

АННОТАЦИЯ

Целью освоения дисциплины «Экспериментальные методы исследования конструкций» является углубление уровня освоения компетенций обучающегося в области изучения методов, позволяющих выполнять экспериментальные исследования строительных конструкций эксплуатируемых зданий и сооружений.

Задачи дисциплины:

Изучение экспериментальных методов контроля напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и методов их дефектоскопии в течение всего жизненного цикла здания или сооружения.

1. Экспериментальные методы исследования строительных конструкций

1.1 Задачи и возможности экспериментальных методов при исследованиях строительных конструкций зданий и сооружений

Обеспечение заданного качества и надежности строительных конструкций, зданий и сооружений является принципиальной задачей строительной отрасли. Для решения данной задачи необходимо, в том числе, обеспечить контроль качества выпускаемой продукции, позволяющий достоверно и с достаточной долей обеспеченности оценить физико-механические характеристики используемых материалов. Основными критериями проектного качества строительной продукции является физические, геометрические и функциональные показатели.

Выбор материала для какой-либо определенной цели делают на основе его механико-технологических, физических и химических свойств. Контролировать эти свойства необходимо как в процессе изготовления, так и в ходе эксплуатации для выявления недопустимых изменений, а в случае повреждения изделия – определять его причину.

Важной характеристикой материалов является количество компонентов, из которых они состоят. Анализ состава предполагает проведение элементарного анализа для определения рода и количества элементарных компонентов. В данной работе задачи теоретического определения состава материала не ставились.

Для выявления состояния и эксплуатационного контроля конструкций, за которыми предусмотрен технический надзор, например транспортные средства, преимущественно применяют методы неразрушающего контроля. Если, несмотря на проведение такого предупредительного контроля, все же в процессе эксплуатации произойдет разрушение конструкции вследствие дефектов самого материала, недостатков конструкции или ее изготовления, либо ошибок при эксплуатации необходимо всесторонне изучить характер этого разрушения для того, чтобы определить его причины. Применяемые для этой цели традиционные металлографические, механические и технологические способы испытания могут

быть весьма эффективно дополнены, к примеру, исследованиями поверхности излома микроскопами, акустическими и другими методами.

В практике проведения обследования и строительного контроля выделяют следующие методы испытаний материалов и конструкций:

– механические испытания, связанные с определением прочности материала при локальном механическом воздействии (удар, отрыв, скол, вдавливание, отрыв со скалыванием, упругий отскок и прочее);

– лабораторные испытания, связанные с испытаниями до разрушения образцов стандартного размера с использованием стационарных прессов и испытательных машин (разрывные машины, копры и прочее);

– акустические, связанные с определением параметров упругих колебаний с помощью ультразвуковой нагрузки и регистрации эффектов акустоэмиссии;

– метод проникающих сред (течеискание, капиллярный метод, оценка водонепроницаемости);

– магнитные методы (индукционный и магнитопорошковый);

– радиационные методы, связанные с использованием нейтронов, радиоизотопов и тормозного излучения;

– тепловые методы, связанные с контролем тепловых полей и теплового контраста исследуемого объекта;

– радиоволновые методы, основанные на эффекте распространения высокочастотных и сверхвысокочастотных колебаний;

– электрические методы, основанные на оценке электропроводности, электроиндуктивности и электрического сопротивления изучаемого объекта.

К наиболее распространенным следует первые четыре метода. Остальные методы являются «специфичными» и их использование подразумевает привлечение высококвалифицированного персонала и дорогостоящих приборов (тепловизоры, дефектоскопы и подобное).

1.2 Основные причины аварий строительных конструкций

Основные причины аварий строительных конструкций зданий и сооружений связаны с нарушением эксплуатации, а также допущением ошибок на стадиях проектирования и строительства. При выполнении работ по возведению зданий и сооружений, в обязательном порядке требуется соблюдать все правила и требования строительных регламентов. Дополнительно необходимо проводить регулярные проверки и осмотры, для дальнейшего исключения возможности возникновения аварийного состояния, что станет причиной возможного обрушения строительных конструкций.

Авариями строительных конструкций называют нарушение целостности отдельных их элементов, которые приводят к невозможности эксплуатировать здание или сооружение, его полному или частичному обрушению, а также высокому риску возникновения обрушений.

Особенности аварии и аварийного состояния зданий и сооружений:

- нарушение целостности конструкций;
- наличие значительных дефектов или повреждений;
- наличие повышенного риска обрушения здания или сооружения приводит к невозможности полноценной его эксплуатации.

При частичной аварии будет повреждена часть конструкции, что приведет к снижению ее функциональности и устойчивости. В таком случае необходим ремонт только той части, которая была повреждена с проверкой всех остальных конструктивных элементов. При полной аварии нарушение конструкции имеет капитальный характер, то есть ремонт будет невозможен, так как потребуются полноценное восстановление объекта.

В случаях редких аварий подразумеваются ситуации, возникновение которых имеет неопределенный фактор. Примером таких ситуаций могут быть стихийные бедствия, пожары и т.д. При повторяемом аварийном состоянии подразумевается регулярное проявление определенных отрицательных явлений или факторов, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации. Од-

ним из случаев будет неустойчивый грунт, что приведет к повторяющемуся воздействию на основание конструкции, а также постепенное снижение несущей способности, в частности при длительной эксплуатации объекта.

Стоит учесть, что минимизация рисков аварийного и предаварийного состояния объекта возможна только при полноценном строительном процессе, при котором будут отмечены все особенности и возможные факторы, воздействующие на конструкцию. Дополнительным способом снижения рисков аварии будет регулярная проверка строительных конструкций и недопущение ошибок при их создании.

Аварии конструкций могут быть связаны с большим количеством причин. Выделим ряд основных ошибок, которые приводят к созданию на объекте предаварийного состояния.

Ошибки проектирования

Большинство ошибок, которые привели к аварийным ситуациям, связано с неправильным проектом. Примерами таких ошибок могут быть:

- ошибки выполненных расчетов по несущей способности отдельных элементов или всей конструкции;
- ошибки планировок здания, объекта, сооружения, что уменьшило эффективность его эксплуатации и снизило безопасность;
- локальные перегрузки отдельного элемента строительных конструкций;
- при проектировании не учтены особенности грунтов основания, их характеристики и предельная несущая способность.

Обрушение конструкции здания из-за неправильно разработанного проекта должно исключаться на этапе проектирования. Проектная документация перед ее утверждением должна проверяться с учетом всех требований и эксплуатационных условий.

Ошибки в процессе строительства

Строительный процесс также должен контролироваться. Примером может быть отклонение от проекта, в котором опорные элементы переносятся или исключаются без соответствующего согласования с проектной организацией. Также имеются случаи применения не соответствующих проекту строительных материалов при возведении строительных конструкций. Например, применение более низкого класса бетона при бетонировании.

Особое внимание необходимо уделять выполнению требуемой технологии производства работ. Нарушение технологических процессов значительно может повысить неопределенность в достижении требуемого качества, что в целом может сказаться на надежности всего сооружения.

Ошибки эксплуатации

Каждое здание и сооружение возводится согласно требованиям эксплуатационных условий. Данные условия разрабатываются с целью обеспечения полноценного функционирования объекта капитального строительства.

Нарушение условий эксплуатации могут быть также причиной возникновения аварийных ситуаций.

При отсутствии лиц, которые ответственны за ТО, снижается контроль за эксплуатацией сооружения и его состоянием, а также за рядом строительных или ремонтных работ. Это приводит к тому, что возникает большое количество нарушений, прямо влияющих на надежность конструкций.

Разновидностей ошибок, в результате которых может происходить разрушение строительных конструкций, очень много, они также могут зависеть от других факторов. Примером будет нарушение техники безопасности при выполнении ремонтных или дополнительных строительных работ и аналогичные случаи. Также среди наиболее частых ошибок можно выделить экономию средств, которая касается строительных материалов, проведения проверок состояния объекта и его конструкций, нерегулярности ремонта. Все указанные факторы от-

рицательно влияют на безопасность объекта и надежность конструкций, что может явиться причиной аварий.

1.3 Задачи диагностики и испытаний строительных конструкций.

Задачи диагностики и испытаний строительных конструкций основаны на применении методов и средств, предназначенных для качественной и количественной оценки показателей, характеризующих свойства и состояния функционирующих объектов, а также опытного изучения процессов, протекающих в них, выявления экспериментальным путем конструктивных и эксплуатационных свойств материалов, элементов конструкций зданий и сооружений и установления их соответствия техническим требованиям.

Обследование или диагностика строительных конструкций зданий и сооружений содержит методы контроля качества изготовления и монтажа элементов строительных конструкций, обеспечивающих соответствие объекта проектным значениям, а также отображение действительной работы систем. Так, на заводах железобетонных изделий выпускаемые железобетонные сплошные панели для перекрытий жилых и общественных зданий согласно соответствующему ГОСТу должны изготавливаться по рабочим чертежам и удовлетворять соответствующим техническим требованиям. Устанавливаются допускаемые отклонения от проектных размеров по длине, ширине, толщине, неплоскостности, разности длин диагоналей, смещению закладных деталей, толщине защитного слоя.

Материалы, применяемые для приготовления бетона, должны удовлетворять требованиям стандартов на эти материалы и обеспечивать получение бетона заданных классов по прочности и марок по морозостойкости. Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры должна соответствовать значению, указанному в рабочих чертежах. Нижняя поверхность панели перекрытия должна быть подготовлена под окраску, на ней не допускаются местные наплывы бетона, жировые и ржавые пятна, раковины и открытые воздушные поры, а стальные закладные детали и выпуски арматуры должны быть защищены от коррозии.

Изучение состояния монтируемой или эксплуатируемой конструкции при работе в реальных условиях обеспечивается теми же методами, что и при кон-

троле качества их изготовления, но зачастую возникает ситуация, когда для эксплуатируемого объекта отсутствует проектная и рабочая документация. Тогда для восстановления последней требуется детальное изучение реальных условий работы системы. К подобной ситуации можно отнести и тот случай, когда необходимо определить работоспособность системы с учетом отклонения ее параметров от проектных.

Повышенные требования предъявляются к методам диагностики и обследования при анализе причин аварий вследствие повреждений конструкций в процессе монтажа и эксплуатации, а также катастроф - аварий, повлекших за собой человеческие жертвы. Проводимая диагностика строительных конструкций и сооружений позволяет выявить наиболее характерные дефекты и разработать рекомендации по уточнению методов расчета тех или иных конструкций, улучшить их конструктивные схемы, технологию изготовления и монтажа.

Основная задача испытаний сооружений заключается в установлении соответствия между реальным поведением строительной конструкции и ее расчетной схемой. Инженерные сооружения представляют собой достаточно сложные механические системы, состоящие из большого числа элементов, работающих в условиях сложного напряженно-деформированного состояния и образующих пространственные конструкции. Несмотря на существенное развитие современной строительной механики, на широкое привлечение к расчетам быстродействующей вычислительной техники, при рассмотрении конкретных объектов, в том числе и строительных конструкций, возникает необходимость идеализации расчетных схем, которые учитывают лишь главные, основные свойства, характеризующие состояние реальной конструкции. Кроме того, поведение строительных конструкций связано с рядом факторов, носящих случайный характер, например, прочностные характеристики даже такого однородного материала, как сталь, подвержены разбросу. Так, анализ пределов текучести для стали марки Ст.3, проведенный Н.С. Стрелецким, показал, что предел текучести может изменяться от 200 до 320 МПа. Еще больший разброс прочности имеют бетон и дре-

весина. Значительной изменчивостью характеризуются нагрузки, действующие на строительные конструкции, здания и сооружения: собственный вес, ветер и снег, крановые нагрузки и др.

Процесс изготовления отдельных элементов конструкций, их транспортировка и монтаж также влияют на возможность появления случайных отклонений от заданных размеров. Эти отклонения регламентируются соответствующими технологическими допусками.

