их затуханий, а также другие показатели, используемые при оценке результатов измерений.

4.2. Область применения ультразвуковых методов

Определение динамического модуля упругости. Скорость распространения упругих колебаний v связана с динамиче-

ским модулем упругости $E_{\text{дин}}$ и плотностью ρ проверяемого материала соотношением

$$v = \sqrt{\frac{E_{\text{дин}}}{\rho}} \quad (4.1)$$

справедливым для случая продольных колебаний в стержне (одномерная задача).

Определив экспериментально скорость распространения волны колебаний в элементе, длина которого велика по сравнению с его поперечными размерами, находим $E_{\text{дин}} = v^2 \cdot \rho$, если плотность материала известна.

В массивных конструкциях, т.е. для случаев трехмерной (пространственной) и двухмерной задач, а также для поперечных колебаний зависимость между $E_{\text{дин}}$ и v определяется более сложными соотношениями, в которые кроме ρ входит также коэффициент Пуассона μ рассматриваемого материала.

Для одновременного нахождения всех трех параметров ($E_{\text{дин}}$, ρ и μ) необходимо сопоставление по крайней мере трех экспериментов по определению v , произведенных в разных условиях с применением продольных и поперечных колебаний и в конструкциях разной размерности – пространственной плитных и стержневых.

Определение толщины элемента при одностороннем доступе. В серийно выпускаемых для этой цели толщиномерах используется непрерывное излучение продольных ультразвуковых волн регулируемой частоты. Дойдя до противоположной грани объекта, волна отражается и идет в обратном направлении. Если проверяемый размер h точно равен длине полуволны (или кратен этой величине), а противоположная грань соприкасается с менее плотной средой, то прямые и отраженные волны совпадают. Амплитуды колебаний самой пьезопластики при этом резко возрастают (явление резонанса), что сопровождается соответствующим увеличением разности потенциалов на ее поверхностях.

Замерив соответствующую резонансную частоту f и зная скорость распространения волн по длине $2f$ (суммарный ход пря-

мого и отраженного лучей), находим проверяемую толщину по формуле:

$$h = \frac{v}{2f}. \quad (4.2)$$

Для стали скорость продольных ультразвуковых волн практически постоянна ($v = 5,7 \cdot 10^5$ см/сек), что дает возможность, меняя частоту в пределах от 20 до 100 тыс. Гц, надежно измерять толщину стенок от долей миллиметра до нескольких сантиметров.

Определение глубины трещин в бетоне. Излучающий и приемный преобразователи A и B (рис. 4.2) располагаются симметрично относительно краев трещины на расстоянии a друг от друга. Колебания, возбужденные в точке A , попадут в точку B по кратчайшему пути:

$$ACB = \sqrt{4h^2 + a^2}, \quad (4.3)$$

где h – глубина трещины.
При скорости v на это потребуется время

$$t_h = \sqrt{\frac{4h^2 + a^2}{v}}, \quad (4.4)$$

определяемое экспериментально.
Глубину трещины находим из соотношения

$$h = \frac{v}{2} \sqrt{t_h^2 - \left(\frac{a}{v}\right)^2}, \quad (4.5)$$

где скорость v определяется обычно на неповрежденных участках поверхности.

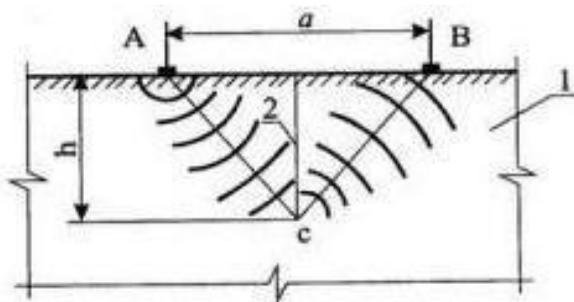


Рис. 4.2. Определение глубины поверхностной трещины в бетоне:
 1 – бетонный массив; 2 – трещина; А – изучающий и
 В – приемный преобразователи

По указанному методу могут быть исследованы трещины глубиной до нескольких метров.

Следует, однако, иметь в виду следующее:

1) значения v на поверхности и в глубине массива могут несколько отличаться;

2) длина пути ABC немного возрастает в случае не вертикального расположения трещины и, наоборот, может существенно уменьшиться при наличии в трещине воды, являющейся хорошим проводником ультразвуковых волн.

В ответственных случаях возможно получить данные для глубоких трещин. Отметим также другие практически наиболее важные области применения ультразвуковых методов.



Рис. 4.3. Тестер для измерения глубины трещин в бетоне ТС-200

Тестер для измерения глубины трещин в бетоне ТС-200 современный электронный прибор неразрушающего контроля для оценки состояния железобетонных конструкций. Прибор позволяет проводить измерения глубины трещин в бетоне. При измерениях используется метод акустической дифракции. На экране отображается абсолютная величина значения глубины трещины. Результаты измерений сохраняются в память прибора и могут использоваться для дальнейшей обработки.

Технические характеристики измерителя ТС 200:

Глубина измерения трещин	до 500 мм
Точность	≤5 мм (при глубине трещины менее 50 мм) ≤10%W*(при глубине трещины более 50мм)
Память	25000 измерений
Питание	AA батарея (6 штук)
Размер	210x153x90 мм
Вес	880 грамм
W* – значение глубины трещины	

В бетонных и железобетонных конструкциях производится:

Методы неразрушающего контроля в строительстве

– определение прочности бетона по корреляционным зависимостям между скоростью распространения ультразвуковых волн и прочностью бетона на сжатие, устанавливаемым путем параллельных ультразвуковых и прочностных испытаний образцов бетона заданного состава и режима изготовления (при контроле вновь изготавливаемых конструкций и деталей) или образцов, извлеченных из возведенных сооружений. В случае невозможности отбора образцов из уже эксплуатируемых конструкций ориентировочное определение прочности бетона возможно по тарировочной зависимости;

– контроль однородности бетона в сооружениях;

– выявление и исследование дефектов в бетоне сквозным прозвучиванием (возможным и при значительных толщинах бетона – до 10 м и более) и путем измерений на поверхности конструкций. О наличии и характере дефектов и повреждений судят при этом по изменению скорости прохождения ультразвуковых волн в пределах отдельных участков поверхности (так называемый метод годографа, т.е. графика скоростей);

– определение толщины верхнего ослабленного слоя бетона, расположения слоев разной плотности и т.п.

Наличие арматуры в железобетонных конструкциях не мешает применению ультразвуковых методов, если направление прозвучивания не пересекает арматурные стержни и не совпадает с ними.

В металлических конструкциях:

– импульсная дефектоскопия швов сварных соединений в стальных и алюминиевых конструкциях;

– дефектоскопия основного материала;

– толщинометрия (определение толщины защитных металлических покрытий; выявление ослабления сечений коррозией).

Сложный профиль арматурных соединений практически не позволяет обнаруживать трещины и несплавления и затрудняет выявление объемных дефектов (вероятность выявления 50%). В стыковых соединениях металлических конструкций этим методом уверенно обнаруживаются лишь объемные дефекты (поры и шлаковые включения), а трещиноподобные дефекты, по данным многочисленных исследований, обнаруживаются с вероятностью 35... 40%. Из-за низкой оперативности радиографического контроля невозможно своевременно предупредить брак. Кроме того, радиографический метод не лишен субъективности в оценке результа-

тов контроля. Отмечается, что из 5600 заключений, выданных радиографами, в отличие от ультразвуковой дефектоскопии, верная оценка дана только в 3696 случаях (66 %), а при оценке качества сварных стыков газопроводов в пяти из девяти случаев ни один опытный радиограф не обнаружил трещины, которые были подтверждены металлографическим анализом. В следствии этого в лабораториях разрабатывались другие методы неразрушающего контроля, одним из них и является ультразвуковая дефектоскопия.

В деревянных конструкциях и конструкциях с применением пластмасс:

- проверка физико-механических характеристик;
- проверка качества и дефектоскопия основного материала;
- дефектоскопия клеевых соединений и стыков.

Ультразвуковой дефектоскоп УД2В-П45.Lite. Дефектоскоп УД2В-П45.Lite предназначен для обнаружения дефектов в полуфабрикатах, готовых изделиях и сварных соединениях, для измерения глубины и координат залегания дефектов, УЗ толщинометрии, измерения скорости распространения ультразвуковых колебаний (УЗК) в материале при проведении контроля качества. Новая модель ультразвукового дефектоскопа УД2В-П45.Lite оснащена цветным дисплеем нового поколения адаптированным для работы на ярком солнечном свете и при отрицательных температурах. Сохраняя возможности аналоговой обработки и имея полностью цифровой тракт, прибор имеет все функции дефектоскопов УД2В-П46 кроме сохранения результатов контроля и связи с ПК. Ультразвуковой дефектоскоп УД2В-П45.Lite может быть в дальнейшем модернизирована до версии УД2В-П46.



Рис. 4.4. Ультразвуковой дефектоскоп УД2В-П45.Lite

Дефектоскоп УД2В-П45 Lite зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений. Прибор имеет положительные отзывы российских специалистов неразрушающего контроля и ведомственные допуски к работе на опасных производственных объектах, а так же на объектах морского и речного транспорта. Прибор сделан в России и адаптирован к суровым условиям эксплуатации (-25 С до +55 С°). Надежность прибора подтверждается 3х летней гарантией.

Прибор ПУЛЬСАР-2.1. Назначение и применение пульсар 2.1:

Прибор ПУЛЬСАР-2.1 предназначен для:

- контроля прочности, однородности и класса бетона (ГОСТ 17624, Методические рекомендации МДС 62-2.01), кирпича (ГОСТ 24332) и других материалов на основании измерения в них времени и скорости распространения ультразвука;
- обнаружения пустот, трещин и других дефектов, при технологическом контроле и обследовании объектов, измерение глубины поверхностных трещин;

Методы неразрушающего контроля в строительстве

- оценки степени зрелости бетона при монолитном бетонировании;
- определения плотности и модуля упругости материалов, звукового индекса абразивов;
- оценки пористости, трещиноватости и анизотропии материалов.

Благодаря повышенному напряжению возбуждения УЗ-колебаний и улучшенному соотношению «сигнал-шум» ПУЛЬСАР-2.1 работоспособен на больших базах прозвучивания.



Рис. 4.5. Прибор ПУЛЬСАР-2.1

ПУЛЬСАР-2.1 обладает универсальным датчиком на излучение и прием с повышенной отдачей. Датчик поверхностного прозвучивания с фиксированной базой:

- ручка из сверхлегкого и прочного инновационного материала позволяет контролировать объекты с низкой прочностью при минимальных скоростях УЗК от 1200 м/с;
- измерительная база 120 мм, необходимая для градуировки прибора по 100 мм образцам-кубам;
- эллиптические износостойкие протекторы для сухого точечного контакта.

Основные функции: вычисление прочности и класса бетона; определение глубины трещины; вычисление плотности, модуля упругости материалов и звукового индекса материалов; универсальные (по ГОСТ 17624 и рекомендациям ЦНИИОМТП) и индиви-

Методы неразрушающего контроля в строительстве

дуальные градуировочные характеристики для бетона с возможностью задания названий материалов; до 1000 протоколов контроля с результатами измерений, датой и сведениями об объекте контроля.

Технические характеристики:

Диапазон показаний времени, мкс	10...20000
Диапазон измерения времени, мкс	10...100
Разрешающая способность, мкс	0,05
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения времени, мкс	$\pm(0,01t + 0,1)$
Диапазон измерения скорости, м/с	1000....10000
Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерения скорости, м/с	$\pm(0,01v + 10)$
Пределы допускаемой дополнительной абсолютной погрешности измерения скорости и времени при отклонении температуры окружающей среды на каждые 10 °С в пределах рабочего диапазона, в долях от основной погрешности, не более	0,5
Напряжение возбуждения, В	до 600
Рабочие частоты УЗК, кГц	$60 \pm 10 / 20...200$
Объем памяти, Гбайт	до 4
Разрешение дисплея LCD	320x240
Габаритные размеры электронного блока, мм, не более	205x115x35

4.3. Импульсные звуковые методы

Метод «ударной волны». Он основан на изменении скорости распространения единичных импульсов, возбужденных ударом легкого молотка или специальными приспособлениями, например электрического действия, для нанесения небольших ударов заданной силы. Для приема и регистрации сигналов может быть использована та же аппаратура, что и при ультразвуковом методе.

Этот метод используется для контроля асфальтового и цементного бетонов в дорожных и аэродромных покрытиях и может быть применен также для испытаний длинномерных (до 30 м) бетонных и железобетонных элементов.

Вибрационный метод. Данный метод основан на использовании колебаний звуковой частоты и применяется при испытании образцов бетона.

Рассматриваемый метод полезен при сооружении дорожных и аэродромных покрытий для получения быстрой и надежной информации о ходе технологического процесса и может также быть положен в основу автоматического управления.

При этом о характеристиках материала судят по частотам, соответствующим резкому увеличению измеряемых амплитуд при наступлении явления резонанса, откуда и другое название метода – «резонансный» (рис. 4.5).

Метод «бегущей волны» (рис. 4.6). При этом оригинальном методе к регистрирующему прибору, помимо сигналов, воспринимаемых приемным преобразователем, подводятся также сигналы генератора, возбуждающего непрерывные колебания. В результате сложения этих сигналов на экране электронно-лучевой трубки появляются характерные изображения фигур Лиссажу. Меняя частоту в пределах ультразвукового и звукового диапазонов, а также положение и тип приемных преобразователей, можно наблюдать изображения, соответствующие продольным, поперечным и поверхностным волнам и по ним оценивать характеристики материала на разной глубине его нахождения.

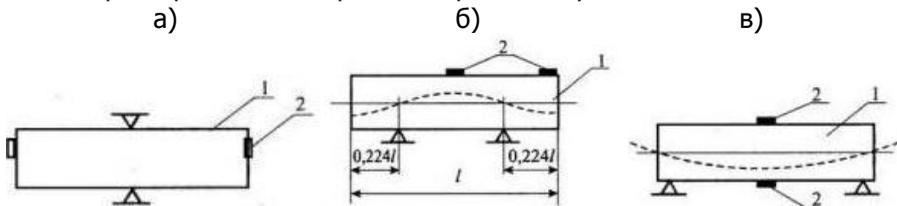


Рис. 4.6. Испытание образцов бетона резонансным способом:
 а – возбуждение продольных; б и в – изгибных колебаний;
 1 – испытуемый эталон; 2 – пьезопреобразователи

5. МАГНИТНЫЕ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ

5.1. Дефектоскопия металла

Магнитные методы неразрушающего контроля на анализе взаимодействия контролируемого объекта с магнитным полем и применяются, как правило, для обнаружения внутренних и поверхностных дефектов объектов, изготовленных из ферромагнитных материалов.

К основным магнитным методам относят магнитопорошковый, феррозондовый, индукционный и магнитографический метод. Самым распространённым и надёжным среди методов неразрушающего контроля своего вида является магнитопорошковый – основанный на возникновении неоднородности магнитного поля над местом дефекта.

Сущность метода заключается в том, что магнитный поток, проходящий в металле и пересекающий трещину или иной дефект, встречает большое магнитное сопротивление в виде прослойки воздуха или неферромагнитные включения, а силовые линии, искривляясь, выходят на поверхность, что обуславливает возникновение местных потоков рассеяния.

Для реализации метода необходимо подготовить поверхность контролируемого объекта, намагнитить ее и обработать магнитной суспензией. Металлические частицы, попавшие в неоднородное магнитное поле, возникшее над повреждением, притягиваются друг к другу и образуют цепочные структуры (рис. 5.1), выявляемые при осмотре деталей.

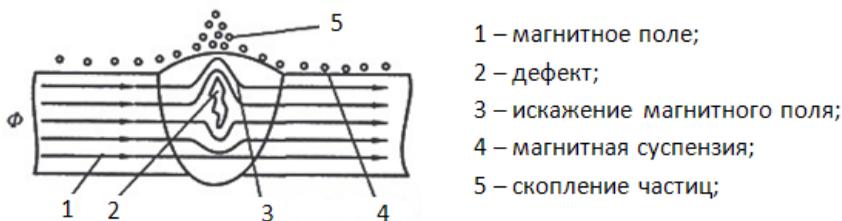


Рис. 5.1. Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля

Рассеивание будет тем значительнее, чем больше вызывающий его дефект. В одинаковых условиях наибольшим является

влияние дефекта, расположенного перпендикулярно к направлению силовых линий.

Намагничивание производится с помощью электромагнитов с использованием индукционных токов, циркулярным намагничиванием (т.е. с пропуском тока непосредственно через исследуемый элемент) и т.д. Необходимость намагничивания в двух взаимно перпендикулярных направлениях для выявления различным образом ориентированных дефектов отпадает при применении комбинированного метода – с одновременным воздействием как постоянного поля электромагнитов, как и циркулярного поля переменного тока, что обуславливает переменное направление намагничивания. Выявление дефектов производится различными методами.

Порошковый метод является самым простым и наиболее доступным. В нем применяются мелкоразмолотые ферромагнитные порошки – железный сурик, окалину и т.п., выбирая цвет порошка контрастным по отношению к цвету предварительно зачищенной проверяемой поверхности. Порошок наносится или сухим способом (напылением) либо в виде водной суспензии, что предпочтительнее при контроле строительных конструкций, или керосино-масляной (это прием целесообразен при контроле смазанных маслом деталей механизмов).

Над местами расположения дефектов порошок оседает в виде хорошо заметных скоплений. Четче всего выявляются поверхностные дефекты. Неровности сварных швов не мешают выявлению поверхностных дефектов, но затрудняют исследование расположенных в глубине. Так, например, в швах толщиной 10 мм удовлетворительно в виде прямых линий выявляются непровары, расположенные на расстоянии 2 – 4 мм от поверхности и идущие в глубину на 3 – 5 мм.

Магнитографический метод широко применяется при контроле сварных швов металлических трубопроводов. Намагничивание производится соленоидами, охватывающими или всю трубу, или часть ее периметра при больших диаметрах. Витки соленоида располагаются параллельно по обеим его сторонам. Для фиксации потоков рассеивания на шов накладывается магнитная лента, аналогичная применяемой в магнитной звукозаписи, но несколько большей ширины. Используемые ленты размагничиваются и становятся вновь пригодными к употреблению.

Для расшифровки записи используют звуковые индикаторы или устройства для визуального наблюдения импульсов на экране

электронно-лучевой трубки и сопоставления их с импульсами от эталонированных дефектов.

Указанным методом может производиться сплошная проверка швов. Для контроля наиболее серьезных из отмеченных дефектов дополнительно просвечиваются ионизирующими излучениями. Такое комбинированное использование разных методов оказывается весьма эффективно.

Применение магнитоскопов. Сигналы о наличии дефекта в производственных условиях преобразуются обычно в звуковые, но могут быть использованы как показывающие, так и регистрирующие приборы (измерители тока или напряжения, осциллографы и т.д.).

Основным недостатком приборов рассматриваемого типа является довольно значительная длина базы их чувствительных элементов (в данном случае сердечника), что затрудняет уточнение границ и протяженности дефектов, поскольку регистрируются усредненные данные по длине базы искателя.

Эти затруднения в значительной степени устраняются при пользовании феррозондами в виде малогабаритных линейных сердечников сечением до 1 – 3 мм с катушками.

5.2. Магнитные толщиномеры

С помощью магнитных и электромагнитных приборов толщина элементов из ферромагнитных металлов определяется с точностью до нескольких процентов, требуя доступа лишь с одной стороны. При этом используется существующая зависимость между регистрируемой величиной магнитного потока и толщиной исследуемого материала. Приборы такого типа просты и надежны в работе.

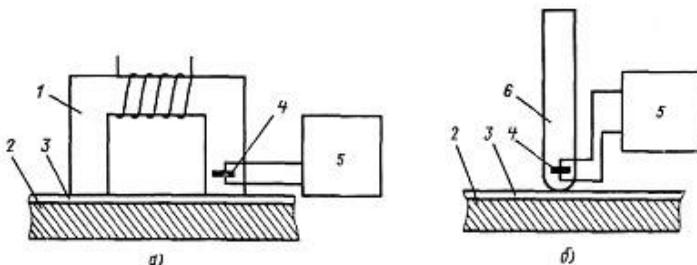


Рис. 5.2. Схема магнитного толщиномера
 а – прибор с П-образным электромагнитом; б – прибор со стержневым постоянным магнитом; 1 – электромагнит;

- 2 – ферромагнитное изделие; 3 – немагнитное покрытие;
 4 – преобразователь; 5 – измерительный прибор;
 6 – постоянный магнит

Магнитными и электромагнитными методами с большой точностью могут быть измерены также толщины защитных покрытий на металлических элементах.

Магнитный толщиномер МТ-2007



Рис. 5.3. Магнитный толщиномер МТ-2007

Магнитный толщиномер покрытий МТ-2007 предназначен для измерения толщины лакокрасочных, гальванических, огнезащитных и любых других немагнитных токопроводящих и непроводящих покрытий на ферромагнитных (сталь, чугун и пр.) основаниях.

Диапазон измерения

ТМ0.7-01:	2-500 мкм
ТМ2-01:	5-2000 мкм
ТМ20-01:	50-20000 мкм

Погрешность измерения, не более

ТМ0.7-01:	3%+1 мкм
ТМ2-01:	3%+1 мкм
ТМ20-01:	3%+10 мкм

Методы неразрушающего контроля в строительстве

Минимальная толщина основания	
ТМ0.7-01:	0,5 мм
ТМ2-01:	0,5 мм
ТМ20-01:	0,8 мм
Минимальный радиус кривизны выпуклой/вогнутой поверхности	25/200 мм
Диаметр минимальной зоны контроля	
ТМ0.7-01:	10 мм
ТМ2-01:	20 мм
ТМ20-01:	50 мм
Память	8 страниц по 124 значения
Габариты электронного блока	45 x 100 x 180 мм
Габариты преобразователя	
ТМ0.7-01:	12 x 60 мм
ТМ2-01:	16 x 60 мм
ТМ20-01:	19 x 85 мм
Диапазон рабочих температур, °С	-10...+40

5.3. Определение напряжений с помощью магнитоупругого тестера

Метод, основанный на возникновении анизотропии под действием приложенных напряжений. Из числа приборов, работающих по данному принципу, следует отметить прибор конструкции Н.Н. Максимова, схема преобразователя которого (три сердечника с пятью катушками) показана на рис. 5.4.

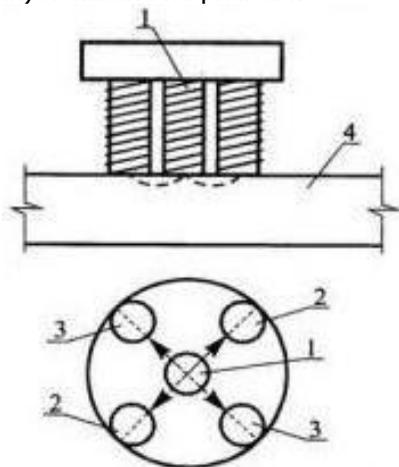


Рис. 5.4. Схема чувствительного элемента прибора Н. Н. Максимова для определения остаточных напряжений:
 1 – питающая катушка; 2 и 3 – измерительные катушки;
 4 – исследуемый элемент.

В центре сердечника расположена питающая катушка 1, по диагоналям его – две пары измерительных катушек (2 и 3). Магнитный поток из средней катушки, попадая в исследуемый материал, рассредоточивается в основном по четырем направлениям. При одинаковой магнитной проницаемости потоки будут равны, а при наличии магнитной анизотропии – различны, что измеряется прибором.

Измерительная схема построена таким образом, что электродвижущая сила катушек может определяться как в каждой диагонали в отдельности, так и по их разности и сумме. При измерениях «на разность», поворачивая сердечник в плане, по экстремумам отсчетов выявляется направление главных напряжений в металле. По повторным измерениям при одинаковом положении сердечника можно судить о постоянстве напряженного состояния в данной точке или об его изменении. При измерениях «по сумме» можно судить о величине главных напряжений.

Необходимо иметь в виду следующее:

- магнитный поток, проходя в поверхностном слое металла, характеризует напряженное состояние лишь в поверхности элемента;
- на результаты измерений оказывает значительное влияние начальная магнитная анизотропия металла;
- при последовательных нагрузках и разгрузках появляются петли магнитного гистерезиса, не связанные с механическими напряжениями.

Другим перспективным направлением оценки напряженного состояния металла по его магнитным характеристикам является метод «магнитных меток». Сущность его заключается в наведении внешним магнитным полем остаточной намагниченности в отдельных локализованных зонах исследуемого металла. При изменении напряженного состояния последнего меняется и намагниченность этих «меток», являющихся таким образом своеобразными индикаторами механических напряжений.

Наведение и индикация намагниченности меток производятся с помощью специальных переносных приборов.

Рассматриваемый метод предложен для контроля натяжения арматуры в железобетонных конструкциях. Как наведение, так и индикация состояния гранитных меток, могут осуществляться на оголенной арматуре до ее бетонирования и в уже забетонированных деталях и конструкциях – через защитный слой бетона.

Необходимо подчеркнуть следующее:

- данным методом выявляется лишь изменение напряженного состояния по сравнению с имевшим место при нанесении меток;

- переход от измерения остаточной намагниченности меток к механическому напряжению в арматуре может быть произведен лишь при наличии экспериментально установленной зависимости для данной арматуры, поскольку для разных марок металла эта зависимость не является стабильной;

- чередование нагрузок и разгрузок сопровождается появлением петель магнитного гистерезиса. Для исключения их влияния требуется повторное нанесение меток перед переменной знака изменения напряжения.

Возможны и другие методы оценки напряженного состояния металла, например, по изменению электрического сопротивления (проводимости), успешно разрабатываемые в настоящее время. Приборы рассматриваемого типа надежны и удобны в применении.

5.4. Приборы магнитно-индукционного типа

Для выявления положения и глубины залегания арматуры предложены магнитометрические приборы, состоящие из двух постоянных магнитов, в центральной части магнитного поля которых расположен на оси небольшой магнит, соединенный со стрелкой-указателем. При приближении к арматуре напряженность магнитного поля в средней точке изменяется, что обуславливает возникновение магнитного момента, поворачивающего маятник со стрелкой. Экстремум отклонения указателя соответствует расположению прибора на поверхности контролируемого изделия над осями арматурных стержней, а отклонение стрелки указывает на толщину защитного слоя.

Вихретоковый метод контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля (ОК) этим полем. В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется

Методы неразрушающего контроля в строительстве

индуктивная катушка (одна или несколько), называемая вихретоковым преобразователем (ВТП). Синусоидальный (или импульсный) ток, действующий в катушках ВТП, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электромагнитном объекте. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя, наводя в них ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение на катушках или их сопротивление, получают информацию о свойствах объекта и о положении преобразователя относительно его. Особенность вихретокового контроля в том, что его можно проводить без контакта преобразователя и объекта. Их взаимодействие происходит на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта (от долей миллиметров до нескольких миллиметров). Поэтому этими методами можно получать хорошие результаты контроля даже при высоких скоростях движения объектов.