Цель испытаний - выявление поведения инженерных сооружений, конструкций и материалов, из которых изготовлены их элементы. Испытания могут проводиться как в лабораториях на моделях, так и на реальных объектах.

Проблемы повышения долговечности зданий и сооружений в условиях рыночной экономики являются весьма актуальными, поскольку здания изнашиваются быстрее там, где не выделяются средства на нормальную техническую эксплуатацию, а таких зданий становится все больше и больше как в промышленности, так и в коммунальном хозяйстве.

Необходимость реконструкции зданий требует решения вопросов о надежности существующих конструкций зданий, выявлении в них резервов для увеличения нагрузок или, наоборот, дефектов, снижающих вероятность их безаварийной работы.

2. Механические методы при экспериментальных исследованиях строительных конструкций

2.1 Обзор механических методов контроля строительных материалов конструкций

Механические методы испытаний используются для исследования прочности, деформируемости, пластичности, вязкости и характера разрушения изделия. Данные методы испытаний могут быть использованы для любого типа строительного материала.

Определение прочности бетона

Основным нормативным документом, регламентирующим применение механических неразрушающих методов определения прочности бетона, является ГОСТ 22690-2015. Согласно данному стандарту неразрушающие механические методы применяют для определения прочности бетона на сжатие в установленном проектной документацией промежуточном и проектном возрасте и в возрасте, превышающем проектный, в том числе при обследовании конструкций. Неразрушающие механические методы определения прочности бетона подразделяют по виду механического воздействия или определяемой косвенной характеристики на метод:

1. упругого отскока (основан на связи прочности бетона со значением отскока бойка от поверхности бетона);
2. пластической деформации (основан на связи прочности бетона с размерами отпечатка на бетоне конструкции или соотношения диаметра отпечатка на бетоне и стандартном металлическом образце при ударе индентора или вдавлении индентора в поверхность бетона);
3. ударного импульса (основан на связи прочности бетона с энергией удара и ее изменениями в момент соударения бойка с поверхностью бетона);
4. отрыва (основан на связи напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска);

5. отрыва со скалыванием (основан на связи прочности бетона со значением усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства);

6. скалывания ребра (основан на связи прочности бетона со значением усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции).

В общем случае неразрушающие механические методы определения прочности бетона являются косвенными неразрушающими методами определения прочности. Прочность бетона в конструкциях определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям, методика построения которых подробно описана в ГОСТ 22690-2015. Метод отрыва со скалыванием метод скалывания ребра при проведении испытаний являются прямыми неразрушающими методами определения прочности бетона. Для прямых неразрушающих методов допускается использовать градуировочные зависимости, установленные в ГОСТ 22690-2015.

Экспериментальное построение градуировочной зависимости может быть выполнено в условиях лаборатории либо в условиях строительной площадки (завода, объекта обследования). При этом в условиях лаборатории заранее подготавливают контрольные образцы кубы (размер зависит от крупности заполнителя). В заданном возрасте определяют величину косвенной характеристики на образце, а затем проводят его лабораторное испытание на прессе, в соответствии с ГОСТ 10180-2012. При построении градуировочной зависимости по результатам испытаний образцов-кубов используют не менее 15 серий образцов-кубов или не менее 30 отдельных образцов-кубов.

При построении градуировочной зависимости в условиях строительной площадки в конструкциях зависимость устанавливают по единичным значениям косвенного показателя и прочности бетона одних и тех же участков конструкций. За единичное значение косвенного показателя принимают среднее значение косвенного показателя в участке. За единичное значение прочности бетона принимают прочность бетона участка, определенную прямым неразрушающим ме-

тодом или испытанием отобранных образцов по ГОСТ 28570-2019. Минимальное число единичных значений для построения градуировочной зависимости по результатам испытаний прочности бетона в конструкциях – 12. При построении градуировочной зависимости по результатам испытаний прочности бетона в конструкциях не подлежащих испытанию конструкциях или их зонах предварительно проводят измерения косвенным неразрушающим методом. Затем выбирают участки в достаточном количестве на которых получены максимальное, минимальное и промежуточные значения косвенного показателя. После испытания косвенным неразрушающим методом участки испытывают прямым неразрушающим методом или отбирают образцы для испытания по ГОСТ 28570-2019.

Схемы проведения испытания прямыми неразрушающими методами представлены на Рисунок 0.1.

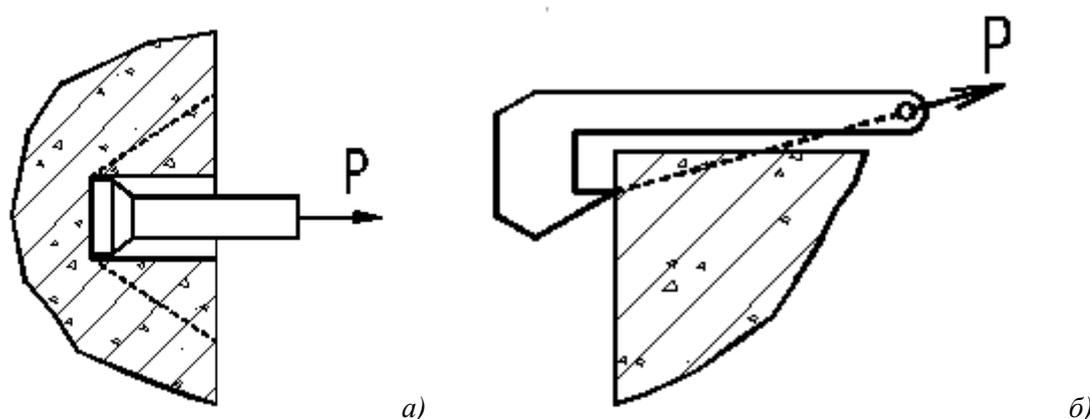


Рисунок 0.1 – Схемы испытания прямыми неразрушающими методами а) отрыв со скалыванием б) скалывание ребра

Наиболее распространенным видом испытания является «отрыв со скалыванием». При этом для его реализации используют различные типа анкеров (Рисунок 0.2), выбор которых связан с видом исследуемого бетона (ожидаемая прочность, крупность заполнителя). Основными приборами отечественного производства, реализующими данные методы, является прибор «Оникс» (Рисунок 0.3) и «ПОС» (Рисунок 0.4). Данные приборы выпускают в различных модификациях – подробную информацию можно посмотреть на сайтах производителей.

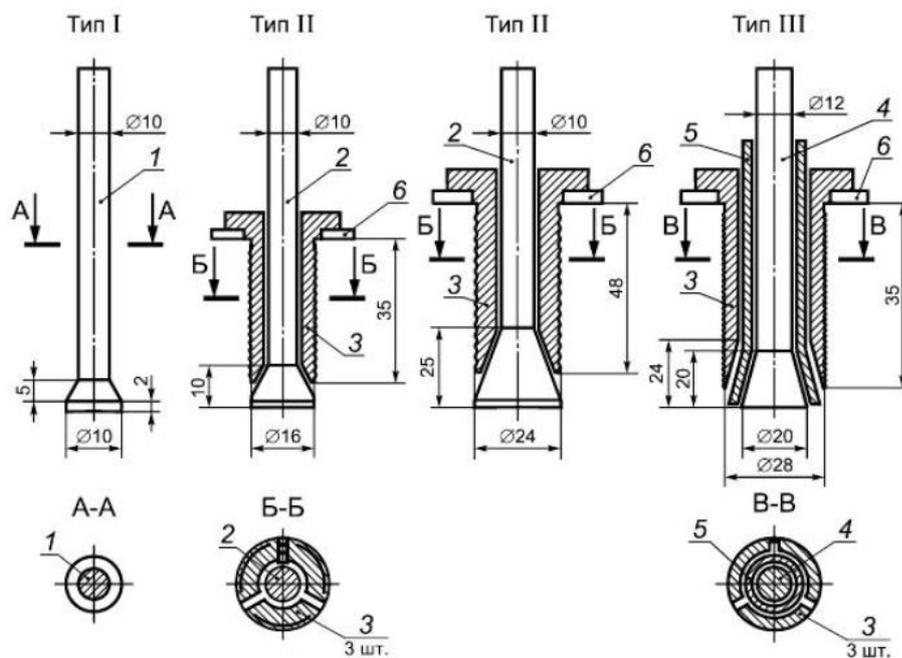


Рисунок 0.2 - Типы анкерных устройств для стандартной схемы испытаний (1 - рабочий стержень; 2 - рабочий стержень с разжимным конусом; 3 - сегментные рифленные щеки; 4 - опорный стержень; 5 - рабочий стержень с полым разжимным конусом; 6 - выравнивающая шайба



Рисунок 0.3 – Прибор «ПОС» а) общий вид б) проведение испытания методом «отрыв со скалыванием» в) проведение испытания методом «скалывания ребра»



а)



б)

Рисунок 0.4 - Прибор «ОНИКС» а) общий вид б) проведение испытания методом «отрыв со скалыванием»

Выше представлены наиболее распространенные марки приборов прямого неразрушающего метода контроля прочности. Существуют также другие отечественные и импортные аналоги. Принципиальная схема проведения испытания данных приборов связана с определением прочности бетона на сжатие через прочность бетона на растяжение и срез (выдергивание анкера, скалывание ребра).

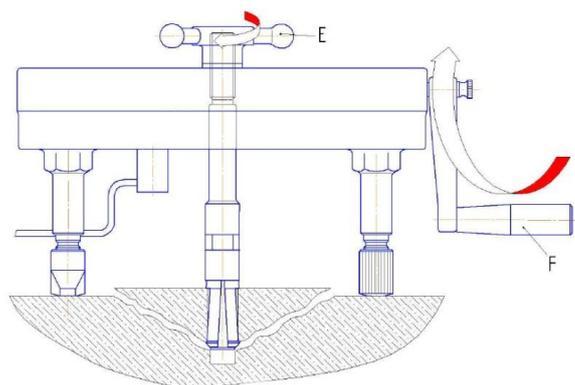


Рисунок 0.5 - Схема проведения испытания методом «отрыв со скалыванием»

При этом соотношение данных прочности для бетонов различных прочностей и различных составов отличается. На основании этого рекомендуется предварительно строить фактическую градуировочную зависимость с увязкой с результатами лабораторных испытаний. Согласно требованиям нормативных до-

кументов допускается использовать стандартную градуировочную зависимость типа (2.1) для отрыва со скалыванием и (2.2) для скалывания ребра:

$$R = m_1 m_2 P \quad (2.1)$$

где R – кубиковая прочность на сжатие, Мпа;

m_1 - коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя в зоне вырыва принимаемый равным 1 при крупности заполнителя менее 50 мм;

m_2 - коэффициент пропорциональности для перехода от усилия вырыва в килоньютонах к прочности бетона в мегапаскалях (зависит от типа используемого анкера);

P - усилие вырыва анкерного устройства, кН

$$R = 0.058m(30P_{ск} + P_{ск}^2) \quad (2.2)$$

где m – коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя;

$P_{ск}$ – усилие скалывания, кН.

Поэтому прочностные характеристики бетона, полученные неразрушающим методом чаще отличаются от прочности бетона, полученной в лаборатории на контрольных образцах.

Наиболее распространенными косвенные неразрушающие методы определения прочности бетона являются метод упругого отскока и ударно-импульсный метод. Метод пластических деформаций, отличающийся повышенной трудоемкостью измерений и значительным разбросом единичных показателей, в настоящее время практически не используется.

Метод упругого отскока основан на существовании зависимости между упругими характеристиками материала конструкции и его прочностью. Прочность материала конструкции определяется по величине упругого отскока бойка от ее поверхности. Под действием пружины ударник (металлический стержень) бьет по поверхности конструкции и отскакивает, при этом фиксируется величина

отскока. По экспериментально установленной градуировочной зависимости определяется прочность материала конструкции (Рисунок 0.6 а). Наиболее распространенные марки приборов, реализующих данный метод, представлены на Рисунок 0.6 б в г.