Вихретоковый метод применяется в основном для контроля качества электропроводящих объектов: металлов, сплавов, графита, полупроводников и т. д. Приборы и установки, реализующие вихретоковый метод, широко используются для обнаружения несплошностей материалов (дефектоскопия и дефектометрия), контроля размеров ОК и параметров вибраций (толщинометрия и виброметрия), определения физико-механических параметров и структурного состояния (структуроскопия), обнаружения электропроводящих объектов (металлоискатели) и для других целей. Объектами вихретокового контроля могут быть электропроводящие прутки, проволока, трубы, листы, пластины, покрытия, в том числе многослойные, железнодорожные рельсы, корпуса атомных реакторов, шарики и ролики подшипников, крепежные детали и многие другие промышленные изделия.

Дефектоскопы, реализующие вихретоковый метод, предназначены для обнаружения различных трещин, расслоений, закатов, раковин, неметаллических включений и т. д. В частности, нашей фирмой разработан дефектоскоп ВД-701 с проходным ВТП, позволяющий контролировать протяженные объекты (трубы, прутки, проволоку с поперечными размерами от 5 до 121мм).

Толщинометры, основанные на вихретоковом методе, применяются для контроля толщины электропроводящих листов, пленок, пластин, покрытий на них, стенок труб, цилиндрических и сферических баллонов и т. д. В частности, толщиномер ВТ-201, имеющий накладной ВТП, предназначен для измерения толщины

неметаллических покрытий (краска, эмаль, пластик и т. д.) на металлическом основании (алюминий, медь, титан). Толщиномер листов ВТ-501, имеющий экранный вихретоковый преобразователь, предназначен для контроля толщины листов цветных металлов.

Шкала отсчетного устройства прибора проградуирована в миллиметрах защитного слоя для арматурных стержней разного диаметра.

Установив расположение стержней, передвигают преобразователь вдоль контролируемого стержня до положения, соответствующему минимальному отсчету, следя за тем, чтобы преобразователь находился между пересечениями арматуры. Записав толщину защитного слоя по шкалам всех диаметров, повторяют отсчет, поместив между бетоном и преобразователем прокладку, толщиной 10 мм из оргстекла, дерева или другого диамагнетика. Диаметр арматуры будет соответствовать той из шкал, разность отсчетов по которой окажется равной именно 10 мм.

Магнитно-вихретоковый дефектоскоп ВИД-345



Рис. 5.5. Магнитно-вихретоковый дефектоскоп ВИД-345

Методы неразрушающего контроля в строительстве

Магнитно-вихретоковый дефектоскоп ВИД-345 предназначен для выявления и определения глубины стресс-коррозионных трещин в ферромагнитных конструкциях, в т. ч. под слоем изоляционного покрытия и/или коррозии, а так же для контроля толщины изоляционного покрытия на контролируемом изделии.

Дефектоскоп реализует комбинацию магнитного и вихретокового методов выявления дефектов, что позволяет обеспечить контроль изделий с грубой, скоррогированной поверхностью и работу через слой изоляционного покрытия переменной толщины без дополнительных перестроек.

Типовые объекты контроля – трубы, трубопроводы, нефтегазопроводы, сосуды, сосуды давления, объекты энергетического производства, детали конструкций, машин и механизмов.

Одновременное выявление и определение глубины стресс-коррозионных трещин, толщины изоляционного покрытия и/или коррозии в процессе сканирования.

Постоянный контроль толщины изоляционного покрытия в процессе сканирования дает возможность выявления коррозионных язв.

Оснащение/дооснащение дополнительными сменными датчиками.

Металлические корпуса электронного блока дефектоскопа и датчиков для обеспечения эксплуатации в жестких полевых условиях.

Контактная поверхность датчиков из кварца обеспечивает стойкость к истиранию.

Оперативная подстройка (корректировка) показаний прибора.

Регулируемые пороговые устройства по минимально выявляемой глубине трещины и толщине изоляционного покрытия.

Технические характеристики

Минимальная глубина выявляемой трещины	0,3 мм
Минимальное раскрытие трещины	0,05 мм
Минимальная длина выявляемой трещины	5 мм
Диапазон определения глубины трещины	0,5 – 5 мм
Погрешность определения глубины трещины	0,1 + 0,1h
Диапазон определения толщины изоляции	0 – 10 мм
Погрешность определения толщины изоляции	0,1 + 0,1h
Максимальная толщина изоляции позволяющая производить определение глубины трещины	4 мм
Максимальная толщина изоляции позволяющая	

Методы неразрушающего контроля в строительстве

производить поиск трещины	10 мм
Диапазон рабочих температур	-15 ... +40 °С
Размеры электронного блока дефектоскопа	150 x 80 x 35 мм
Размеры штатного датчика дефектоскопа	25 x 25 x 50 мм
Вес электронного блока дефектоскопа	0,5 кг

Определение влажности древесины. По замеренному электрическому сопротивлению можно судить о состоянии материала в конструкции, пользуясь соответствующими зависимостями между электропроводимостью и влажностью для данного сорта древесины.

Измерения производятся с помощью игольчатых электродов, заглубляемых в древесину на 5 – 10 мм, что характеризует электросопротивление ее поверхностного слоя. Для элементов, эксплуатируемых в течение длительного времени при постоянном температурно-влажностном режиме (например, для внутренних несущих конструкций в сооружениях). По этим данным можно судить о влажности по всей толщине сечений элементов.

Влагомер "ВИМС-1"



Рис. 5.6. Влагомер "ВИМС-1"

Назначение и принцип действия:

Методы неразрушающего контроля в строительстве

Прибор основан на диэлькометрическом методе измерения влажности.

Предназначен для оперативного неразрушающего контроля влажности строительных материалов, конструкций, и сооружений в процессе их создания и эксплуатации.

Виды контролируемых материалов – сыпучие, твёрдые, волокнистые.

Технические характеристики:

Диапазон измерения влажности (%):

Бетон:

- | | |
|-----------|--------|
| - тяжёлый | 0...5 |
| - лёгкий | 1...20 |

Кирпич:

- | | |
|----------------|--------|
| - керамический | 1...15 |
| - силикатный | 1...5 |

Песок

1...15

Древесина различных пород

2...60

Погрешность

3%

Масса, кг:

0,4

Размеры, мм:

145x70x25

6. МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

6.1. Область применения рентгеновского и гамма-излучений

Неразрушающий контроль с помощью ионизирующих излучений эффективно используют во всех областях народного хозяйства. В настоящее время в строительстве широко применяют контроль рентгеновскими и гамма-излучениями для оценки физико-механических характеристик материалов и качества конструкций. При определении влажности материала оказывается целесообразным использование потока нейтронов.

Преимуществом применения ионизирующих излучателей является возможность быстрого и четкого получения определяемых характеристик. Работа с соответствующей аппаратурой хотя и не сложна, но требует наличия подготовленного для этой цели персонала. Необходимо также тщательное соблюдение требований техники безопасности во избежание вредного влияния ионизирующих излучений на организм человека.



Рис. 6.1. Разновидности ионизирующих излучений, используемых в РНК

Наиболее важные направления для исследований дефектов в металлических конструкциях следующие.

Дефектоскопия сварных соединений. На рис. 6.2 схематически показано просвечивание сварного шва. Наличие и положение дефекта выявляется на получаемом фотоснимке по более затемненному участку, воспроизводящему очертания отмечаемого дефекта. О величине его в направлении просвечивания судят, сравнивая интенсивность вызванного им затемнения, соответствующим пропилам разной глубины на эталоне чувствительности из аналогичного материала, проецируемым на этот же снимок. Глубина расположения дефекта выявляется смещением источника излучения параллельно фотопластинке.

При дефектах одинакового размера и формы интенсивность потемнения будет наибольшей при совпадении направления дефекта с направлением просвечивания.

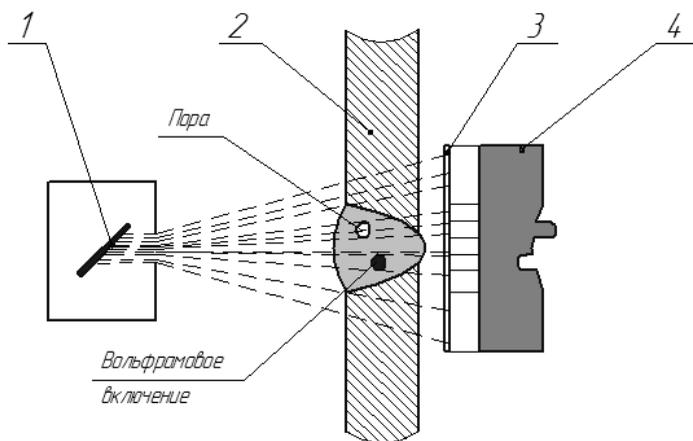


Рис. 6.2. Схема просвечивания сварного шва

При расположении дефекта под некоторым углом излучения будут пересекать его по меньшему протяжению. Минимальная длина до пересечения, а следовательно, и наименьшая интенсивность потемнения, соответствует ориентировке дефекта перпендикулярно направлению просвечивания (рис. 6.2).

Дефекты незначительной толщины могут при этом остаться и не обнаруженными. Отсюда следует вывод, что при применении ионизирующего излучения могут быть пропущены серьезные дефекты, но с малым раскрытием в направлении просвечивания (например, расслоение металла). Во избежание этого просвечи-

вание следует производить по двум несовпадающим направлениям.

В то же время именно перпендикулярные к заданному направлению дефекты наиболее четко устанавливаются ультразвуковыми методами, поскольку даже самые незначительные воздушные прослойки почти полностью гасят волны ультразвуковых колебаний. Оба метода контроля – ультразвуковой и с помощью ионизирующих излучений – таким образом, дополняют друг друга.

Определение напряженного состояния металла. Зная длину волны монохроматического рентгеновского излучения и угол падения его лучей на поверхность проверяемой детали, можно на основании замеров на соответствующих рентгенограммах вычислить основной параметр кристаллической структуры исследуемого материала – расстояние между центрами атомов в его кристаллической решетке. Сопоставляя полученное значение с величиной того же параметра в ненапряженном состоянии, можно определить упругую деформацию материала.

Таким образом, может быть выделена (что без нарушения сплошности неосуществимо другими методами) упругая составляющая деформированного состояния металла: в сварных швах после их остывания, в зонах резких перепадов напряжений, в деталях, обработанных давлением, например, гнутых профилях и т.д. Измерения при этом производятся (что тоже очень существенно) на весьма малых участках поверхности (порядка десятых долей мм²).

Однако рассматриваемый метод требует применения сложной аппаратуры и большой тщательности всех измерений. В то же время напряжения могут быть оценены лишь со сравнительно незначительной точностью (для стали – порядка 100-200 кгс/см²).

Дальнейшие разработки по усовершенствованию рентгеноскопического метода определения напряжений продолжаются.

В бетоне и железобетоне производятся:

1) определение объемной массы (плотности) как уплотненной бетонной смеси, так и бетона в изделиях и конструкциях путем измерения ослабления или рассеивания потока гамма-излучений в бетоне.

В бетонную смесь погружают зонды различной формы, при помощи которых получают значения плотности или послойно, или усреднено для всей высоты контролируемого слоя. Возможно также применение преобразователя поверхностного типа, реги-

стрирующего рассеянное излучение и не требующего погружения в толщу бетонной смеси.

Контроль бетона в готовых изделиях и конструкциях толщиной до 500 мм, имеющих параллельные грани, осуществляется просвечиванием с применением П-образной скоб. При толщине более 500 мм, а также при одностороннем доступе к конструкции используется метод регистрации рассеянного излучения. В массивных конструкциях возможно также применение зондов, опускаемых в специально пробуренные отверстия.

Измерения должны проводиться на расстоянии не менее 100 мм от края конструкции или формы (для бетонной смеси) и от арматуры диаметром от 8 мм. Значения плотности берутся по шкале регистрирующего прибора, проградуированной в единицах плотности;

2) контроль однородности и дефектоскопию бетона производят сопоставлением результатов просвечивания в различных участках и точках конструкции. Отдельные дефектные участки целесообразно фиксировать на снимках. Для отчетливого выявления трещин просвечивание следует вести под углом не более 5° к их направлению;

3) определение положения и диаметра арматуры, а также толщины защитного слоя бетона

Перспективным является применение легких переносных бетатронов, обладающих высокой чувствительностью и большой проникающей способностью излучения.

6.2. Область применения нейтронного излучения

Для просвечивания деталей и конструкций применяют переносные источники нейтронных излучений. Поскольку нейтроны, как электрически нейтральные частицы, непосредственно на фотопленку не действуют, пользуются следующими приемами:

1) при прямом методе рядом с фотопленкой помещают нейтроактивизируемый металлоэкрэн. Проходя через последний, нейтроны возбуждают в нем поток гамма-излучений, фиксируемый на пленке;

2) при косвенном методе облучению нейтронами подвергается металлический экран, который переносится в фотокассету, где наведенное гамма-излучение облучает фотопленку. Этот способ дает более четкие изображения. Применяют также и другие методы регистрации.

Особенностью нейтронного потока является то, что как замедление скорости нейтронов, так и их рассеивание тем значительнее, чем легче атомы просвечиваемого материала.

Наиболее эффективным оказывается применение нейтронов для определения влажности материалов – бетона, древесины и др. (различают при этом атомы водорода как свободной, так и химически связанной воды); выявления в бетоне пор, заполненных водой, которые почти совершенно не обнаруживаются другими методами; просвечивания пластмасс, в том числе расположенных за металлическими оболочками и т.д.

В сварных швах металлоконструкций нейтронными излучениями выявляются ликвации (неоднородности химического состава сплавов, возникающих при кристаллизации), не обнаруживаемые рентгеновскими и гамма-методами.

6.3. Радиодефектоскопия, инфракрасная дефектоскопия и голографические методы.

Радиоволновой метод с использованием спектра частот сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Выявляются как прошедшие через материал электромагнитные колебания («теневой» метод), так и отраженные и рассеянные излучения, изменением резонанса системы, образованной излучателем и исследуемым элементом (резонансный метод), и др.

Применение радиоволновых излучений эффективно при контроле пластмасс, древесины (в том числе и в клеевых конструкциях), бетона, железобетона и других материалов. Радиоволновой метод дает возможность исследовать как начальную стадию зарождения очагов нарушения сплошности, так и ход дальнейшего развития дефектов.

В тепловых методах регистрируются:

- 1) инфракрасное излучение от внешнего источника, отраженное от исследуемого материала или проходящее сквозь него;
- 2) местные отклонения собственных инфракрасных излучений поверхности проверяемого элемента, нагретого, например, пропуском тока через токопроводящие материалы.

Местные нарушения картины температурного поля являются чувствительными показателями наличия дефектов, в том числе и скрытых, не выявляемых при применении других методов контроля.

Перспективны голографические методы, позволяющие получать при изменении условий рассмотрения одной и той же «го-



Методы неразрушающего контроля в строительстве

лограммы» объемные изображения такими, какими они видны при различной ориентации точки зрения наблюдателя при непосредственном рассмотрении объекта.

7. ТЕПЛОВОЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ

7.1. Цель и задачи теплотехнических обследований

Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. Индикатором дефективности служит величина температурного перепада. Теплотехнические требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям зданий, регламентируются СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» и зависят от вида ограждения (стена, покрытие и др.), нормируемых параметров производственной среды (микроклимата), климатических условий района и функционального назначения здания. Целью теплотехнических обследований ограждающих конструкций является выявление их фактических теплозащитных качеств и их соответствия современным нормативным требованиям, которые в последние годы существенно изменились в связи с проблемой экономии и рационального использования энергетических ресурсов.



Рис. 7.1. Пирометр с функцией измерения температуры воздуха Testo 810

Теплотехнические качества ограждающих конструкций характеризуются приведенными сопротивлениями: теплопередаче – R_0 , $\text{м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$, паропроницанию – $R_{п}$, $\text{м}^2 \times \text{ч} \times \text{Па}/\text{мг}$, и воздухопроницанию – $R_{воз}$, $\text{м}^2 \times \text{ч}/\text{кг}$. Конструкция полов в помещениях с длительным пребыванием людей, кроме отмеченных показателей, характеризуется также показателем тепловой активности (теплоусвоения).

Основной задачей определения теплотехнических качеств ограждающих конструкций является: определение температурного поля на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, на участках теплопроводных включений, узлов примыканий внутренних и наружных стен, стыковых соединений с целью выявления зон с пониженной температурой, где возможно образование конденсата на поверхности конструкций, установление характера изменения температурного поля и выявление степени теплотехнической неоднородности конструкций; определение термического сопротивления конструкций R_k , $\text{м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$, коэффициент теплоотдачи внутренней $\alpha_{в}$, $\text{м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$, и наружной $\alpha_{н}$, $\text{м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$, поверхностей; определение динамики влажностного режима конструкций в разные сезоны года, установление зоны конденсации влаги и степени влагонакопления в холодный период года, определение влажностного состояния стыковых соединений; обследование воздухопроницаемости стеновых конструкций, стыковых соединений и светопрозрачных конструкций.

Измерение температур. Процесс измерения большинства физических величин состоит в определении численного соотношения между измеряемой величиной и некоторым ее значением, условно принятым за единицу. Однако температура не обладает аддитивными свойствами, так как при разных ее значениях тела могут иметь различные физические свойства. Поэтому процесс измерения температуры подобен процессу компарирования по данной шкале и определению положения на ней уровня измеряемой температуры.

При обследованиях гражданских и производственных зданий в зависимости от рассматриваемых задач производятся измерения температур газовых и жидкостных сред, сыпучих и твердых тел. Диапазон измерения температур от – 70 до +1600 °С. Для измерений используются контактные и бесконтактные термометры. К контактным относятся жидкостные и биометаллические термометры, электрические и полупроводниковые термометры сопротивления, термопары. К бесконтактным термометрам отно-

сятся инфракрасные термометры, пиранометры, а также тепловизоры. Жидкостные термометры (в основном ртутные и реже спиртовые) применяют для измерения газовых и жидких сред, а также сыпучих тел. Ртутные термометры применяют при интервалах температур от -35 до $+600$ °С. При необходимости измерения температур ниже минус 35 °С используют спиртовые термометры. Биометаллические деформационные термометрические датчики используются, как правило, в метеорологических термографах самописцах. Они обладают значительной инерционностью, особенно при измерениях температур газовой среды (5-10 мин). Измерения температур газовой среды от -35 до $+50$ °С рекомендуется производить психрометром Ассмана (рис.3.1), производя отсчеты по сухому термометру. Электрические термометры сопротивления применяют при температуре среды от -50 до $+180$ °С. Термопары применяются для измерения температур газовых и жидких сред, сыпучих и твердых тел. Применяются преимущественно хромель-копелевые (ХК), хромель-алюмелевые (ХА) и медь-константановые (ТМК) термопары. Пределы применения термопар типа (ХК) от -50 до $+600$ °С, типа (ХА) от -50 до $+1000$ °С, типа (ТМК) от -200 до $+400$ °С. Для изготовления термопар используется термоэлектродная проволока диаметром $0,1-1$ мм в хлорвиниловой изоляции (максимальная температура измерения $+150$ °С). Для измерения более высоких температур используется термоэлектродная проволока диаметром $1-2$ мм в термостойкой асбестовой или аналогичной изоляции. Изготовление спаев термопар производится путем пайки или сварки. При сварке необходимо, чтобы дуга загоралась на обоих электродах одновременно. При качественной сварке на конце скрутки образуется шарик диаметром $1-2$ мм. Режим сварки подбирается пробным путем. Подготовленные термопары, предназначенные для измерения температур до 150 °С, напаиваются на медные пластинки диаметром 15 мм толщиной $0,4-0,6$ мм. В качестве измерительных (вторичных) приборов при измерениях температур термопарами применяются потенциометры типа ПП-1, КП-59 и самопишущие потенциометры типа ЭПП-09, ПОР и др.

Измерения температур производятся обычно дифференциальными термопарами (рис. 7.2). Их свободный спай помещается в термос с тающим льдом, который приготавливается из дистиллированной воды. При невозможности приготовить лед свободный спай погружается в сосуд с водой, температура которой в момент измерения определяется с помощью ртутного термометра.

При этом определение температуры рабочего спая производится с соответствующей корректировкой величины измеряемой ЭДС.

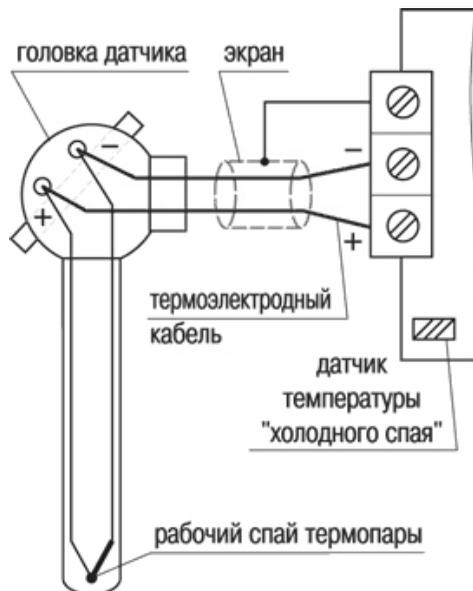


Рис. 7.2. Схема термопары

При измерениях термо-ЭДС переносными потенциометрами типа ПП-1, КП-59 применяют однопроводную или двухпроводную схемы включения термопар на один прибор (рис. 7.3). Однопроводная схема допускается только в случае измерения температур неэлектропроводных тел, например, сухих бетонных и каменных конструкций. При возможности увлажнения таких конструкций однопроводная схема включения термопар в один прибор не допускается.

При измерениях температур необходимо обеспечивать надежный контакт датчика с исследуемым телом. При измерениях температур агрессивных жидкостей и газов датчики и отводящие провода должны быть надежно защищены от коррозии путем окрашивания стойкими в рассматриваемой среде составами или помещением в химически стойкие футляры, обеспечивающие надежный тепловой контакт датчика с исследуемой средой.

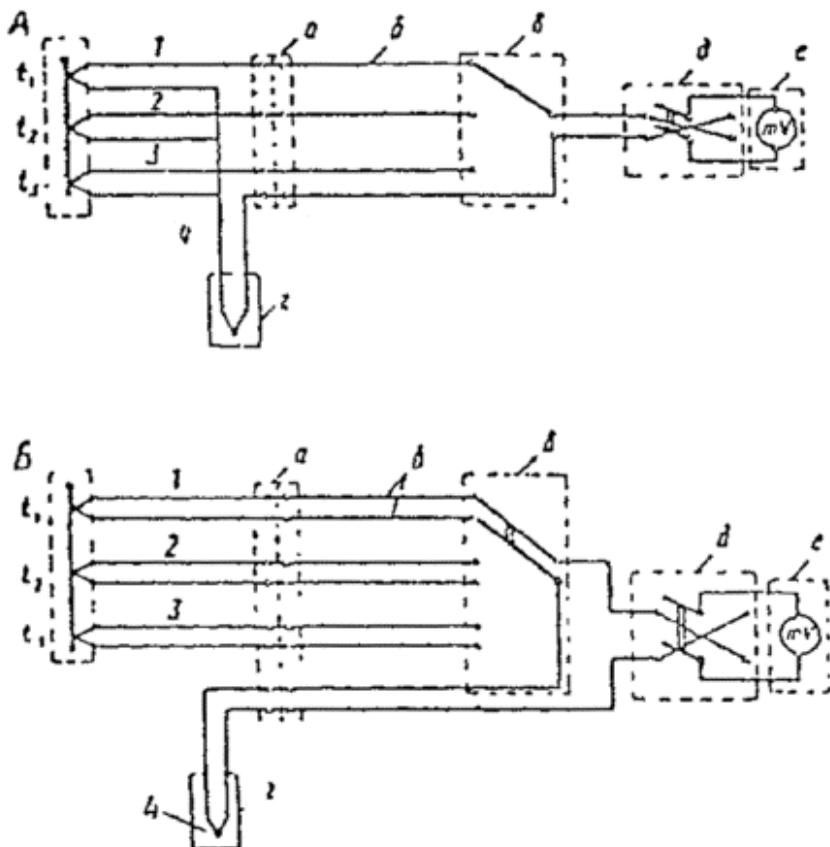


Рис. 7.3. Схемы включения нескольких дифференциальных термопар на один прибор

А – однопроводная; *Б* – двухпроводная:

1, 2, 3 – рабочие спаи термопар; 4 – свободный спай термопар;
а – штепсельный разъем типа ШР; *б* – соединительные (медные) провода; *в* – переключатель; *г* – термостатирующий сосуд; *д* – переключатель полярности;
е – потенциометр типа ПП

Современные бесконтактные термометры различных модификаций находят широкое применение на практике. Для измерения температур в диапазоне от 700 до 1800°C применяется оптический пиранометр ОПИР-017, при диапазоне температур от ми-

нус 18 до +400 °С применяются бесконтактные термометры типа «Thermopoint 2-4» и другие аналогичные термометры.

Измерение температурного поля ограждающих конструкций производится, тепловизорами различных модификаций, например, тепловизоры марки АТП-44-П, марки «AGA Thermovision-750» или «Thermovision-470». Температурное поле получают на экране телевизоров в виде черно-белого или цветного изображения, градации яркости или цвета которого соответствуют различным температурам. Тепловизоры снабжены устройством для высвечивания на экране изотермических поверхностей и измерения выходного сигнала, значение которого функционально связано с измеряемой температурой поверхности.



Рис. 7.4. Термометр ЭТП-М

Измерение солнечной радиации. Цель наблюдения над солнечной радиацией заключается в определении солнечной лучистой энергии, падающей на наружные ограждения и через светопроемы проникающей внутрь помещений. Измерение интенсивности солнечной радиации производится пиранометром Янишевского в комплекте с гальванометром или потенциометром. При замерах суммарной солнечной радиации пиранометр устанавливают без теневого экрана, при замерах же рассеянной радиации с теньевым экраном. Прямая солнечная радиация вычисляется как

разность между суммарной и рассеянной радиацией. При определении интенсивности падающей солнечной радиации на ограждение пиранометр устанавливают на него так, чтобы воспринимаемая поверхность прибора была строго параллельна поверхности ограждения. При отсутствии автоматической записи радиации замеры следует производить через 30 мин в промежутке между восходом и заходом солнца.

Радиация, падающая на поверхность ограждения, полностью не поглощается. В зависимости от фактуры и окраски ограждения некоторая часть лучей отражается. Отношение отраженной радиации к падающей, выраженное в процентах, называется альбедо поверхности и измеряется альбедометром П.К. Калитина (рис. 7.5) в комплекте с гальванометром или потенциометром. При радиационных наблюдениях альбедометр устанавливают таким образом, чтобы рабочая поверхность его была параллельна поверхности ограждения, альбедо которого определяется.