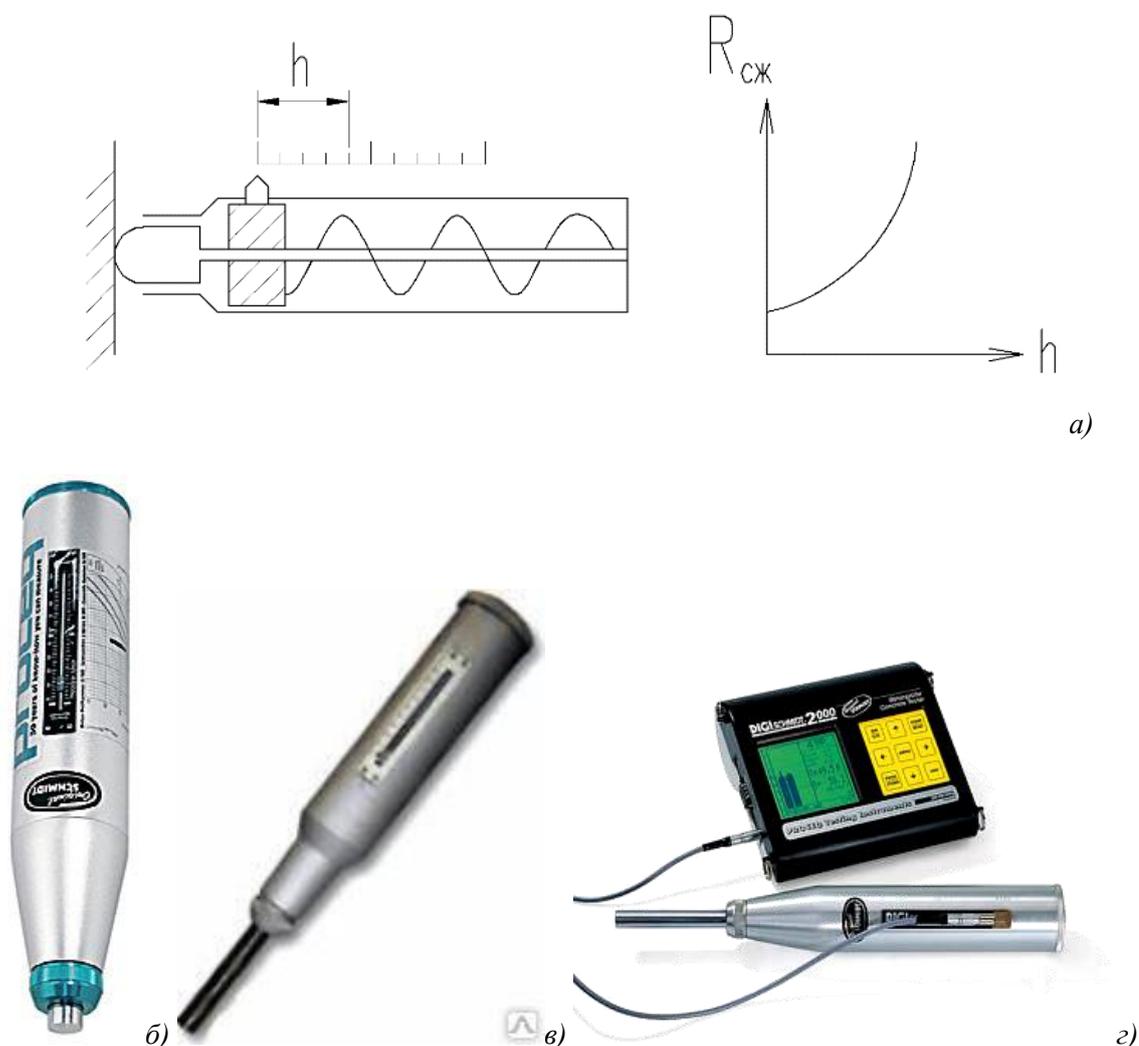


Рисунок 0.6 – Метод упругого отскока а) принципиальная схема измерения б) Schmidt Hammer Proceq в) склерометр ОМШ-1 г) DIGI-Schmidt 2000

Ударно импульсный метод позволяет определять не только прочность, но и твердость и однородность различных материалов. Принципиальная схема метода измерения представлена на Рисунок 0.7 а. Основное отличие от метода упругого отскока заключается в наличие пьезоэлемента, позволяющего генерировать электроимпульс при падении ударника. При этом мощность импульса будет тем выше, чем больше величина поверхностной твердости материала, и, соответ-

ственно, прочности. Основные марки приборов, реализующих данный метод и используемых при обследовании, представлены на Рисунок 0.7 б, в и г.

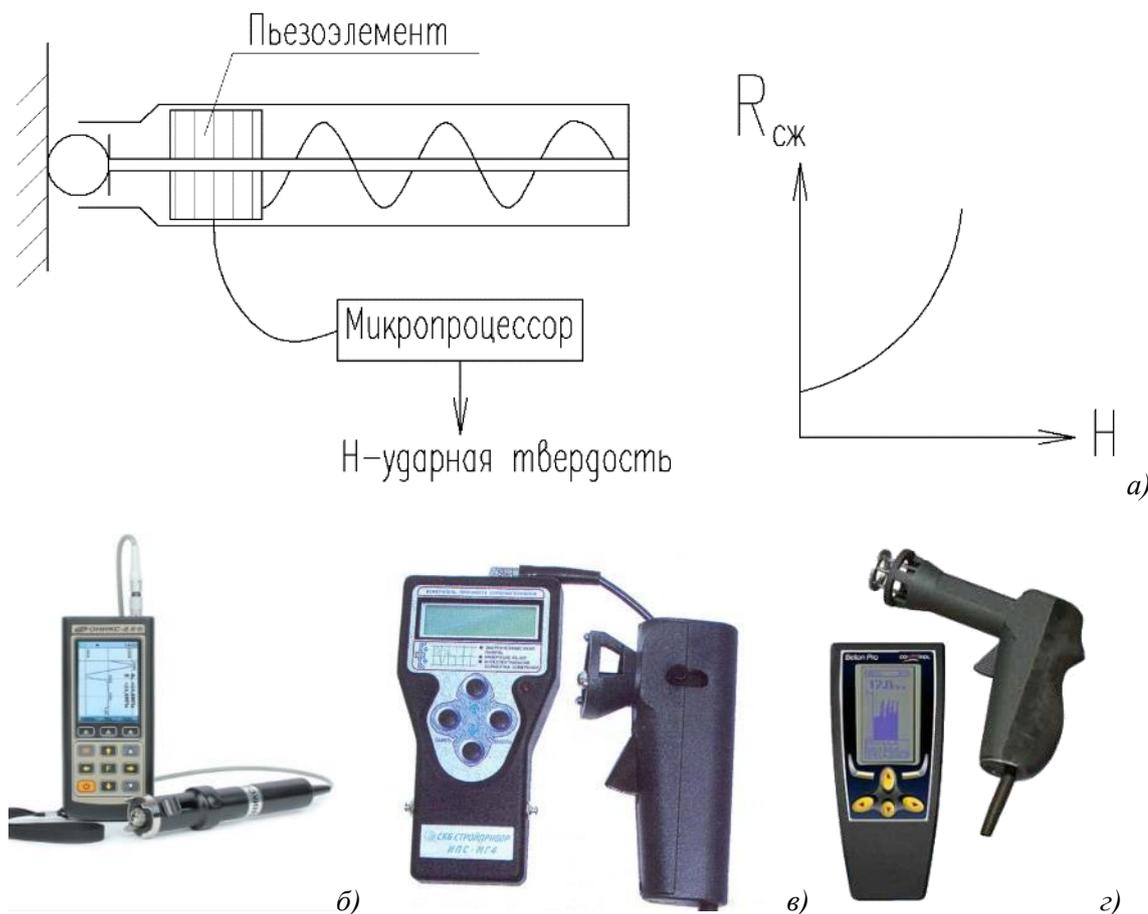


Рисунок 0.7 – Ударно-импульсный метод а) принципиальная схема измерения б) Ониск-2.6 в) ИПС г) Beton Pro Control

В некоторых приборах реализован двухпараметрический метод измерения (ударный импульс + отскок), повышающий достоверность результатов, имеется режим хранения и просмотра массива единичных результатов для дополнительной компьютерной обработки, графическая форма отображения результатов, возможность ввода градуировочных зависимостей пользователя и задания с помощью компьютера собственных названий материалов. Существуют специальные модификации приборов, предназначенные для измерения прочности ячеистых бетонов со сниженным нижним диапазоном измерения прочности до 0,5 МПа.

Любой из вышеизложенных методов неразрушающего контроля прочности бетона дает возможность оценить прочность только поверхностного слоя. В объемных конструкциях прочностные характеристики в глубине массива могут значительно отличаться от характеристик поверхностного слоя.

Определение прочности металла

Металл, в отличие от бетона, является однородным материалом и изготавливается в заводских условиях, поэтому при обследовании, чаще всего, достаточно установить марку используемой стали (проектная или исполнительная документация, паспорт, сертификат) и по ней определить все интересующие параметры. Но в ряде случаев требуется выполнять контроль прочности стали.

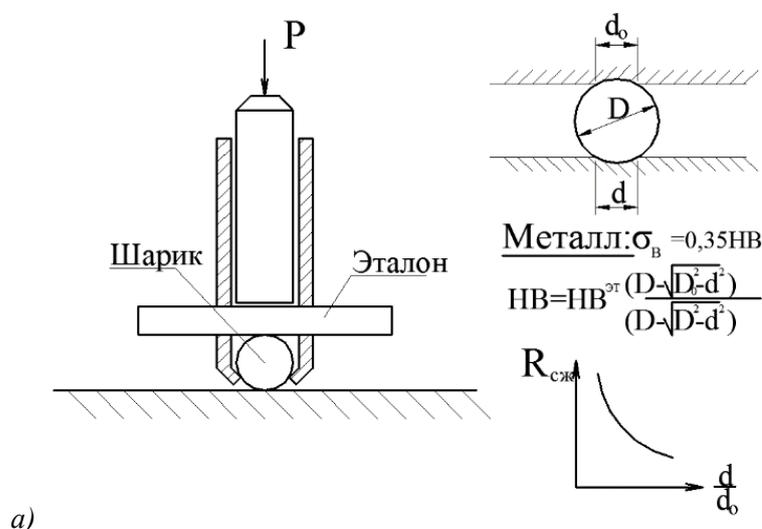
Для контроля прочности металла в условиях объекта обследования применяют прямой метод, основанный на выдергивании из металла болта, и методы, основанные на определении поверхностной твердости металла (методы пластических деформаций).

При прямом методе в исследуемой металлической конструкции высверливают отверстие и нарезают на определённую глубину резьбу. Затем в данное отверстие с резьбой вворачивают болт. С использованием специального устройства производят выдергивание болта из тела металлоконструкции. Выдергивание должно происходить за счет среза резьбы исследуемого металла, при этом фиксируют максимальное усилие вырыва. Зная параметры резьбы либо по заранее установленной градуировочной зависимости определяют временное сопротивление стали (σ_B).

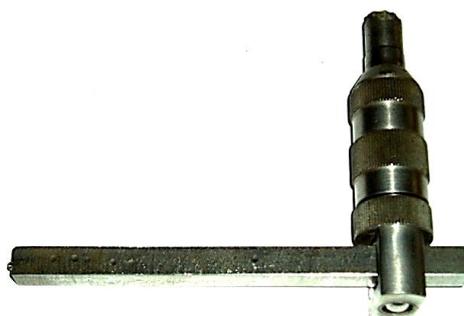
Методы пластических деформаций перенесены в строительную отрасль из металловедения («пробы на твердость»). Существуют испытания путем вдавливания в поверхность конструкции стального шарика или алмаза (по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу), измерения по упругому отскоку падающего шарика (по Шору). Полученные при этом данные переводятся в прочностные характеристики металла по эмпирическим формулам или с применением соответствующих графиков и таблиц.

В зависимости от конструктивного оформления, приборы, с помощью которых происходит вдавливание штампа, разделяют на статические и динамические.

В сфере обследования строительных конструкций наибольшее распространение получил прибор Польди – прибор динамического действия (штамп вдавливается ударом) по ГОСТ 18661-73. В данном методе твердость оценивается в сравнении с твердостью эталона, что позволяет не фиксировать величину приложенного усилия. Испытание производится путем ударного вдавливания стального шарика одновременно в образец и эталон (Рисунок 0.8 а). Это позволяет не фиксировать силу, вдавливающую штамп в поверхность конструкции. Определение поверхностной твердости (НВ) металла конструкции происходит по соотношению отпечатков на нем и на эталонном элементе.



а)



б)

Рисунок 0.8 – Определение твердости металла по Бринелю а) принципиальная схема определения твердости металла с помощью прибора Польди б) общий вид прибора

Всё большее распространение получают также малогабаритные твердомеры в которых используется метод ультразвукового контактного импеданса или метод упругого отскока (динамический). Сущность метода ультразвукового контактного импеданса заключается в следующем: алмазную пирамидку, закрепленную на металлическом стержне, прижимают к исследуемому образцу при фиксированном усилии (с помощью калиброванной пружины) и возбуждают упругие колебания. При этом металлический стержень служит акустическим резонатором встроенного генератора ультразвуковой частоты. Изменение частоты резонатора преобразуется электронным блоком в значение твёрдости. Чем меньше твёрдость образца, тем глубже пирамидка-штамп продавлиывает поверхность, и тем сильнее происходит изменение собственной частоты резонатора.

В методе упругого отскока определяется значение твердости HL по Либу. В ходе проведения испытания ударник с наконечником из твердого сплава приводится в действие пружиной, ударяется о поверхность и отскакивает. Магнит, встроенный в тело ударника, проходит через катушку и в процессе поступательного и возвратного движения создает электрический ток, пропорциональный скоростям удара и отскока (Рисунок 0.9, 2.9). Твердость определяется как отношение величины скорости отскока ударника к величине скорости удара.

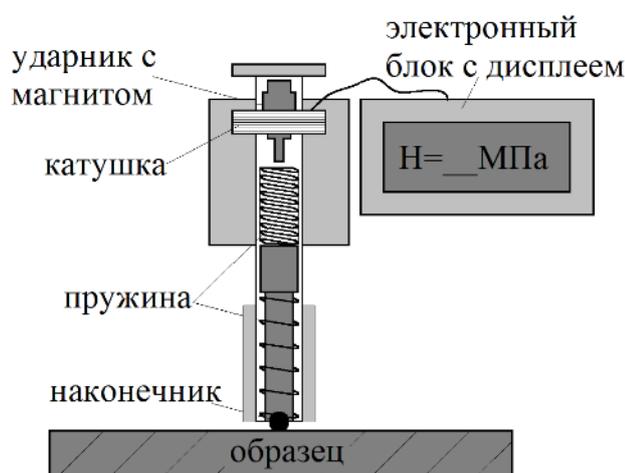


Рисунок 0.9 – Принципиальная схема определения твёрдости металла динамическим твердомером



Рисунок 0.9 – Применение динамического ударного твердомера

Для наиболее часто встречающихся материалов построены градуировочные зависимости, позволяющие переводить полученные значения твердости по Либу в стандартные статические шкалы твердости (по Бринеллю, Роквеллу) или во временное сопротивление стали ($\sigma_B = f(HL)$).



Рисунок 0.10 – Универсальные стационарные твердомеры по методам Бринелля, Роквелла, Виккерса.

Определение прочности древесины.

Определение физико-механических характеристик древесины чаще выполняют в лабораторных условиях на выбранных из конструкции образцах. Но существуют и неразрушающие методы контроля.

1. Метод ударных отпечатков (А.Х. Певцова). О прочности судят по диаметру отпечатка при падении стального шарика диаметром 25 мм с высоты 50 см со специальной подставки. Затем переход к прочности осуществляют по специальным экспериментальным кривым.

2. Способ стрельбы (предложен К.П. Кашкаровым). Стреляют со специальной подставки на расстоянии 10 см из малокалиберной винтовки. Глубина погружения пули определяется электрозондом (от влажности не зависит).

В данном разделе рассмотрены основные механические неразрушающие методы контроля и испытания строительных конструкций и материалов. Преимущества применения их заключаются в:

- возможности быстрого выполнения измерений в любом количестве точек конструкций;
- отсутствии необходимости в нарушениях сплошности и повреждения поверхности;
- возможности получения всевозможных данных о качестве и состоянии материала;
- возможности неоднократного повторения измерений.

При этом следует учитывать особенности, затрудняющие их применение:

- неизбежность сужения об определяемых параметрах по «косвенным» физическим показателям (зависимость между параметром измеряемым и переводным носит корреляционный характер);
- применение неразрушающих методов контроля требует соответствующей, часто довольно сложной, аппаратуры (высокая квалификация операторов).

2.2 Лабораторные испытания кладочных материалов, бетонов и металлических образцов

Выше были рассмотрены механические неразрушающие методы контроля строительных конструкций и материалов, которые, не смотря на все свои положительные стороны, не могут выдать достоверный результат без привязки к нормируемым лабораторным испытаниям. Целью лабораторных испытаний является определение фактических физико-механических характеристик материалов конструкций на момент проведения обследования.



Рисунок 0.11 – Испытание кирпича на сжатие

Необходимость проведения лабораторных испытаний обычно устанавливаются при разработке программы проведения обследования. При этом может быть разработана непосредственно программа проведения лабораторных испытаний, включающая:

- перечень строительных конструкций, из которых должны быть отобраны пробы для лабораторных испытаний;
- перечень видов лабораторных испытаний, которые должны быть проведены;
- места отбора проб из конкретных строительных конструкций, число

проб, отбираемых из каждой конструкции;

– методы и средства, применяемые для отбора проб из строительных конструкций;

– требования к упаковке, хранению и доставке проб в лабораторию;

– перечень лабораторий, в которых предполагается проводить испытания;

– методы и средства, применяемые при лабораторных испытаниях с указанием нормативных документов, в соответствии с которыми должны проводиться лабораторные испытания.



Рисунок 0.12 – Испытание бетонной призмы на сжатие

Результаты лабораторных испытаний оформляют в виде протокола либо частного отчета, в котором указывают:

– методы и средства, применявшиеся при отборе проб;

– перечень аттестованных лабораторий, в которых были проведены испытания;

– применявшиеся методы лабораторных испытаний;

– протоколы лабораторных испытаний с результатами испытаний;

– сравнение результатов лабораторных испытаний с требованиями проекта и/или нормативных документов.

Испытание бетона

Основными нормативными документами, регламентирующими определение прочности бетона в лабораторных условиях являются ГОСТ 10180-2019 для определения прочности по специально подготовленным контрольным образцам, и ГОСТ 28570-2019, для определения прочности бетона по образцам, отобранным из конструкции. Для бетона существует значительный перечень типов испытаний, позволяющих оценить его прочность при различных напряженно-деформированных состояниях, деформативные параметры, ползучесть, выносливость, длительную прочность, стойкость к различным эксплуатационным воздействиям и т.п. В данном разделе рассмотрим только проведение испытаний бетона с целью определения его прочности на сжатие.



Рисунок 0.13 – Компьютеризированный испытательный пресс для испытаний образцов и изделий их металла, бетона и других строительных материалов.

В РФ при испытании бетона его стандартной прочности на сжатие базовым принят образец куб с ребром 150 мм. При проведении испытаний образцов других форм (цилиндр, призма) и размеров применяют специальные переводные коэффициенты, позволяющие перевести полученную прочность к прочности образца нормируемого размера. Оценку класса бетона по прочности выполняют в соответствии с ГОСТ 18105-2018 с учетом данных по однородности бетона в конструкциях. При обследовании чаще класс бетона (B_{ϕ}) определяют по схеме Г по формуле:

$$B_{\phi} = 0,8 \cdot R_m \quad (2.3)$$

где R_m – среднее значение кубиковой прочности в серии, МПа.

Для изготовления контрольных образцов из бетонной смеси используют стальные формы под кубы заданного размера (рис. 2.14, 2.15). Допускается применение размеров кубов с ребрами 70, 100, 150, 200 и 300 мм. При этом наиболее распространенным размером является куб с ребром 100 мм. Применение образцов меньшего размера, чем стандартный обусловлено снижением расхода материала на изготовление контрольных образцов, сокращением объема камер нормального твердения и хранения, а также снижением массы одного образца. Для подготовки образцов из конструкции используют специальные керноотборники (рис. 2.16), снабженные коронкой с алмазным напылением, системой подачи воды и захватом для извлечения образца. Диаметр кернов выбирают исходя из армирования конструкции и размера крупного заполнителя. Из выбуренных кернов (рис. 2.17) с использованием отрезного станка и торцовочной машины изготавливают образца цилиндры с соотношением диаметр-высота около единицы.

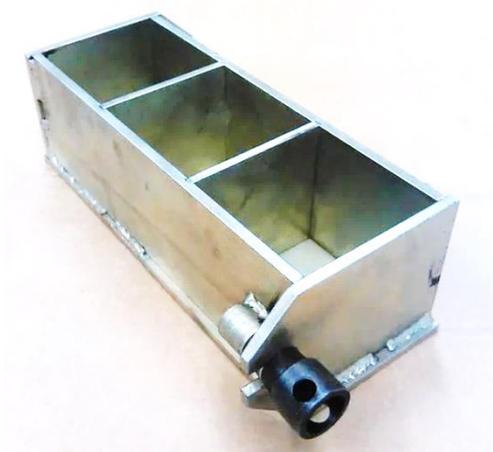


Рисунок 0.14 – Форма для образцов кубов



Рисунок 0.15 – Образцы кубы



Рисунок 0.16 – Керноотборник



Рисунок 0.17-Керны для изготовления образцов цилиндров

Минимально-допустимый размер образцов, в соответствии с требованиями нормативной документации назначают для тяжелого бетона с максимальным размером крупного заполнителя 20 мм – кубы с ребром 100 мм. Кубы с ребром 70 мм возможно использовать для мелкозернистого бетона. При испытании стандартного тяжелого бетона на кубах малого размера, в виду неоднородности материала (цементный камень, щебень) возникает неоднородное напряженно-деформированное состояние, что приводит к недостоверным результатам.

При выбурировании кернов размер образцов назначают исходя из максимального размера крупного заполнителя-диаметр цилиндра должен не менее, чем в три раза превышать данный размер. Т.е. для тяжелого бетона, изготовленного на щебне крупностью 5-20 принимают керны диаметром не менее 60 мм. В ряде случаев конструктивные особенности исследуемой конструкции не позволяют подготовить керны нужного диаметра из за интенсивного армирования. В таких случаях допускается подготавливать керны диаметром от 44 мм, при условии экспериментального определения масштабных коэффициентов.

Испытание образцов кубов и цилиндров, выпиленных из кернов, производят по одной методике. Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов. Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм,

а также следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси, испытанию не подлежат. При наличии дефектов фиксируют схему их расположения. На образцах выбирают и отмечают опорные грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. Опорные грани отформованных образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы. Измеряют линейные размеры образцов с погрешностью не более 1 %. Результаты осмотра и измерений записывают в журнал испытаний.

Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку. Разрушенный образец подвергают визуальному осмотру. При наличии внутри образца раковин и каверн или комков глины, следов расслоения, результаты испытаний не учитываются. Также результат не учитывают в случае разрушения образца по одной из неудовлетворительных схем (рис. 2.18).