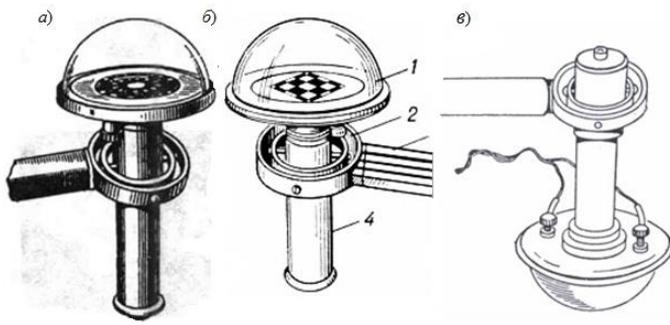


Рис. 7.5. Альбедометр

- а* – положение приемником вверх; *б* – то же, вниз;
 1 – головка пиранометра; 2 – втулка; 3 – трубка; 4 – муфта;
 5 – стержень, по которому скользит груз; 6 – клеммы;
 7 – карданный подвес; 8 – рукоятка

Методика измерений сводится к последовательному измерению величины падающей радиации $J_{\text{пад}}$ и отраженной радиации $J_{\text{отр}}$. При измерении падающей радиации воспринимающая поверхность альбедометра должна быть установлена на поверхности ограждения или по возможности на наименьшем расстоянии, а при измерении отраженной радиации на расстоянии 0,5 м от

поверхности ограждения. После замеров падающей радиации альбедометр поворачивают на 180° и производят замер отраженной радиации. Замеры повторяют 3-5 раз с интервалом 5 мин, и по ним определяют среднее значение альбеда поверхности.

Для большей точности наблюдения следует проводить при ясном небе и при интенсивном солнечном облучении ограждения. Определение влияния инсоляции на тепловой режим помещения производится путем сравнения показаний измерений температуры воздуха обычным ртутным термометром и шаровым термометром (глоботермометром).

Последний представляет собой обычный термометр, шарик которого заключен в полый, зачерненный снаружи медный шар диаметром 150 мм и находится в центре последнего. Шкала термометра выходит из шара наружу. Влияние инсоляции на зачерненную поверхность приводит к тому, что температура внутри шара отличается от температуры воздуха, замеренной обычным термометром, который представляет собой средневзвешенную радиационную температуру.

Измерение тепловых потоков. В практике теплотехнических исследований ограждающих конструкций измерения величин тепловых потоков, проходящих через них, позволяет определить теплозащитные свойства обследуемых ограждений. Для измерения тепловых потоков часто применяют тепломеры, основанные на принципе дополнительной стенки. Тепломеры, устроенные по этому принципу, как правило, состоят из трех пластин: двух защитных дисков с наружных сторон и средней рабочей пластины, на которой установлены термопары по двойной архимедовой спирали. Средняя пластина тепломера имеет две зоны – рабочую в центре диска и защитную кольцевую шириной не менее $\frac{1}{4}$ части центральной рабочей зоны. В рабочей зоне смонтирована батарея термопар, соединенных последовательно. Термопары батарей расположены с обеих сторон рабочего диска. При прохождении теплового потока через тепломер на обеих сторонах рабочей пластины возникает термо-ЭДС вследствие разности температур на ее поверхностях. По принципу дополнительной стенки устроены тепломеры 3.3. Альперовича (рис. 7.6), тепломеры типа ИТП-2 конструкции ОРГЭС, а также ИТП-12. Специализированный измеритель теплового потока ИТП-12 выполнен в виде портативного переносного прибора (рис.3.6), состоящего из преобразователя теплового потока и устройства для измерения и преобразования термо-ЭДС в цифровой сигнал, градуированного в $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Методы неразрушающего контроля в строительстве

Если коэффициент теплопроводности дополнительной стенки известен, то для определения теплового потока достаточно измерить разность температур на ее поверхности. Тепловой поток в этом случае определяют по формуле

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t \quad (7.1)$$

где λ – теплопроводность дополнительной стенки, Вт/(м×°С);
 δ – толщина стенки, м;
 Δt – падение температуры на дополнительной стенке при прохождении теплового потока.

Если коэффициент теплопроводности дополнительной стенки не известен, то производят тарировку тепломера при помощи другого тепломера, характеристика которого заранее известна.

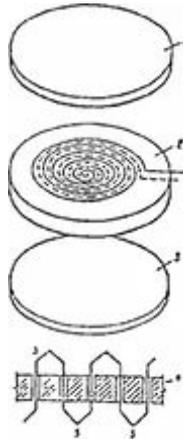


Рис. 7.6. Схема устройства тепломера Альперовича
 1 – верхний защитный резиновый диск; 2 – рабочий диск;
 3 – нижний защитный резиновый диск; 4 – схема расположения термопар в рабочем диске; 5 – термопары

При стационарных условиях теплопередачи и сравнительно невысоких температурах величина теплового потока определяется на основе измерения термо-ЭДС при помощи потенциометра

$$q = kE \quad (7.2)$$

где k – тарировочный коэффициент тепломера;
 E – величина измеренной ЭДС.

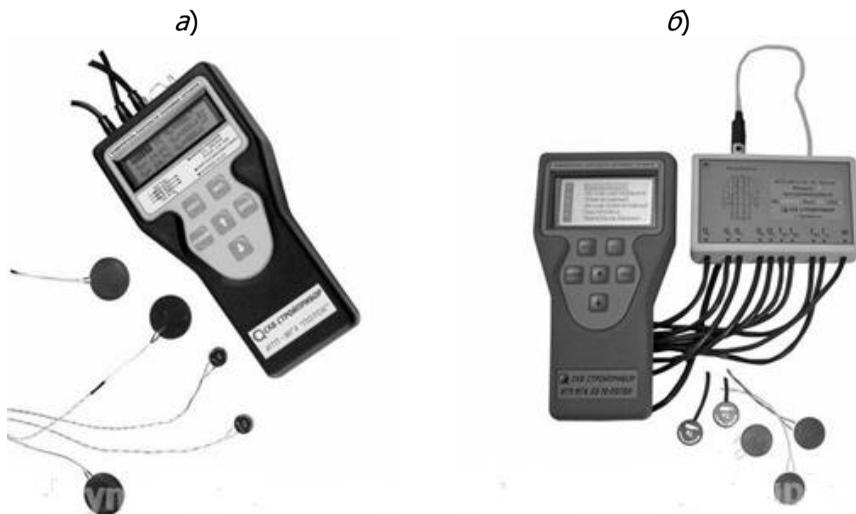


Рис. 7.7. Приборы для измерения тепловых потоков
 а – измеритель плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03-3;
 б – измеритель плотности тепловых потоков ИТП-МГ4.03-10

Тепломер, установленный на наружной поверхности ограждающей конструкции, показывает тепловой поток, отдаваемый наружной поверхностью ограждения наружному воздуху, а тепломер, установленный на внутренней поверхности ограждения, показывает тепловой поток, проходящий через внутренние поверхности ограждения. В стационарных условиях теплопередачи, когда теплосодержание ограждающей конструкции не меняется, тепловой поток, входящий в ограждение, равен тепловому потоку, выходящему из ограждения. В нестационарных условиях теплопередачи, наблюдаемых в натуральных условиях, входящий тепловой поток не равняется выходящему из-за изменения теплосодержания ограждения. Недооценка этого факта может привести к грубым ошибкам при экспериментальном определении термического сопротивления конструкции.

Определение теплозащитных качеств ограждающих конструкций. Теплозащитные качества ограждающих

конструкций характеризуются приведенным сопротивлением теплопередаче R_0 и термическим сопротивлением R_k . Их экспериментальное определение основывается на принципе стационарного режима теплопередачи, при котором тепловой поток, проходящий через любое сечение конструкции, перпендикулярное потоку, постоянен. В этом случае имеет место равенство

$$q = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{R_0} = \frac{(t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}})}{R_k} = \frac{(\tau_{\text{н}} - t_{\text{н}})}{R_{\text{н}}} \quad (7.3)$$

$$R_0 = \frac{1}{a_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{l_{ik}}{\lambda_{ik}} + \frac{1}{a_{\text{н}}} = R_{\text{в}} + \sum_{i=1}^n R_{ik} + R_{\text{н}};$$

$$R_{\text{в}} = \frac{1}{a_{\text{в}}}; \quad R_{\text{н}} = \frac{1}{a_{\text{н}}}; \quad R_{ik} = \frac{l_{ik}}{\lambda_{ik}},$$

где q – тепловой поток, Вт/м²;
 R_{ik} – термическое сопротивление i -го слоя конструкции;
 l_i – толщина i -го слоя, м;
 λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя, Вт/м×°С;
 $a_{\text{в}}$ – коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждения, Вт/(м²×°С);
 $a_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, Вт/(м²×°С);
 $R_{\text{в}}$ – сопротивление тепловосприятию внутренней поверхности ограждения, м²×°С/Вт;
 $R_{\text{н}}$ – сопротивление теплоотдачи наружной поверхности ограждения, м²×°С/Вт;
 $t_{\text{в}}$ – температура внутренней поверхности, °С;
 $t_{\text{н}}$ – температура наружной поверхности, °С.

Схема размещения датчиков термопар при измерении температур в толще многослойного ограждения показана на рис. 7.8.

Измеряя величину теплового потока q_1 , разность температур внутреннего и наружного воздуха $\cdot t$ разность температур внутренней и наружной поверхности ограждения $\cdot t$, по формуле (7.4) определяем термическое сопротивление конструкции

$$R_k = \frac{\Delta \tau}{q_1} - R' \frac{\Delta \tau}{\Delta t}, \quad (7.4)$$

Методы неразрушающего контроля в строительстве

где q_1 – измеренный тепловой поток, Вт/м²×°С;
 R^* – термическое сопротивление тепломера, м²×°С/Вт.

Тепловой поток, замеренный тепломером q_1 , несколько отличается от действительного теплового потока q , проходящего через ограждающую конструкцию, так как тепломер является добавочным сопротивлением к исследуемому ограждению и, следовательно, замеренный тепловой поток оказывается несколько меньше действительного потока. Второй член в формуле (7.4) отражает влияние термического сопротивления тепломера.

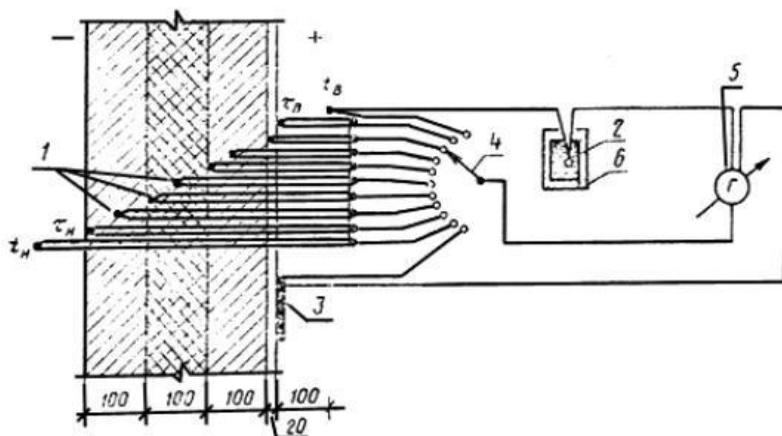


Рис. 7.8. Схема размещения датчиков термопар при измерении температур в толще многослойного ограждения

1 – рабочие спаи термопар; 2 – холодный спай термопар;
 3 – преобразователь теплового потока; 4 – многоточечный переключатель; 5 – измерительный прибор; 6 – термостат
 t_n и t_n – температура соответственно наружного воздуха и наружной поверхности ограждения, t_b и t_b – температура соответственно внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждения

Величина истинного теплового потока в этом случае определяется из соотношения

$$q = \frac{\Delta \tau}{R_k}. \quad (7.5)$$

Сопrotивления теплоотдаче R_n и тепловосприятию R_b определяются по формулам $R_b = \frac{t_B - \tau_B}{q}$; $R_n = \frac{\tau_H - t_H}{q}$. Сопrotивление теплопередаче конструкций

$$R_0 = \frac{t_B - t_H}{q}. \quad (7.6)$$

При экспериментальном определении величин R_0 и R_k конструкции с тепловой инерцией более 1,5 и при явно выраженном нестационарном режиме необходимо учитывать изменения теплосодержания ограждения в период проведения обследования. При продолжительности натуральных наблюдений в пределах до 14 дней влияние изменения теплосодержания ограждения сводится к минимуму, поскольку в этом случае температурная кривая наружного воздуха, как правило, охватывает несколько волн. Однако в тех случаях, когда наблюдения над тепловыми потоками ведутся 1-2 дня, необходимо учитывать изменение теплосодержания ограждения. Следует отметить, что изложенный метод определения теплозащитных качеств ограждений относится к зимним условиям. В летних условиях среднесуточная температура внутреннего и наружного воздуха отличается незначительно и величины сквозных тепловых потоков ничтожно малы.

7.2. Тепловизионный контроль

В последнее время разработан ряд приборов, обеспечивающих контактное и бесконтактное измерение параметров с цифровой или магнитной записью процессов. Бесконтактные методы теплового контроля основаны на использовании инфракрасного излучения, испускаемого всеми нагретыми телами. Наиболее эффективными следует считать тепловизоры, с помощью которых производится инструментальная съемка динамики теплопередачи ограждающих конструкций, лазерные системы термощупов, электронные газоанализаторы и др. На рис.7.9 приведен пример регистрации температурных полей фасада здания с помощью тепловизора. Для оценки температур различных участков используется цветовая шкала, с помощью которой возможно оценить температурные параметры отдельных участков и фасадной поверхности в целом.

Для количественной оценки теплопотерь и тепловых полей при неоднородности стенового ограждения и примыкания светопрозрачных конструкций (окна, балконные двери и т.п.) очень важен выбор приборов, оптимально решающих задачу бесконтактной регистрации тепловых полей, с учетом разрешающей способности и с учетом критерия «цена – качество».



Рис. 7.9. Температурные поля фасада здания, зарегистрированные тепловизором

Известно, что одними из основных факторов, определяемых при регистрации тепловых сетей и влияющих на погрешность оценки термического сопротивления и обнаружения дефектов строительных конструкций, являются пространственная разрешающая способность и температурная погрешность регистрации, а также и временной интервал процесса проведения контроля. С точки зрения получения реальной картины тепловых полей и источников теплопотерь целесообразно использовать приборы с более высокой разрешающей способностью (рис.7.10).