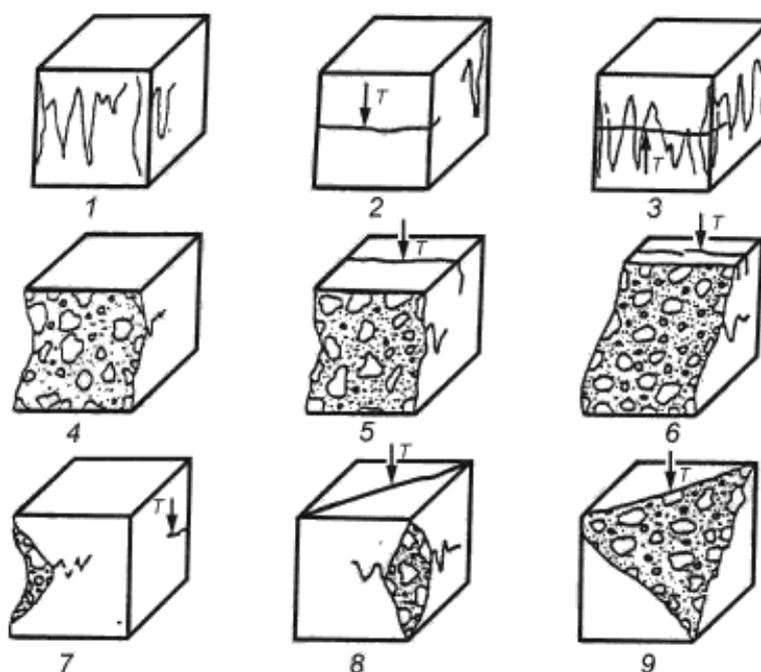


Рисунок 0.18 – Неудовлетворительные разрушения образцов кубов: 1-9 – номера образцов

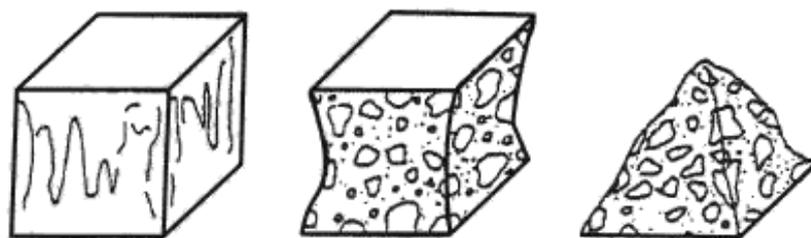


Рисунок 0.19 – Удовлетворительные разрушения образцов кубов

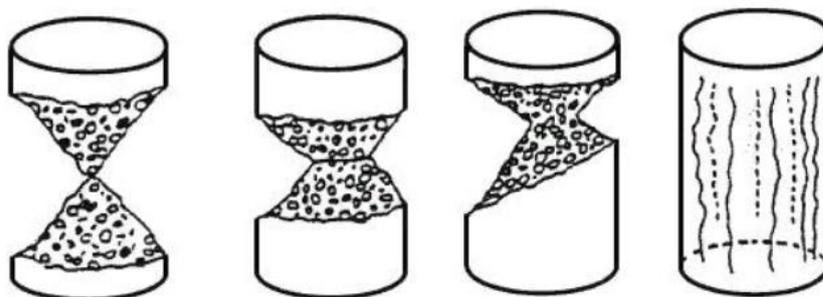


Рисунок 0.20 – Удовлетворительные разрушения образцов цилиндров

Прочность бетона на сжатие определяют по формуле:

$$R = \eta_1 \alpha \frac{F}{A} \quad (2.4)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь рабочего сечения образца, мм²;

α – масштабный коэффициент;

η_1 – коэффициент, учитывающий отношение высоты цилиндра к его диаметру (для образцов, отобранных из конструкции).

Испытание каменной кладки

При обследовании каменных зданий и сооружений определяют прочностные характеристик материалов, из которых они возведены. Марку кирпича по прочности устанавливают по значениям пределов прочности при сжатии и при изгибе по ГОСТ 530-2012. Испытания на сжатие и изгиб проводят в соответствии ГОСТ 8462-85.



Рисунок 0.21 – Испытание кирпича на сжатие на прессе

Отбор кирпича, камней и раствора из стен и фундаментов производят из несущих (под окнами, в проемах) или слабонагруженных элементов или конструкций. Для оценки прочности кирпича, камней правильной формы и раствора из кладки стен и фундаментов отбирают целые, неповрежденные кирпичи или камни и пластинки раствора из горизонтальных швов

Для определения прочности природных камней неправильной формы (бута) из фрагментов камней выпиливают кубики с размером ребер 40-200 мм или высверливают цилиндры (керны) диаметром 40-150 мм и длиной, превышающей диаметр на 10-20 мм.

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах, состоящих из двух целых кирпичей или из двух его половинок. Кирпич делят на половинки распиливанием или раскалыванием. Допускается определять предел прочности

при сжатии на половинках кирпича, полученных после испытания его на изгиб. Кирпичи или его половинки укладывают постелями друг на друга. Половинки размещают поверхностями раздела в противоположные стороны. Соединяют части образца и выравнивают их опорные поверхности цементным раствором. Допускается также выравнивать поверхности шлифованием, гипсовым раствором или применяя прокладки из технического войлока, резиноканевых пластин, картона и других материалов.



Рисунок 0.22 – Испытание кирпича на изгиб на прессе

Перед началом испытания образцы измеряют с погрешностью до 1 мм. Каждый линейный размер образца вычисляют как среднее арифметическое значение результатов измерений двух средних линий противоположащих поверхностей образца.

При испытании образцов на сжатие (рис. 2.23а), на боковые поверхности образца наносят вертикальные осевые линии. Образец устанавливают в центре плиты пресса, совмещая геометрические оси образца и плиты, и прижимают верхней плитой пресса. Нагрузка на образец, должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20 - 60 с после начала испытания.

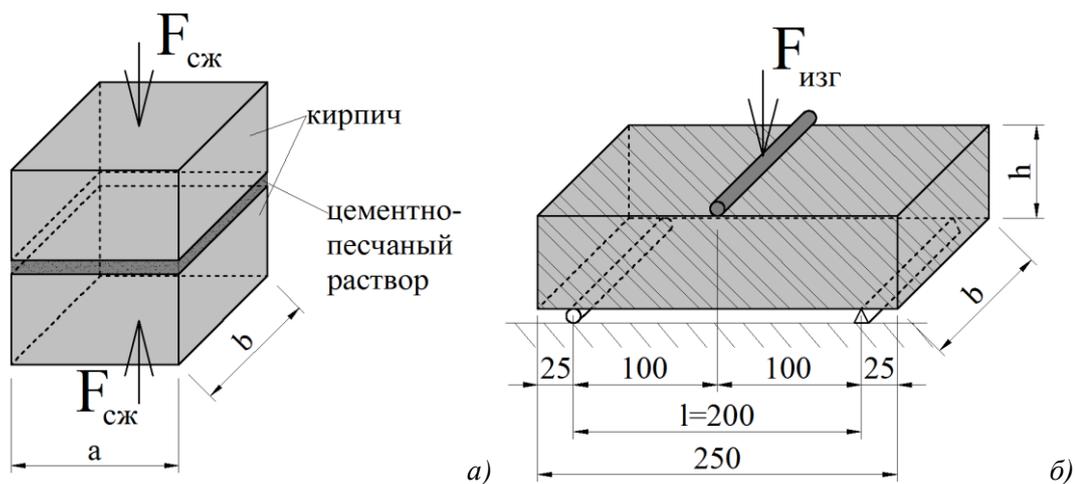


Рисунок 0.23 – Схема проведения испытания кирпича а) на сжатие б) на изгиб ($F_{сж}$ – сжимающая нагрузка; $F_{изг}$ – изгибающая нагрузка a, b, h – размеры поперечного сечения)

При испытании образцов на изгиб (рис. 2.23б) образец устанавливают на двух опорах прессы. Нагрузку прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца. Нагрузка на образец должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20 - 60 с после начала испытаний.

Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ вычисляется с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F_{сж}}{A} \quad (2.5)$$

где $F_{сж}$ – разрушающая нагрузка;

$A = a \cdot b$ – площадь рабочего сечения образца;

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$ вычисляется с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3F_{изг}l}{2bh^2} \quad (2.6)$$

где $F_{изг}$ – разрушающая нагрузка при изгибе, кН;

$l = 20\text{см}$ – расстояние между осями опор;

b – ширина образца, см;

h – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя, см.

Марка раствора по прочности на сжатие определяется по результатам испытаний специально подготовленных образцов кубов, размером $70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм из растворной смеси. При необходимости определения марки раствора обследуемой конструкции (фрагмента каменной кладки и т.п.) с использованием ручного инструмента (зубило, молоток, перфоратор) извлекают пластины швов (лещадки) из которых изготавливают образцы кубы с ребрами 20...40 мм.

Пластинки выпиливают алмазным инструментом в виде квадрата, сторона которого должна в 1,5 раза превышать толщину лещадки. Склеивание пластинок раствора для получения кубов с ребрами 2-4 см и выравнивание их поверхностей производят при помощи тонкого слоя гипсового теста. После изготовления образцы должны сутки храниться в условиях лаборатории.

В соответствии с требованиями нормативных документов марка раствора определяется как средняя величина единичных значений прочности трех образцов кубов. Для учета фактического размера образца и перехода к прочности раствора по результатам испытания кубиков стандартного размера ($70,7 \times 70,7 \times 70,7$ мм) используют масштабные коэффициенты, зависящие от фактического размера образца и условий бетонирования (летние или зимние растворы). При этом масштабный коэффициент варьирует в пределах 0,46...0,8.

Испытание металла

Лабораторные испытания металла можно разделить на следующие основные группы:

– механические испытания:

- Испытания на ударный изгиб. Испытания на ударный изгиб KCV, KCU проводятся при комнатной и пониженной температурах (до минус 70°C). Определяется ударная вязкость и доля вязкой составляющей в %.

- Испытания на растяжение. Проводится с целью определения временного сопротивления и относительного удлинения после разрыва.

- Испытания на изгиб. Во время данного испытания металла определяются характеристики изгиба на 90, до заданного угла, до параллельности сторон.

- Измерение твёрдости металла. Определяется твёрдость по Роквеллу (HR), Бринелю (HB), Виккерсу (HV).

– химические испытания:

- Химико-спектральный анализ сталей. Важное испытание, которое определяет характеристики массовой доли углерода, марганца, кремния, хрома, никеля, меди, мышьяка, фосфора, серы, ванадия, алюминия, титана, ниобия, вольфрама, молибдена, циркония, углеродного эквивалента. Показатель, подтверждающий марку стали.

- Анализ флюсов сварочных плавящихся. Определяет насыпную плотность и влажность.

– радиационные испытания:

- Радиационный контроль металлов и изделий на их основе. Удельная активность гамма-излучающих радионуклидов. Данный вид испытаний подтверждает радиационную безопасность металла по совокупности радионуклидов.

- Радиографический контроль качества сварных соединений. Данный вид испытаний выявляет внутренние дефекты, такие как: непровары, трещины,

поры, металлические и неметаллические включения. А также, включает в себя заключение о качестве сварного соединения в соответствии с НД.



Рисунок 0.24 – Оборудование для проведения испытаний на осевое растяжение металла

Чаще всего при проведении обследования или входного контроля металлических конструкций проводят механические испытания на осевое растяжение по ГОСТ 12004-81 для стали арматурной и ГОСТ 1497-84 для металлов (плоского и круглого проката). В результате лабораторных испытаний определяются следующие основные характеристики:

- полное относительное удлинение при максимальной нагрузке;
- относительное удлинение после разрыва;
- относительное равномерное удлинение после разрыва;
- относительное сужение после разрыва;
- временное сопротивление;

- предела текучести (физический);
- пределов текучести и упругости (условный);
- модуль упругости (начальный).

Общий вид образца до и после проведения испытаний на осевое растяжение представлен на рис. 2.25.

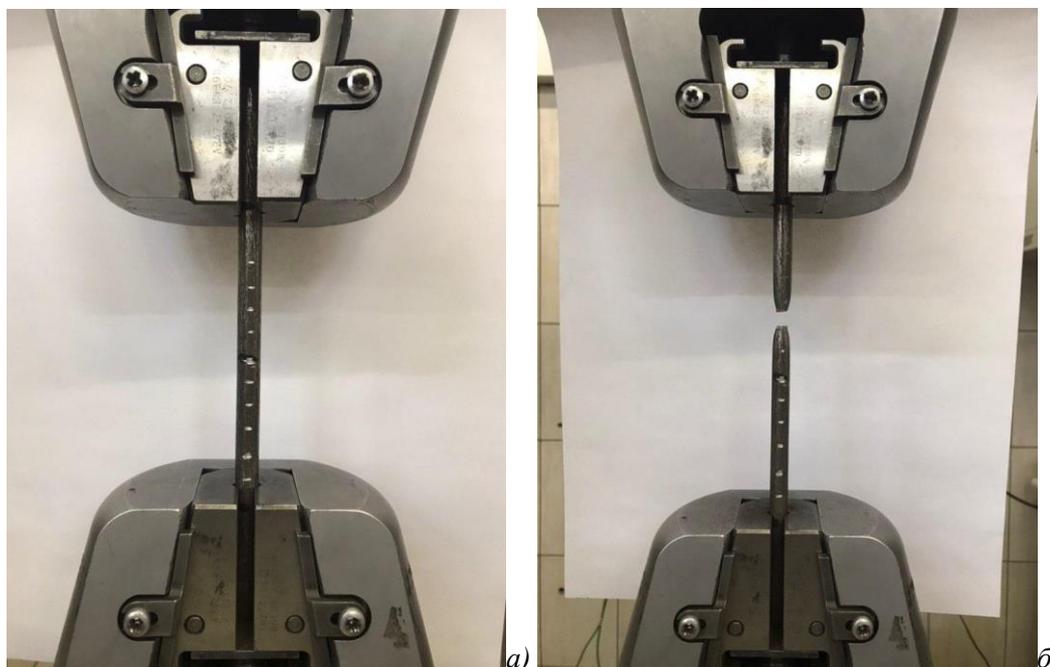


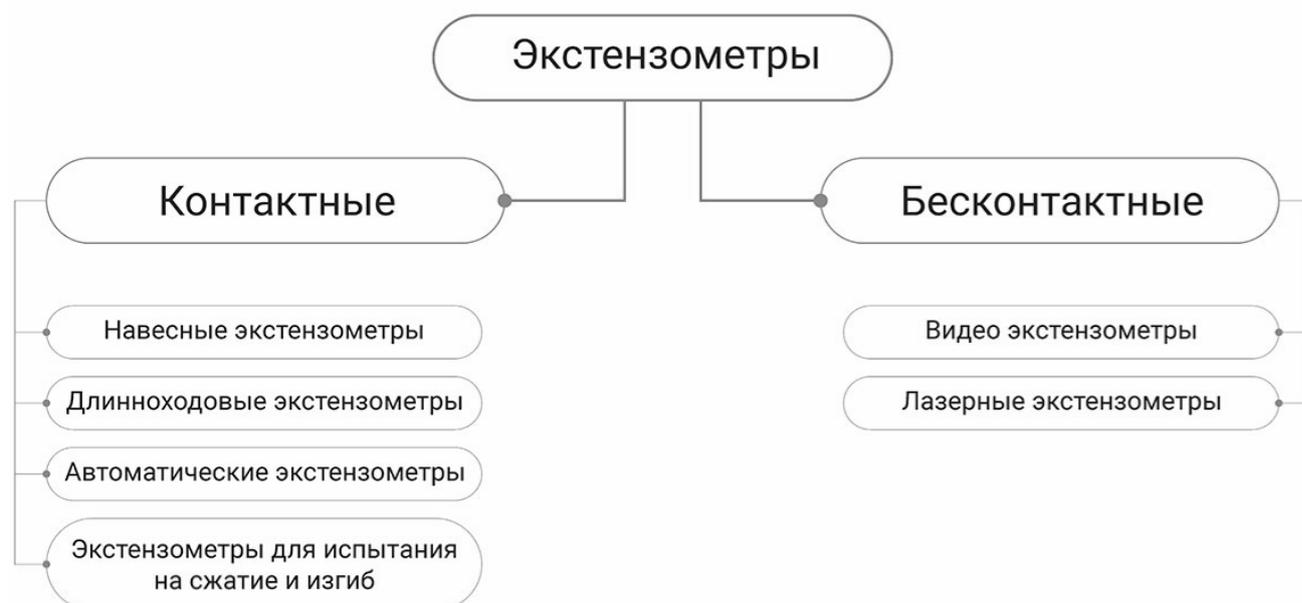
Рисунок 0.25 – Испытание на осевое растяжение металла а) вид образца до испытаний б) образец после испытания

Для построения диаграммы деформирования используют специальные датчики деформаций. В качестве датчика регистрации деформаций в обычно используют контактный экстензометр для статических испытания (рис. 2.26). Данный прибор представляет собой два рабочих плеча, оборудованных тензорезисторами и системой крепления к испытываемому образцу, в виде зажимов. Для предотвращения проскальзывания рабочих элементов по образцу плечи снабжены ножами. При деформировании образца меняется НДС рабочих плеч, которое фиксирует тензорезисторы. Компьютерная программа в автоматическом режиме производит обработку данных и выдает значение деформаций по образцу.



Рисунок 0.26 – Экстензометр Instron серии 2630

Подобные экстензометры обеспечивают высокую скорость крепления к образцу и простоту использования. Легкая, прочная конструкция с поперечной распоркой устраняет ошибки, вызванные физическими искажениями, а встроенная защита гарантирует, что повреждение не вызвано чрезмерным удлинением испытуемого образца. Типы применяемых экстензометров приведены на блок-схеме ниже.



Небольшие рычаги экстензометра уменьшают вероятность проскальзывания ножа при испытании жестких или гладких поверхностей. Экстензометры можно устанавливать на исследуемый образец точно и последовательно, при этом блокировочное устройство длины калибра автоматически освобождается после

присоединения, обеспечивая скорость и надежность работы. Уникальный механизм крепления «конусообразная защелка» также преодолевает проблемы, связанные с необходимостью удалять штифты или зажимы перед началом испытания. Приведенный экстензометр позволяют измерять как положительные, так и отрицательные деформации, позволяя проводить измерения с помощью сжимающих или изгибных измерений.

Также существуют безконтактные оптические экстензометры (рис. 2.27). При этом измерения производят с использованием цифровой видеокамеры и двух контрастных меток, нанесенных на образец. Рабочая программа в процессе испытания определяет центра нанесенных меток и в процессе нагружения с высокой точностью определяет приращение расстояния. Затем происходит определения деформации образца. База измерения автоматически переопределяется перед началом каждого испытания, что снижает вероятность возникновения ошибок. Подобные экстензометры рекомендовано применять для материалов с высоким значением относительной деформации (пластик, резины и т.п.).



Рисунок 0.27 – Общий вид оптического экстензометра Instron AVE 2663-821

Испытания древесины

Основными нормативными документами по определению физико-механических свойств древесины является ГОСТ 16483.0-89, содержащий все основные требования к методикам проведения испытаний. Прочность древесины в значительной степени зависит от направления действия относительно волокон. При направлении действия усилий вдоль волокон оболочки клеток древесины работают в самом благоприятном варианте и получают наибольшую величину прочности. При этом прочность для лиственной древесины без пороков может составлять на сжатие – 40 МПа, на изгиб – 75 МПа, а на осевое растяжение – 100 МПа. При действии усилий поперек волокон происходит расслоение и сплющивание структуры материала, в результате показатели прочности значительно снижаются.



Рисунок 0.28 – Оборудование для проведения испытаний древесины на изгиб

Длительное действие нагрузки также влияет на показатели прочности древесины. Так при неограниченно длительном действии нагрузки прочность, характеризующаяся пределом длительного сопротивления, снижается до 0,5 от проч-

ности при кратковременном нагружении. При воздействии динамической (ударной, взрывной нагрузки) прочность может повыситься до 50%. При циклическом воздействии с переходом через нулевые нагрузки также наблюдается снижение прочности древесины. Установлено, что предел выносливости, при котором материал может выдержать более 2 миллионов циклов нагружения составляет около 0,2.

Следует отметить значительное влияние влажности древесины на физико-механические показатели. При этом влажность (W) характеризует процентное содержание свободной воды в полостях и гигроскопической воды в порах. Влажность может достигать до 200% для сплавной древесины. Для свежесрубленной древесины влажность находится в пределах 100%. В процессе складирования и сушки влажность может снижаться до 10%.

Выделяют следующие основные типы испытаний древесины:

- плотность;
- нормальная влажность;
- усушка (линейная и объемная);
- предел прочности на сжатие вдоль волокон;
- предел прочности на сжатие поперек волокон;
- предел прочности на скалывании поперек волокон;
- предел прочности при статическом изгибе;
- условный предел прочности (предел пропорциональности при сжатии поперек волокон);
- предел прочности при растяжении (вдоль и поперек волокон);
- ударная вязкость;
- твердость.

Основные формы образцов для проведения механических лабораторных испытаний представлены на рис.2.29.

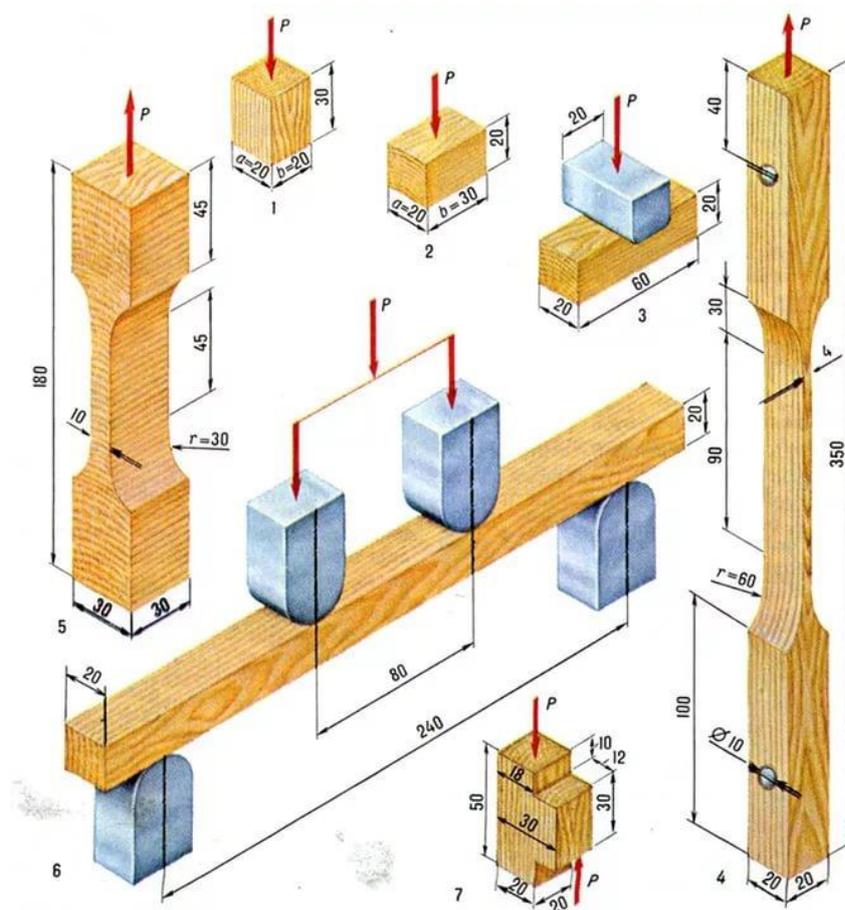


Рисунок 0.29 – Образцы из древесины для проведения испытаний (1-сжатие вдоль волокон, 2-сжатие поперек волокон, 3-смятие, 4-осевое растяжение вдоль волокон, 5-осевое растяжение поперек волокон, 6-статический изгиб, 7-скалывание)

Отбор образцов древесины производят из ненагруженных или слабонагруженных частей деревянных конструкций. При этом высверливают керны или выпиливают бруски длиной 150-350 мм. Сразу после взятия вырезанные заготовки древесины должны быть залиты слоем парафина или помещены в герметически закрытые сосуды или пакеты, исключающие возможность их высыхания (для определения фактической плотности и влажности). Места вырезки образцов должны быть надежно заделаны вставками на клею и накладками и, при необходимости, антисептированы.