Исследования и анализ аномальных температурных участков ограждающих конструкций, проведенные О.Н. Будадиным, и их оптимизация показали, что пространственный шаг регистрации

должен находиться в пределах 120 мм. С учетом изложенного следует применять приборы, обеспечивающие не только требуемую разрешающую способность, но и их быстродействие. В таблице 7.1 приведены зарубежные и отечественные приборы и их разрешающая способность.

Для достоверной оценки теплотехнических характеристик необходимо учитывать их тепловое состояние с периодом 1-3 часа. Из этого критерия следует осуществлять выбор прибора, обеспечивающего получение реального состояния тепловых полей. Так, время контроля поверхности стен с разрешением 120 мм составляет от 3 минут до одного часа с уровнем погрешности ± 2 С°.



Рис. 7.10. Тепловизор

Использование экспериментальных участков с различными материалами швов позволит оптимизировать технологию работ с позиций теплотехнической однородности. Применение тепловизоров при заводском изготовлении наружных стеновых панелей является эффективным средством выбраковки, определения мостиков холода, зон более высокой плотности бетона и др. технологических нарушений.

Методы неразрушающего контроля в строительстве

Методы теплового НК нашли широкое применение в экспериментальных исследованиях теплоизоляционной конструкции контейнера транспортно-упаковочного комплекта (ТУК) для перевозки ядерных делящихся материалов (ЯДМ). Моделировались: воздействие открытого пламени в начальной стадии пожара и температурное воздействие горячего воздуха на фрагмент цилиндрического корпуса контейнера. Исследуемые образцы представляли собой фрагменты теплоизоляционной конструкции.

Таблица 7.1

Характеристики тепловизоров

№ п.п.	Наименование прибора (тип прибора, страна-производитель)	Пространственное разрешение (пиксели), $M \cdot N$	Частота кадров, Гц	Время контроля поверхности 1000 м ² (разрешение – 120 мм), с	Погрешность измерения температуры
			Время регистрации одного измерения, с		
1	2	3	4	5	6
1	Thermacam PM 595 (тепловизор, США)	320 ' 240	$\frac{60}{3}$	3	±2°C
2	TVS -100 (тепловизор, Япония)	320 ' 240	$\frac{10}{3}$	3	±2%
3	Varioscan -3022 (тепловизор, Германия)	180 ' 120	$\frac{0,8}{3}$	10	±2°C
4	ИРТИС (тепловизор, Россия)	220 ' 175	$\frac{0,5}{4}$	20	±2 %
5	Auroga (тепловизор-сканер, Россия)	110 ' 60	$\frac{0,6}{4}$	100	±1°C

8. ВЛАГО- И ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

8.1. Определение влажностного состояния ограждающих конструкций

Одним из важных эксплуатационных показателей ограждающих конструкции является их влажностное состояние. Увлажнение ограждающих конструкций приводит к ухудшению их теплозащитных качеств, созданию благоприятных условий для развития в них грибков, плесени и прочих биологических процессов, а также к снижению их долговечности. При обследовании влажностного состояния ограждающих конструкций следует установить причины их увлажнения: строительная влага, которая вносится в конструкцию при ее производстве и возведении; грунтовая влага, проникающая в ограждение из грунта вследствие капиллярного всасывания (в стенах здания эта влага может подниматься до высоты 2-2,5 м от уровня земли); метеорологическая влага, проникающая в конструкцию в связи с выпадением атмосферных осадков; эксплуатационная влага, выделение которой связано с технологическим процессом в производственных зданиях; гигроскопическая влага, накапливаемая в конструкции вследствие свойства гигроскопичности материала; конденсация влаги из воздуха, что тесно связано с теплофизическими характеристиками материала и тепловым режимом ограждающей конструкции.

В подавляющем большинстве случаев конденсация влаги является единственной причиной повышения влажности ограждающих конструкций. Конденсация влаги может происходить как на поверхности ограждения, так и в его толще. Следует отметить, что отсутствие конденсации влаги на поверхности ограждения не гарантирует ограждение от увлажнения, так как оно может происходить вследствие конденсации водяных паров в толще самого ограждения. Обеспечение нормального влажностного состояния ограждающих конструкций достигается путем устройства слоя пароизоляции. Требуемое сопротивление паропрооницанию ограждающих конструкций определяется расчетом по методике, изложенной СНиП II-3-79. При натурных обследованиях определение влажности материалов в зависимости от требуемой точности производится различными способами. Наиболее простым и достоверным способом является извлечение из конструкции материала. Влажная проба материала непосредственно после из-

Методы неразрушающего контроля в строительстве

влечения из конструкции взвешивается, а затем высушивается нагреванием в сушильных шкафах до постоянного веса и снова взвешивается. Массовая (весовая) влажность – W_B , %, определяется по формуле

$$W_B = \frac{P_1 - P_2}{P_2} 100\%, \quad (8.1)$$

где P_1 и P_2 – вес пробы соответственно до и после высушивания.

При известной плотности материала γ , кг/м³, объемная влажность W_O вычисляется по формуле

$$W_O = \frac{W_B \cdot \gamma}{1000}. \quad (8.2)$$

Сушка отобранных проб производится в термостатах или сушильных шкафах, где температура поддерживается на уровне 105 °С для всех материалов, за исключением органических и гипсовых, для которых температура сушки должна быть не выше 60-70 °С. При взвешивании проб на аналитических весах навеску следует брать весом не менее 2 г, а взвешивание производить с точностью до 0,001 г; при взвешивании на технических весах все навески должны быть не менее 10 г при точности взвешивания до 0,01 г. После извлечения из конструкций материала пробы немедленно помещают в бьюксы и плотно закрывают крышкой во избежание их усушки до первого взвешивания. В зимнее время пробы в бьюксы укладывают на холоде и закрывают плотно крышкой, так как в теплом помещении на них образуется конденсат. Края крышек бьюкса смазывают жиром, самоклеющей лентой или другим паронепроницаемым материалом. Из кирпичных и шлакобетонных конструкций пробы, как правило, отбираются шлябуром диаметром 8, 10, 12 мм, из деревянных – буром Пресслера. При слоистых конструкциях пробы следует брать из каждого слоя. В каменных сплошных стенах места взятия проб по сечению конструкции следующие: штукатурка внутренняя, поверхность стены под штукатуркой; в толще стены – через каждые 10-12 см, поверхность стены под наружной штукатуркой; штукатурка наружная. При наличии в конструкции стены утеплителя пробы берут и из него. Разработан диэлектromетрический метод определения

влажности строительных материалов, изделий и конструкций. Он основан на зависимости диэлектрической проницаемости материала от содержания в нем влаги при положительных температурах.



Рис. 8.1. Влагомеры

Измерение влажности производят при помощи влагомеров МГ-4, ВИС-2 или других влагомеров (рис. 8.1), отвечающих требованиям ГОСТ 21718-84. Для проведения измерений влажности бетона на его поверхности выбирают чистые ровные участки размером 300•300 мм, на которых не должно быть местных наплывов, вмятин и раковин глубиной более 3 мм и диаметром более 5 мм. Число участков устанавливают из расчета один участок на 1,5 м² поверхности бетона. Температура поверхности бетона должна быть не более 40 °С. Подготовку к работе и измерения влагомером производят в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора и в соответствии с требованиями ГОСТ 21718-84. Результаты измерений записывают в журнал, который должен содержать следующие данные: наименование материала; показания влагомера по результатам всех измерений; среднюю влажность материала.

Таблица 8.1

Нормальная влажность материалов в наружных ограждающих конструкциях

№ пп.	Материал	Плотность γ , кг/м ³	Влажность материала,	
			массовая г/м ³	объемная %
1.	Красный кирпич в сплошных стенах	1800	1,5	2,7
2.	Кирпич красный в стенах с воздушной прослойкой	1800	0,5	0,9
3.	Кирпич силикатный	1900	2,5	4,8
4.	Бетон тяжелый	2000	1,5	3
5.	Шлакобетон	1300	3	3,9
6.	Керамзитобетон	1000	6	6
7.	Пенобетон в наружных стенах	700	10	7
8.	Пеностекло	350	3	1,1
9.	Штукатурка известково-песчаная	1600	1	1,6
10.	Шпак топливный в засыпке	750	3,5	2,6
11.	Минераловатные плиты	200	2	0,4
12.	Дерево (сосна)	500	15	7,5
13.	Фибролит цементный	350	15	5,2
14.	Горфоплиты	225	20	4,5
15.	Пенополистирол	25	5	0,12

Результаты измерений влажности сопоставляют с требованиями СНиП или данными, приведенными в табл. 8.1, и на этой основе производят оценку влажностного состояния ограждающих конструкций.

8.2. Определение воздухопроницаемости ограждающих конструкций

Свойство ограждения или материала пропускать воздух называется воздухопроницаемостью. При разности давлений воздуха с одной и с другой стороны ограждения через ограждение может проникать воздух в направлении от большего давления к меньшему. В зимних условиях в отапливаемых помещениях температура внутреннего воздуха существенно выше наружного воздуха, что обуславливает разность их объемных масс, в результате чего и создается разность давлений воздуха с обеих сторон

ограждения. Разность давлений воздуха может возникнуть также под влиянием ветрового напора. Если фильтрация происходит в направлении от наружного воздуха в помещение, то она называется инфильтрацией, при обратном направлении – эксфильтрацией. С теплотехнической точки зрения воздухопроницаемость ограждения является отрицательным явлением, так как в зимнее время инфильтрация холодного воздуха вызывает дополнительные потери тепла ограждениями и охлаждение помещений, а эксфильтрация может неблагоприятно отразиться на влажностном режиме конструкций ограждений, способствуя конденсации в них влаги. Методика расчета и требуемое нормативное сопротивление воздуха прониканию ограждающих конструкций регламентируются СНиП II-3-79.

Современные методы экспериментального определения воздухопроницаемости материалов и конструкций основаны на том, что в результате искусственно создаваемого избыточного давления или разрежения через образец материала или конструкции, заключенного в особую обойму, проходит воздушный поток, замеряемый счетчиком; в то же время замеряется избыточное давление или разрежение, поддерживаемое в продолжение испытаний на определенном уровне. Обследование воздухопроницаемости стыковых соединений наружных стеновых панелей производят при помощи приборов типа ИВС-3 или ДСК-3 (рис. 8.2). При испытаниях обойма прибора должна плотно прилегать к поверхности проверяемого участка стыка.

При проверке на воздухопроницаемость стыковых соединений панелей на поверхность стыка с наружной стороны устанавливают обойму длиной 1 и шириной 0,2 м, а при проверке разрежений вертикального и горизонтального стыков – обойму размером 0,50×0,5 м и герметизируют по периметру (рис. 8.3). В обойме имеются два штуцера: один для присоединения к источнику разрежения, второй – к манометру. Измеритель расхода воздуха с краном для регулировки и термометром для определения температуры отсасываемого воздуха устанавливают на воздуховоде между обоймой и источником разрежения. Обойму делают из кровельной стали. В качестве источника разрежения используют, например, бытовой пылесос. Разность создаваемых давлений в помещении и под обоймой измеряют микроманометром.

Испытание на воздухопроницаемость проводят при разности давлений 100, 50, 30, 10, 5 Па, начиная от больших значений. Испытания при каждой разности давлений длятся 5 минут после

стабилизации давления. Время отсчитывают по секундомеру, записывают показания манометра и счетчика расхода воздуха через каждую минуту. Температуру отсасываемого воздуха измеряют в начале и по окончании испытаний.

По средним значениям расхода воздуха G , кг/м³ч, при разности давлений ΔP , Па, строят график зависимости $G=f(\Delta P)$. По графику находят коэффициент воздухопроницаемости стыка G_G , который определяется расходом воздуха в килограммах через 1 м стыка при $\Delta P=10$ Па.

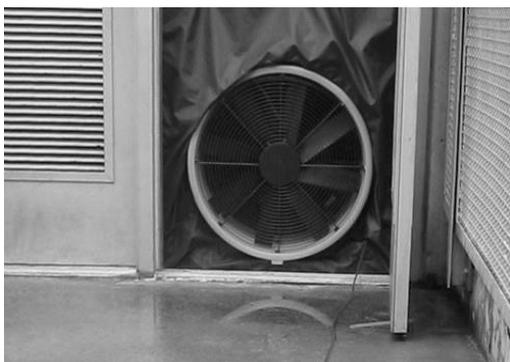


Рис. 8.2. Стенд для определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций

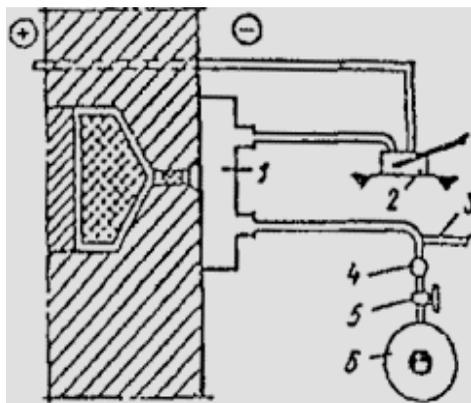


Рис. 8.3. Схема установки для испытания устья стыка на воздухопроницаемость

1 – металлическая обойма; 2 – микроманометр, 3 – термометр, 4 – измеритель расхода воздуха, 5 – газовый кран; 6 – пылесос

Воздухопроницаемость должна быть не более величин, приведенных в табл. 8.2. Для определения воздухопроницаемости оконного заполнения устанавливают обойму, размеры которой должны быть такими, чтобы охватить по периметру всю площадь светопроема. Разрежение под обоймой создают одним или несколькими пылесосами (рис. 8.4). В остальной методика испытаний такая же, как при определении воздухопроницаемости стыков. Определяется расход воздуха через площадь окна или через 1 м сопряжения оконного блока со стеной и построении зависимости расхода воздуха от перепада давлений. Воздухопроницаемость стеновых конструкций проверяют аналогичной установкой, состоящей из рабочей обоймы размером 0,5×0,5 м с тремя штуцерами, защитной обоймы размером 1,2×1,2 м с двумя штуцерами и тремя отверстиями для вывода штуцеров рабочей обоймы (рис. 8.5). Установка комплектуется также двумя регуляторами, двумя микроманометрами и термопарами. Методика испытания такая же, как при определении воздухопроницаемости стыков.