3. Ультразвуковой импульсный метод контроля железобетонных конструкций

Ультразвуковые акустические методы основаны на изучении характера распространения звука в конструкционных материалах. Звук - колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волны в газообразной, жидкой или твердой среде. Упругие волны принято делить на инфразвуковые, частотой до 20 Гц, звуковые, частота которых лежит в пределах от 20 Гц до 20 кГц, ультразвуковые частотой от 20 кГц до 1000 МГц и гиперзвуковые, частота которых превышает 1000 МГц. При испытании бетонов и керамик используют ультразвуковые колебания частотой от 20 кГц до 200 кГц, а при испытании металлов и пластмасс частотой от 30 кГц до 10 МГц.

Существует ряд методов использования ультразвука в практике. Наибольшее распространение получил ультразвуковой импульсный метод, резонансный метод, импедансный метод и метод акустической эмиссии. Акустические методы строятся на известных из физики зависимостях, определяющих характер распространения волн в сплошных средах. Картина распространения волн является достаточно сложной, так как при воздействии на среду быстропротекающих процессов возбуждаются волны различного типа.

В общем случае зависимость между скоростью распространения упругих волн и физическими константами среды может быть выражена формулой:

$$v = \sqrt{\frac{KE}{\rho}} \quad (3.1)$$

где E – модуль упругости материала, МПа;

ρ – плотность материала, кг/м³;

K – коэффициент формы образца.

При этом коэффициент $K = 1$ при определении скорости распространения продольных упругих волн в тонких стержнях, площадь поперечного сечения (A) меньше длины волны (λ) в квадрате:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (3.2)$$

где f – частота ультразвукового сигнала, Гц;

При использовании ультразвука в металлах длина волны изменяется в пределах от 0,4 до 233 мм, а в железобетоне от 10 до 275 мм. Длина волны является одним из параметров, определяющих разрешающую способность метода измерений. Следует подчеркнуть, что приведенные выше рассуждения носили в определенной степени упрощенный характер, так как не учитывались неоднородность конструктивных материалов и наличие сил сопротивления, приводящих к затуханию процесса распространения волн.

Определяя скорость распространения продольных волн в тонкой пластине при ее толщине меньшей длины волны следует принять по формуле 3.3, а в неограниченной среде по формуле 3.4.

$$K = \frac{1}{(1 - \mu^2)} \quad (3.3)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

$$K = \frac{1 - \mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \quad (3.4)$$

Ультразвуковым импульсным методом решаются задачи дефектоскопии строительных конструкций и определяются физико-механические константы материалов: прочности, упругие характеристики, пористость.

Излучатели и приемники – ультразвуковые преобразователи – могут быть пьезоэлектрическими и магнитострикционными. Пьезоэлектрический преобразователь состоит из металлического корпуса, внутри которого располагается материал, обладающий пьезоэлектрическим эффектом. К числу таких материалов относятся кристаллы кварца, турмалина, титаната бария и др. В последнее время наибольшее применение находит сегнетова соль. Кристалл, преобразующий электрическую энергию в механическую, и, наоборот, приклеивается или при-

жимается к прокладке с помощью пружины, предназначенной для демпфирования свободных колебаний.

Явление пьезоэффекта заключается в возбуждении механических колебаний специальными кристаллами (пьезоэлектриками) на грани которых подводится высокочастотное электрическое напряжение (прямой пьезоэффект применяемый в возбуждателях колебаний). В приёмниках колебаний реализуется обратное явление: при воздействии механических волн на кристаллы - пьезоэлектрики на их гранях возникают электрические сигналы с той же частотой (обратный пьезоэффект).

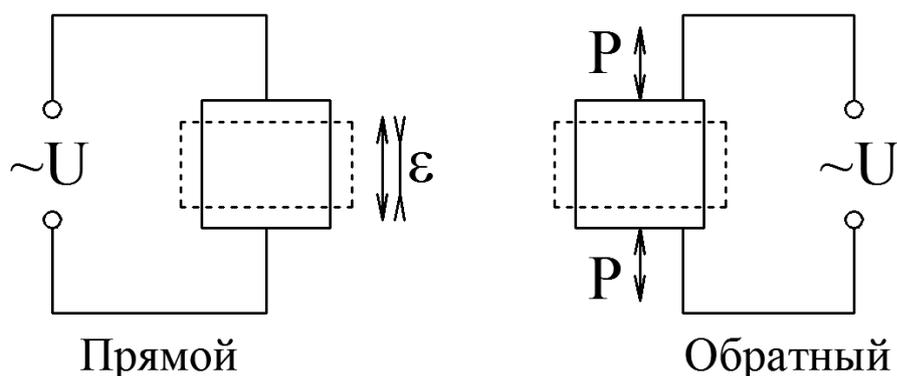


Рисунок 3.1 – Принцип работы пьезоэлементов

Прямой пьезоэффект реализуется в возбуждателях колебаний, обратный пьезоэффект в приемниках (рис. 3.1). Конструктивно приемник и возбуждатель колебаний выполнены идентично и являются взаимозаменяемыми. Обычно приборы для ультразвукового контроля элементов строительных конструкций комплектуются набором возбуждателей-приемников (преобразователей УЗК) с разным диапазоном частот. Выбор частоты преобразователей зависит от толщины контролируемых конструкций и размеров определяемых дефектов. Для сборных железобетонных конструкций (ригели, плиты, колонны) имеющих толщины (базы прозвучивания) 20-60см обычно применяются преобразователи с частотами 40-100кГц.

На рисунке 3.2 представлен магнитострикционный преобразователь. Магнитостриктор 2 собирается из тонких изолированных друг от друга пластинок из

никеля или другого материала, обладающего под действием магнитного поля возможностью сжиматься и растягиваться. Пакет пластинок помещается в катушку, по которой пропускается переменный электрический ток, если преобразователь используется как излучатель, или возникает переменный электрический ток, если преобразователь работает как приемник. В торце расположена металлическая мембрана 3, которая жестко прикреплена к корпусу 1.

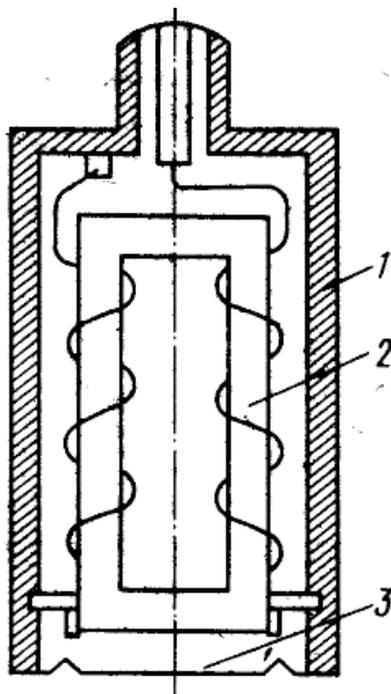


Рисунок 3.2 – Магнитострикционный преобразователь

Рассмотренные преобразователи возбуждают продольные волны. Для получения поперечных волн используется явление трансформации продольной волны на границе раздела двух сред. На рис. 3.3 представлена схема прохождения ультразвука через границу двух сред. На границу раздела под углом α падает продольная волна 1. На границе она трансформируется в проходящие и отраженные 2 продольные и поперечные волны, причем угол преломления β продольной волны 3 больше угла преломления поперечной волны 4. Увеличивая угол α , можно достичь такого положения, что проходящая продольная волна будет распространяться только по поверхности и во второй среде будут распространяться лишь поперечные волны. Дальнейшее увеличение угла α позволяет прийти к та-

кому положению, когда во второй среде будет распространяться поперечная волна лишь по границе раздела.

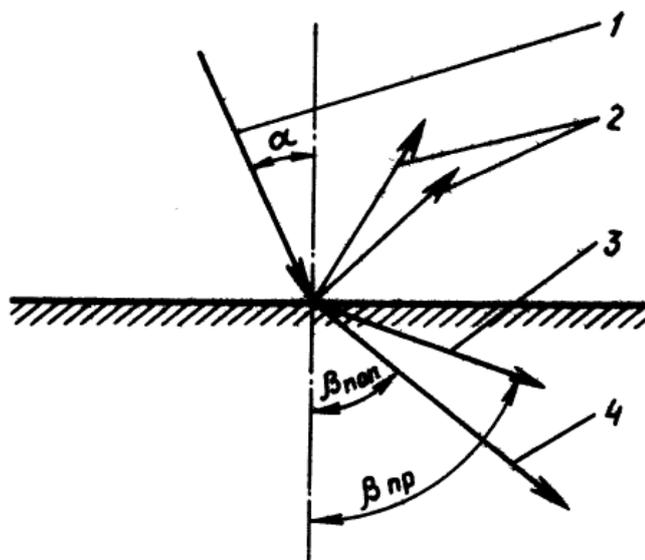


Рисунок 3.3 – Схема прохождения волн через границу сред

Практически описанная трансформация волн достигается применением призматического преобразователя (рис.3.4, который состоит из преломляющей призмы 3 и излучателя 1. На рисунке показаны луч падающей продольной волны 2, луч проходящей поперечной волны 5 и луч отраженной волны 4.

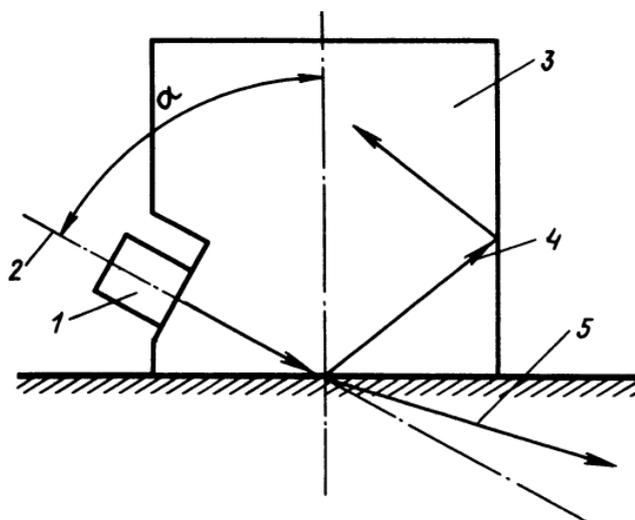


Рисунок 3.4 – Схема призматического преобразователя

Обычно ультразвуковые приборы выполняются в виде единого блока в котором расположен генератор УЗ импульсов, усилители возбуждения и приема колебаний и электронный измеритель времени (рис.3.5). Некоторые приборы

позволяют подключать к ним монитор для контроля картины реверберации колебаний в исследуемом элементе. Это позволяет опытным операторам определять характер дефектов конструкции (трещина, пустота, включение инородного материала и т.д.) и корректировать процесс дальнейших измерений. То есть могут быть выбраны дополнительные трассы прозвучивания в продольном, поперечном или наклонном направлениях исследуемого элемента.