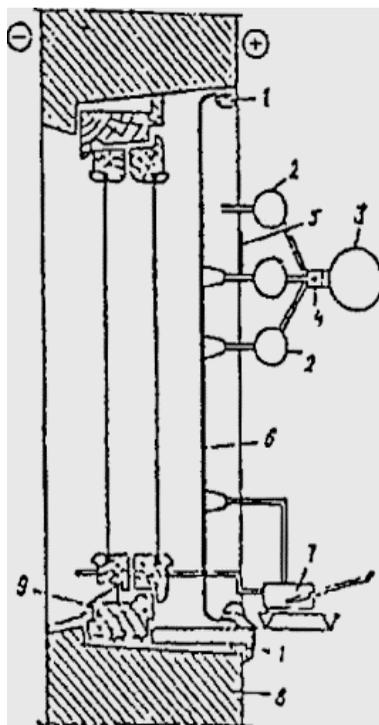


Рис. 8.4. Схема установки для испытания оконного заполнения на воздухопроницаемость:

- 1 – пластичная шамотная глина; 2 – расходомер; 3 – пылесос,
4 – кран; 5 – термометр; 6 – обойма; 7 – микроманометр;
8 – стена; 9 – оконная коробка

Результаты испытаний сравнивают с данными [табл. 8.2](#), и на этой основе дают оценку воздухопроницаемости ограждающих конструкций.

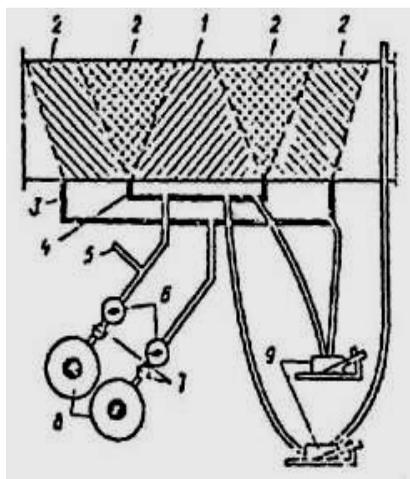


Рис. 8.5. Схема установки для испытания стены на воздухопроницаемость

1 – поток воздуха через рабочую обойму; 2 – поток воздуха через защитную обойму; 3 – защитная обойма; 4 – рабочая обойма;
 5 – термометр; 6 – расходомер; 7 – регулятор расхода;
 8 – пылесос; 9 – микрометр

Таблица 8.2

Нормативная воздухопроницаемость G^H ограждающих конструкций зданий

Вид ограждающей конструкции	G^H , кг/(м ² ×ч), не более
1. Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных зданий и сооружений	0,5
2. Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
3. Стыки между панелями наружных стен:	
а) жилых зданий	0,5
б) производственных зданий	1,0
4. Входные двери в квартиры	2
5. Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий, окна производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
6. Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
7. Зенитные фонари производственных зданий	10,0

9. ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

В последние годы в России отечественными учеными создан целый комплекс малогабаритных электронных приборов неразрушающего контроля и неразрушающей дефектоскопии, которые позволяют:

- определять влажность, температуру и коэффициент теплопроводности различных материалов, из которых изготовлены строительные конструкции;
- выявлять наличие микротрещин, выходящих на поверхность металлоконструкций, ферромагнитных деталей и сварных швов;
- косвенно контролировать прочность бетона, толщину защитного слоя и диаметр арматуры в железобетонных конструкциях.

Разработкой и производством электронных приборов нового поколения успешно занимаются НПО «Карат» и СКБ «Стройприбор» (г. Челябинск)

Все выпускаемые приборы сертифицированы Госстандартом России и широко используются как внутри страны, так и за рубежом.

Созданные приборы обладают большим набором сервисных функций и универсальностью, имеют легкие и удобные датчики нестандартной конструкции. Они оснащены автономной 9-клавишной клавиатурой и графическим дисплеем с подсветкой, обеспечивают высокий уровень информативности, легко адаптируются к условиям пользователя.

Высокая достоверность измерений обеспечивается специальной интеллектуальной обработкой собранной информации с учетом ряда технических, эргономических и технологических факторов.

Все приборы имеют автономный высокоскоростной процессор и электронную записную книжку для хранения информации, собранной в полевых условиях. Одновременно созданные приборы оснащены интерфейсами и имеют инфракрасную связь с компьютером, позволяющую сбрасывать всю информацию, накопленную в полевых условиях, в память персонального компьютера.

Разработанные приборы оснащены специальными компьютерными программами для считывания памяти, хранения и документирования полученных результатов измерений.

Технические параметры и область применения всех указанных приборов более детально представлены ниже.

Влагомер универсальный ВИМС-2. Влагомер ВИМС-1 измеряет влагосодержание различных материалов (бетон, кирпич, древесина, асфальт и т.д.). Применим для технического контроля различных производств, при обследовании зданий и конструкций.



Рис. 9.1. Универсальный влагомер ВИМС-2.21

Прибор содержит индивидуальные настройки по видам материала, обладает возможностью оперативной адаптации под условия потребителя, обеспечивает представительность измерений и высокий уровень сервиса. Комплектуется 3 видами датчиков:

- планарный – для поверхностей;
- емкостный – для сыпучих материалов;
- угловой – для повышенной глубины контроля.

Диапазон измерения влажности	0 – 100%
Предел ошибок измерений	4%
Габариты прибора	145x72x25 мм.

Имеет память для тысячи результатов (по влажной и сухой базам) с фиксацией вида материала, даты и времени измерений.

Оснащен оптоинтерфейсом и компьютерной программой для анализа и документирования результатов.

Ведутся работы по расширению номенклатуры контролируемых материалов и по созданию новых датчиков.

Многоканальный терморегистратор ТЕРЕМ-4.0.

Назначение – измерение, регулирование, регистрация и просмотр информации от термодатчиков при контроле технологических процессов в различных отраслях промышленности, а также при исследовании температурных полей, теплозащитных свойств конструкций и сооружений и т.д. Применим при контроле других параметров – давления, влажности, расхода сигналов тока и напряжения.



Рис. 9.2. Многоканальный терморегистратор ТЕРЕМ-4.0

Прибор имеет интерфейс связи с ЭВМ и средства программной поддержки для анализа полученной информации, ее документирования в табличной и графической формах.

Технические характеристики:

Количество каналов регистрации	8...256
Количество адаптеров, подключаемых к центральному блоку	1...32
Количество датчиков, подключаемых	

к одному адаптеру	1...55
Период отсчетов	
минимальный / максимальный	20 сек / 24 часа
Аппаратная погрешность, %, не более	$\pm 0,2$
Количество регистрируемых параметров	1...10
Длина линии связи центрального блока с адаптерами, м, не более	200
Длина линии связи датчиков с адаптерами, м, не более	10
Объем памяти	1 Мбайт
Максимальное количество отсчетов	105
Габариты центрального блока, мм	145x70x45
Масса центрального блока, кг	0,14

Измеритель теплопроводности ИТП=МГ4. Микропроцессорный прибор ИТП-МГ4 предназначен для оперативного контроля теплопроводности строительных материалов в образцах методом измерения плотности стационарного теплового потока по ГОСТ 7076 и методом теплового зонда в образцах, изделиях или на объектах.

Прибор обеспечивает определение коэффициентов теплопроводности бетонов различного состава, растворов, силикатного и керамического кирпича, а также различных теплоизоляционных материалов в диапазоне 0,03 – 0,8 Вт/м⁰С. Индикация результата измерений – цифровая, в единицах коэффициента теплопроводности – Вт/м⁰С.



Рис. 9.3. Измеритель теплопроводности ИТП=МГ4

Технические характеристики:	
Диапазон измерения теплопроводности	0,03 – 0,8 Вт/м ⁰ C
Время измерения:	
- в стационарной установке	не более 3 часов
- тепловым зондом	не более 10 минут
Ошибки измерения:	
- в стационарной установке	не более ± 7%
- методом теплового зонда	не более ± 10%
Масса прибора	не более 3 кг
Питание от сети переменного тока	220 В

В отличие от аналогов, прибор ИТП-МГ4 позволяет производить измерения двумя способами: в лабораторных условиях на стационарной установке на образцах толщиной от 15 до 30 мм или на объекте с помощью теплового зонда. Процесс измерения после установки датчика автоматизирован и не требует присутствия оператора.

В комплект поставки входят: электронный блок, зонд, стационарная тепловая установка, сумка, контрольный образец из оргстекла, паспорт.

Измеритель прочности бетона ОНИКС-2.5. Измеритель прочности бетона (склерометр) ОНИКС-2.5 предназначен для оперативного определения прочности и однородности бетона ударно-импульсным методом при технологическом контроле, обследовании зданий, сооружений и конструкций. Применяется для оценки прочности, твердости, пластичности и однородности различных материалов (кирпич, растворные швы и т.д.). Имеет настройку по видам материалов с возможностью индивидуальной калибровки пользователем под свою продукцию.



Рис. 9.4. Измеритель прочности бетона ОНИКС-2.5

Технические характеристики:

Диапазоны измерения прочности, МПа	1...100, 1...30; 3...150
Пределы основной относительной погрешности измерения прочности, %	±8
Пределы дополнительной относительной погрешности измерения прочности при отклонении температуры на каждые 10С в пределах рабочего диапазона, %	±1,5
Энергия удара, Дж	0,12
Разрешение экрана LCD	128x64
Память результатов, серий x ударов	2600 x 5
Габаритные размеры, мм, не более:	
- блок электронный	151x81x32

Методы неразрушающего контроля в строительстве

- склерометр Ø30x165
- Масса, кг, не более:
- блок электронный 0,19
- склерометр 0,14

Прибор обеспечивает обработку серий ударов с фиксацией даты и времени их выполнения, коэффициента вариации и размаха, вида материала. Учитывает возраст бетона и температуру. Оснащен оптоинтерфейсом и программой обработки результатов.

Измеритель универсальный ультразвуковой ПУЛЬСАР-1.0. Прибор ПУЛЬСАР-1.0 предназначен для измерения времени и скорости распространения ультразвуковых волн в твердых материалах при поверхностном и сквозном прозвучивании.



Рис. 9.5. Измеритель универсальный ультразвуковой ПУЛЬСАР-1.0

Прибор позволяет определить прочность, плотность и модуль упругости по предварительно установленным корреляционным зависимостям, а также ультразвуковой индекс абразивных материалов.

Основные виды контролируемых материалов, заложенные в меню прибора: бетон (тяжелый, легкий); два вида кирпича (кера-

мический и силикатный) и по четыре вида углерадфита и абразивов.

В приборе заложен режим «эхо-локации» для измерения толщины однородных материалов при одностороннем доступе.

Прибор выпускается с базовой настройкой, ориентированной на узко ограниченное число сырьевых источников. Для обеспечения паспортных характеристик требует калибровки в условиях пользователя.

Конструкция датчика обеспечивает работу прибора с сухим контактом (титановые наконечники) на фиксированной базе 100 мм, с сухим контактом (титановые наконечники или полиуретановые протекторы) при сквозном, поверхностном и угловом прозвучивании на произвольной базе.

Для реализации режима «эхо-локации» требуется высокочастотный датчик специальной конструкции.

Технические характеристики:

Диапазон измерения времени	10 – 2000 мкс
Диапазон измерения скорости	1000 – 10000 м/с
Дискретность времени	0,1 мкс
Предел относительной ошибки измерения времени и скорости	1%
Фиксированная база измерений	95 – 100 мм
Диапазон измерения базы	50 – 1000 мм
Напряжение возбуждения	до 600 В
Рабочая частота колебаний	60 кГц
Память результатов	200 серий
Питание от 3 аккумуляторов АА	3,6 В
Потребление	5 мА
Продолжительность работы	до 30 часов
Габаритные размеры прибора	190x105x58 мм
Габаритные размеры преобразователя	36x62 мм
Масса прибора	500 г
Масса датчика	540 г

Рабочие условия эксплуатации: диапазон температур -10 – +50°С, относительная влажность воздуха до 60%, атмосферное давление 86 – 106 кПа

Прибор ПУЛЬСАР-1.0 соответствует обыкновенному исполнению изделий третьего порядка по ГОСТ 12997-84.

Дефектоскоп вихретоковый ВДЛ-5М. Дефектоскоп вихретоковый ВДЛ-5М производит поиск микротрещин, выходя-

щих на поверхность металлов, в конструкциях, деталях, сварных швах, лопатках турбин и т.п.



Рис. 9.6. Дефектоскоп вихретоковый ВДЛ-5М

Поиск осуществляется ручным сканированием контролируемой поверхности с локализацией дефекта по световому и звуковому сигналам, оценкой дефектов по цифровому индикатору. Прибор имеет органы автоматической настройки на любой тип стали и регулировку чувствительности, позволяющую устранить влияние шероховатости поверхности.

Технические характеристики:

Эффективная зона контроля (эффективный радиус датчика), мм	2,5
Предельные размеры выявляемых трещин, мм:	
- глубина	0,25
- ширина	0,02
Относительная погрешность оценки глубины трещины, %	20
Потребляемая мощность, Вт	0,015
Габаритные размеры, мм	120x72x22
Масса прибора, кг	0,12
Срок службы датчика, лет	6

Применим для перлитных и аустенитных сталей. При необходимости конструкция датчика выполняется по спецзаказу.

Измеритель защитного слоя бетона ПОИСК-2.3. Определяет толщину защитного слоя бетона и положение арматуры в железобетонных изделиях и конструкциях при обследовании объектов и технологическом контроле.



Рис. 9.7. Измеритель защитного слоя бетона ПОИСК-2.3

Режимы работы: измерения при известных диаметре и марке стали; определение неизвестного диаметра; сканирование; настройка по образцам сталей; автоматическая калибровка; просмотр результатов на дисплее и их пересылка на компьютер.

Технические характеристики:

Рабочий диапазон защитного слоя (мм):

- для диаметров	3...12	0...100
- для диаметров	14...30	1...120
- для диаметров	32...50	5...130

Предельная чувствительность, мм

250

Предельная рабочая толщина, мм

170

Контролируемые диаметры, мм

3...50

Минимальный шаг контролируемой арматуры, мм:

- для диаметров	3...10	100
- для диаметров	12...50	200

Потребляемая мощность, Вт

0,08

Время непрерывной работы

25 часов

Размеры (мм):

- | | |
|--------------------------------|-----------|
| - микропроцессорное устройство | 146x72x25 |
| - датчик | 150x32x37 |

Масса (кг):

- | | |
|--------------------------------|------|
| - микропроцессорное устройство | 0,14 |
| - датчик | 0,20 |

Диапазон рабочих температур, °С -10...+40

Количество испытаний с начала года: Полноценное представление результатов в текстовой и графической формах, с тональным поиском арматуры. Наличие областей памяти для всех режимов работы с фиксацией результатов, вида арматуры, типа стали, даты и времени.

Толщиномер ультразвуковой УТ-93П. Толщиномер ультразвуковой УТ-93П предназначен для измерения толщины изделия из конструкционных металлических сплавов при одностороннем доступе к ним.

Толщиномер может применяться для измерения толщин стенок емкостей, труб, трубопроводов, а также толщин мостовых, корпусных, транспортных и других конструкций и изделий, в том числе с координатными поверхностями, в процессе их эксплуатации или после изготовления на энергетических, трубопрокатных, машиностроительных и других предприятиях.

Толщиномер предназначен для эксплуатации в следующих условиях:

- 1) температура окружающего воздуха от минус 10 до плюс 50°С;
- 2) относительная влажность окружающего воздуха 95% при температуре 35°С и более низких температурах без конденсации влаги;
- 3) атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа.



Рис. 9.8. Толщиномер ультразвуковой УТ-93П

Толщиномер устойчив к воздействию соляного тумана. По защищенности от воздействия твердых тел (пыли) и воды толщиномер соответствует исполнению IP53 по ГОСТ 14254-80. Диапазоны измерения различными преобразователями отражены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Диапазоны измерения

Условные обозначения преобразователя	Диапазон измерения, мм
П112-10-6/2-А-001	0,6-10
П112-10-4х4-Б-003	0,6-30
П112-5-4х4-А-003	2,0-20
П112-5-4х4-Б-003	0,8-200
П112-5-12/2-Б-002	1,0-300
П112-2,5-12/2-Б-002	2,0-1000

Толщиномер является ультразвуковым контактным прибором общего назначения по ГОСТ 25863-83.

Диапазон измерения толщиномером по стали или алюминию изменяется от 0,6 до 1000 мм.

Предел допустимого значения основной ошибки +0,1 мм в диапазоне от 0,6 до 300 мм и от 20 до 300 мм и $\pm(0,001X + 0,1)$

мм. Дискретность цифрового отсчетного устройства толщиномера 0,1 мм.

Вибромер строительный ВИСТ-2.4. Вибромер строительный ВИСТ-2 предназначен для определения параметров колебаний различных виброустановок, вибродиагностики оснований и фундаментов машин, механизмов. В режимах непрерывной индикации и дискретных отсчетов прибор одновременно измеряет три параметра: виброскорость, амплитуду и частоту колебаний. Имеет долговременную память до 100 результатов по трем параметрам.



Рис. 9.9. Вибромер строительный ВИСТ-2.4

Малогабаритный датчик устанавливается на объекте контроля с помощью магнитного основания или шпильки.

Технические характеристики:

Рабочие диапазоны частот, Гц	5...1000; 5...500
Диапазон измерения виброскорости, мм/с	0,1...500; 0,1...200
Диапазон измерения амплитуды, мм	0,01...10; 0,02...5
Пределы погрешности измерения виброскорости и амплитуды / частоты, %:	±6 / ±0,2
Габаритные размеры электронного блока, мм	147x72x27
Габаритные размеры датчика, мм	Ø20x30

Масса электронного блока, кг 0,14

Масса датчика, г 46

Прибор внесен в Государственный реестр СИ РФ под №47719-11.

Измерители механических напряжений и колебаний ИНК-2.4 и ИНК-2.4К. Назначение – измерение напряжений в различных видах преднапряженной арматуры железобетонных конструкций и изделий, а также параметров колебаний виброустановок для уплотнения бетонной смеси. Измеряемые параметры: напряжение, отклонение от проектного значения и поправка на длину среза стержней; виброскорость, амплитуда и частота колебаний.



Рис. 9.10. Измеритель механических напряжений ИНК-2.4

Прибор обладает уникальной помехоустойчивостью. Имеет память 200 результатов по всем параметрам. Комплектуется 2 видами датчиков напряжений и вибродатчиком с магнитным креплением.

Технические характеристики:

Диапазоны измерений напряжений, МПа	50...2000
Диапазон длин / диаметров арматуры, м / мм	3...28 / 3...36
Диапазон измерения частот, Гц	5...100 / 5...500
Диапазон измерения амплитуд, мм	0,02...5

Методы неразрушающего контроля в строительстве

Диапазон измерения виброскорости, мм/с	0,1...200
Пределы погрешности измерения, %:	
- напряжений	± 4
- амплитуды и виброскорости	± 6
- частоты	$\pm 0,2$
Габаритные размеры, мм:	
- электронного блока	147x72x27
- датчика индуктивного для измерения напряжений	170x40x40
- вибродатчика (для ИНК-2.4К)	$\varnothing 30 \times 37$
Масса, кг:	
- электронного блока	0,14
- датчика индуктивного для измерения напряжений	0,16
- вибродатчика (для ИНК-2.4К)	0,09

Прибор ИНК-2 предназначен только для измерения механических напряжений. Комбинированный прибор ИНК-2.4К дополнительно комплектуется вибродатчиком.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении приведем преимущества и недостатки неразрушающих и разрушающих методов контроля.

Преимущества разрушающих методов контроля:

1. Испытания обычно имитируют одно или несколько рабочих условий. Следовательно, они непосредственно направлены на измерение эксплуатационной надежности.

2. Испытания обычно представляют собой количественные измерения разрушающих нагрузок или срока службы до разрушения при данном нагружении и условиях. Таким образом, они позволяют получить числовые данные, полезные для конструирования или для разработки стандартов или спецификаций.

3. Связь между большинством измерений разрушающим контролем и измеряемыми свойствами материалов (особенно под нагрузкой, имитирующей рабочие условия) обычно прямая. Следовательно, исключаются споры по результатам испытания и их значению для эксплуатационной надежности материала или детали.

Недостатки разрушающих методов контроля:

1. Испытания не проводят на объектах, фактически применяемых в эксплуатационных условиях. Следовательно, соответствие между испытываемыми объектами и объектами, применяемыми в эксплуатации (особенно в иных условиях), должно быть доказано иным способом.

2. Испытания могут проводиться только на части изделий из партии. Они, возможно, будут иметь небольшую ценность, когда свойства изменяются от детали к детали.

3. Часто испытания невозможно проводить на целой детали. Испытания в этом случае ограничиваются образцом, вырезанным из детали или специального материала, обладающих свойствами материала детали, который будет применяться в рабочих условиях.

4. Единичное испытание с разрушением может определить только одно или несколько свойств, которые могут влиять на надежность изделия в рабочих условиях.

5. Разрушающие методы контроля затруднительно применять к детали в условиях эксплуатации. Обычно для этого работа прекращается и данная деталь удаляется из рабочих условий.

6. Кумулятивные изменения в течение периода времени нельзя измерить на одной отдельной детали. Если несколько деталей из одной и той же партии испытывается последовательно в

течение какого-то времени, то нужно доказать, что детали были одинаковыми. Если детали применяются в рабочих условиях и удаляются после различных периодов времени, необходимо доказать, что каждая была подвержена воздействию аналогичных рабочих условий, прежде чем могут быть получены обоснованные результаты.

7. Когда детали изготовлены из дорогостоящего материала, стоимость замены вышедших из строя деталей может быть очень высока. При этом невозможно выполнить соответствующее количество и разновидности разрушающих методов испытаний.

8. Многие разрушающие методы испытаний требуют механической или другой предварительной обработки испытываемого образца. Часто требуются крупногабаритные, дающие очень точные результаты, машины. В итоге стоимость испытаний может быть очень высокой, а число образцов для испытаний ограниченным. Кроме того, эти испытания весьма трудоемки и могут проводиться только работниками высокой квалификации.

9. Разрушающие испытания требуют большой затраты человеко-часов. Производство деталей стоит чрезвычайно дорого, если соответствующие длительные испытания применяются как основной метод контроля качества продукции.

Преимущества неразрушающих методов контроля:

1. Испытания проводятся непосредственно на изделиях, которые будут применяться в рабочих условиях.

2. Испытания можно проводить на любой детали, предназначенной для работы в реальных условиях, если это экономически обосновано. Эти испытания можно проводить даже тогда, когда в партии имеется большое различие между деталями.

3. Испытания можно проводить на целой детали или на всех ее опасных участках. Многие опасные с точки зрения эксплуатационной надежности участки детали могут быть исследованы одновременно или последовательно, в зависимости от удобства и целесообразности.

4. Могут быть проведены испытания многими НМК, каждый из которых чувствителен к различным свойствам или частям материала или детали. Таким образом, имеется возможность измерить столько различных свойств, связанных с рабочими условиями, сколько необходимо.

5. Неразрушающие методы контроля часто можно применять к детали в рабочих условиях, без прекращения работы, кро-

ме обычного ремонта или периодов простоя. Они не нарушают и не изменяют характеристик рабочих деталей.

6. Неразрушающие методы контроля позволяют применить повторный контроль данных деталей в течение любого периода времени. Таким образом, степень повреждений в процессе эксплуатации, если ее можно обнаружить, и ее связь с разрушением в процессе эксплуатации могут быть точно установлены.

7. При неразрушающих методах испытаний детали, изготовленные из дорогостоящего материала, не выходят из строя при контроле. Возможны повторные испытания во время производства или эксплуатации, когда они экономически и практически оправданы.

8. При неразрушающих методах испытаний требуется небольшая (или совсем не требуется) предварительная обработка образцов. Некоторые устройства для испытаний являются портативными, обладают высоким быстродействием, в ряде случаев контроль может быть полностью автоматизированным. Стоимость НМК ниже, чем соответствующая стоимость разрушающих методов контроля.

9. Большинство неразрушающих методов испытания кратковременны и требуют меньшей затраты человеко-часов, чем типичные разрушающие методы испытаний. Эти методы можно использовать для контроля всех деталей при меньшей стоимости или стоимости, сопоставимой со стоимостью разрушающих методов испытаний лишь небольшого процента деталей в целой партии.

Недостатки неразрушающих методов контроля:

1. Испытания обычно включают в себя косвенные измерения свойств, не имеющих непосредственного значения при эксплуатации. Связь между этими измерениями и эксплуатационной надежностью должна быть доказана другими способами.

2. Испытания обычно качественные и редко – количественные. Обычно они не дают возможности измерения разрушающих нагрузок и срока службы до разрушения даже косвенно. Они могут, однако, обнаружить дефект или проследить процесс разрушения.

3. Обычно требуются исследования на специальных образцах и исследование рабочих условий для интерпретации результатов испытания. Там, где соответствующая связь не была доказана, и в случаях, когда возможности методики ограничены,



наблюдатели могут не согласиться в оценке результатов испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асташенков, А.И. Измерения. Контроль. Качество. Неразрушающий контроль: справочник / А.И. Асташенков. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 708 с.
2. Балдев, Радж. Применение ультразвука / Радж Балдев, В. Раджендран, П. Паланичами; пер.с англ. А. Ширшова. – М. : Техносфера, 2006. – 575 с.
3. Батаев Д. Техническая экспертиза зданий и сооружений. – М.: «Комтек-Принт», 2004. – 310 с.
4. Бирюкова, Н.П. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения: справ. пособие / Н.П.Бирюкова. – М.: Гос. унитар. предприятие «Науч.-техн. центр по безопасности в промсти Госгортехнадзора РФ», 2003. – 389 с.
5. Бондарь, О.Б. Неразрушающие методы определения параметров диффузии примеси в твердом теле / О.Б. Бондарь. – М.: Машиностроение, 2005. – 88 с.
6. Будадин О.Н. Тепловой неразрушающий контроль изделий: Научно-методическое пособие. – М.: Наука, 2002. – 472 с.
7. Дикарев В.И. и др. Методы и средства обнаружения объектов в укрывающих средах. – С-Пб.: Наука и техника, 2004. – 280 с.
8. Ермолов И.Н., Останин Ю.Я. Методы и средства неразрушающего контроля качества: Учеб. пособие для инженерно-техн. спец. вузов. – М.: Высшая школа, 2003. – 368 с.
9. Калинин В.М. и др. Обследование и испытание конструкций зданий и сооружений. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 336 с.
10. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Кн.1/ Под ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 1986. – 488 с.
11. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. – Справочник. В 2-х кн./ Под ред. В.В.Клюева – М.: Машиностроение, 2006.
12. Ремнев В.В. и др. Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений: Учебное пособие. – М.: Маршрут, 2005. – 196 с.
13. Технические средства диагностирования: Справочник / Под общ. ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 2005. – 672 с.