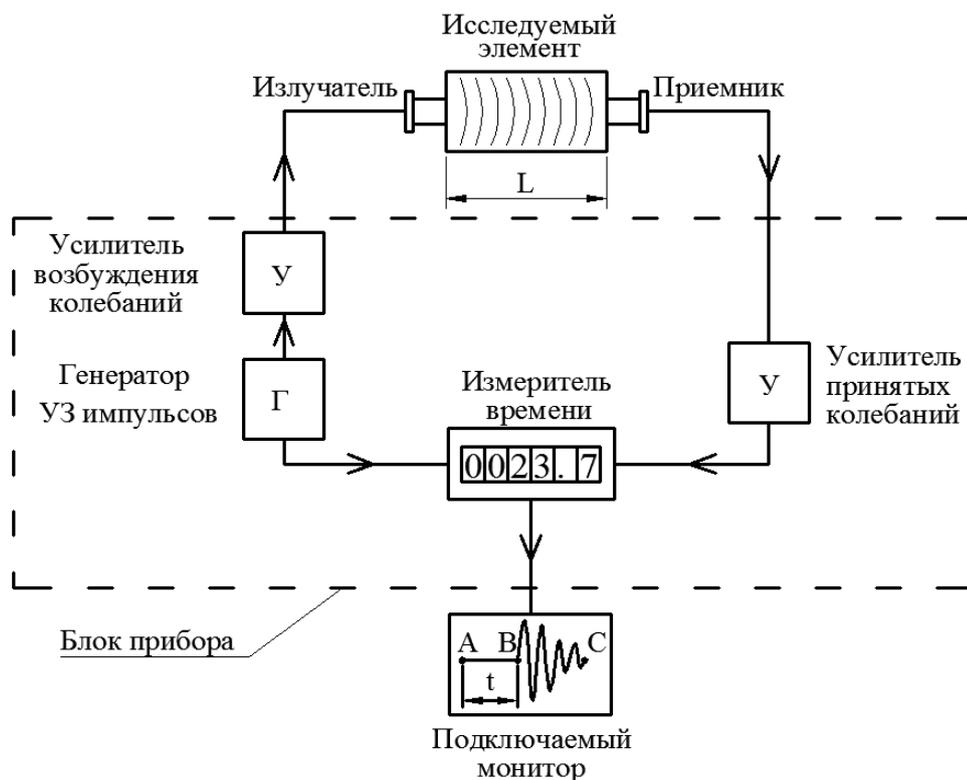


Рисунок 3.5 – Принципиальная блок-схема контроля элемента конструкции ультразвуковым импульсным методом (УИМ)

На мониторе: точка А – момент начала отсчета времени распространения УЗК в конструкции, точка В – момент поступления УЗК в приемник колебаний, t – время распространения УЗК ($1 \cdot 10^{-6}$ с) в элементе конструкции, участок ВС – картина реверберации УЗК. Измеритель времени в микросекундах показывает время распространения УЗК в контролируемом элементе. При достаточно длинных проводах от прибора до преобразователей необходимо контролировать «собственное» время прибора, то есть время в микросекундах при непосредственном соединении приемника и излучателя колебаний, которое может со-

ставлять несколько микросекунд. Этот промежуток времени необходимо вычитать из полученных результатов измерений. В данном примере полное регистрируемое время показано 23,7 мкс, а «собственное» время прибора при принятой длине проводов составляет 1,7 мкс. Тогда время распространения УЗК в исследуемом элементе составляет 22 мкс. На данной схеме показан пример контроля конструкции с использованием преобразователей (излучателя и приемника) продольных колебаний, но в ряде случаев требуется применение преобразователей, возбуждающих поперечные колебания (сдвиговые).

Наиболее распространенные марки ультразвуковых приборов представлены на рис.3.6.



Рисунок 3.6 – Используемые приборы а)Пульсар 2.2 б) Ультразвуковой прибор TICO д) Ультразвуковой дефектоскоп A1550 IntroVisor в)Ультразвуковой дефектоскоп для контроля точечной контактной сварки

На рис.3.7 показаны преобразователи (излучатель и приемник) с плоскими рабочими поверхностями, которые непосредственно контактируют с исследуемым элементом. Для исключения погрешностей измерений, вызванных неровностями поверхностей исследуемых элементов в зону контакта вводится специальная инертная смазка (технический вазелин, солидол и т.д.). Смазка заполняет воздушное пространство между поверхностями исследуемого материала и преобразователя, повышая точность измерений.



Рисунок 3.7 – Типы преобразователей: а - с плоскими, б - плоский сухой контакт, в - с коническими

Ряд приборов комплектуется преобразователями с коническими наконечниками, которые позволяют отказаться от применения контактной смазки и способствует повышению точности измерений.

В последние годы ультразвуковые приборы снабжаются одновременно большим количеством преобразователей (излучателей и приемников) и имеют плоский сухой контакт, что позволяет регистрировать не только время прохождения ультразвука, а фиксировать пространственную картину распространения колебаний.

Выбор типа применяемого прибора зависит от поставленных задач диагностики конкретных конструкций, от особенностей конструкционного материала, от условий проведения натурных и лабораторных испытаний и др.

3.1 Определение прочности и однородности бетона

Применение ультразвукового импульсного метода с целью определения прочности бетона регламентирует ГОСТ 17624-2012, при этом с учетом требований ГОСТ 18105-2010 определяют однородность бетона.

Физическая основа метода состоит в наличии зависимости между скоростью прохождения ультразвуковых колебаний и плотностью (прочностью) конструктивных материалов.

Чем выше плотность материала, тем выше скорость прохождения ультразвука на заданной базе контроля. В сборных и монолитных конструкциях современных зданий базы прозвучивания в основном находятся в пределах от 10...20 см до 150...200 см. Процессу ультразвуковых измерений предшествует визуальный осмотр конструкции и определение базы прозвучивания (выбор точек контроля). При этом выбираются преобразователи с необходимой частотой прозвучивания и соответствующего конструктивного исполнения.

При определении прочности бетона необходимо иметь градуировочную зависимость «скорость УЗК – прочность бетона», которая зависит от вида бетона, его возраста и ряда других факторов (рис.3.8).

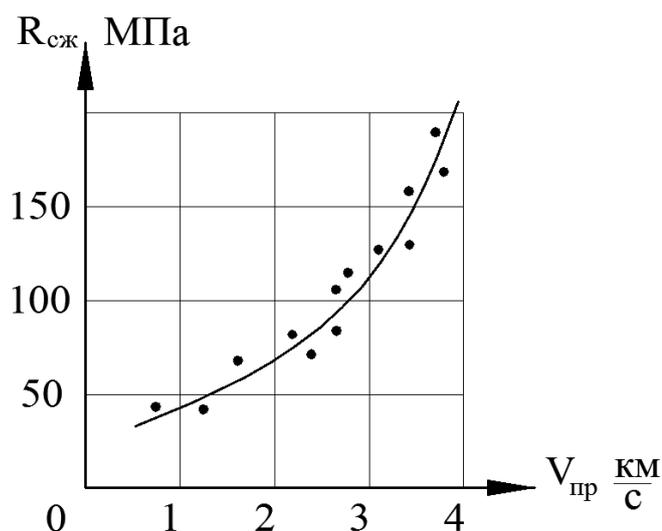


Рисунок 3.8 – Зависимость прочности бетона от скорости прохождения ультразвука

Для построения указанной градуировочной кривой из бетона, предназначенного для укладки в сооружение изготавливают не менее 30 образцов кубиков

размеров 15x15x15 см. Их разбивают на серии от 3 до 5 штук, которые отличаются между собой только степенью уплотнения бетона.

На каждом из кубиков измеряют время распространения ультразвукового импульса через образец в двух взаимно перпендикулярных направлениях, минимум в пяти точках которые удалены от средней точки на расстоянии 3-5 см. Для каждого кубика определяют с точностью $\pm 1\%$ базу прозвучивания и вычисляют скорость ультразвука с использованием данных о времени прохождения ультразвукового импульса через образец. Если измеренное на кубике время отличается от среднего больше чем на 5%, то этот кубик выбраковывается. Направление прозвучивания не должно совпадать с направлением укладки бетона. Пробный кубик испытывают в лаборатории до разрушения в соответствии с ГОСТ 10180-2012 и определяют для каждого кубика прочность на сжатие. Значения пар $V_{пр}$ и $R_{сж}$ наносят в виде точек на систему координат $V_{пр} - R_{сж}$ и в корреляционном поле проводят калибровочную кривую. Для качественной оценки результатов ультразвуковых измерений используют также кривые ограничивающие корреляционное поле.

Указанная методика применяется для контроля нарастания прочности бетона укладываемого в конструкцию в возрасте 7, 14, 21 или 28 суток. Если контроль прочности производится с опозданием но известны состав и технологии изготовления применяемого бетона, то испытания проводят следующим образом:

1. Отбирают минимум 6 из имеющихся пробных кубиков, либо, если кубики не сохранились, изготавливают по имеющейся программе 9 кубиков соответствующего состава, режима уплотнения и условий твердения.

2. Для пробных кубиков определяют скорости УЗК и прочность на сжатие путём разрушения на прессе.

3. По полученным результатам измерений вычисляют среднее значение скорости $\overline{V_{пр}}$, и среднее значение прочности $\overline{R_{сж}}$ для всех имеющихся кубиков.

Контроль прочности бетона в критических зонах давно эксплуатируемых зданий, для которых состав и технология изготовления бетона неизвестны, осуществляется по следующей программе:

1. Из контролируемой зоны в тех местах, которые по внешнему виду не отличаются от бетона всего сооружения, выбуривают не менее 5 бетонных цилиндров диаметром 100 мм или 25 бетонных цилиндров диаметром 50 мм. Выбуренные керны аккуратно обрезают так, чтобы высоты образцов получились примерно одинаковыми, при этом торцевые поверхности должны быть параллельными.

2. Для каждого выбуренного керна определяют скорость ультразвукового импульса и прочность на сжатие.

3. Все последующие операции аналогичны тем, которые осуществляются при контроле бетона, когда известны его состав и технология изготовления.

4. Так как изъятые из сооружения керны в большинстве случаев имеют диаметры, отличные от размеров стандартного кубика 150x150x150мм, то необходимо показания прочности скорректировать в соответствии с размерами образцов.

4. Ударный метод контроля массивных и протяженных конструкций

4.1 Низкочастотный звуковой (ударный) метод контроля массивных и протяженных конструкций

Низкочастотный метод основан на изменении скорости распространения единичных импульсов, возбуждаемых ударом легкого молотка или специального приспособления для нанесения небольших ударов заданной силы. Единичный импульс (единичная импульсная функция) - позволяет записать пространственную плотность физической величины (масса, заряд, интенсивность источника тепла, сила и т.п.), сосредоточенной или приложенной в одной точке. Для приема и регистрации сигналов может быть использована та же аппаратура, что и при импульсном методе.

Обычно данный метод используется для контроля асфальтового и цементного бетонов в дорожных и аэродромных покрытиях, а также для испытания длинномерных (до 30 м) бетонных и железобетонных элементов.

В связи с тем, что ультразвуковые колебания достаточно быстро поглощаются материалом конструкции и применяются на базах измерений не превышающих двух метров. Для общего контроля таких конструкций необходимо применение низкочастотных колебаний (звукового диапазона), которые распространяются в элементах конструкций на значительные расстояния (метры, десятки метров). Для контроля локальных участков в таких конструкциях может применяться ультразвуковой импульсный метод. Возможно совместное применение указанных методов для определения упругих и прочностных характеристик бетона каждым из этих методов, что повышает качество и достоверность получаемых результатов.

Также данная методика предназначена для определения наличия отслоившегося бетона, раковин, пустот и каналов путем отслеживания реакции поверхности на кратковременное ударное воздействие, которое оказывается на поверхность подлежащего испытанию бетонных элемента.

В низкочастотном звуковом (ударном) методе возбуждение колебаний про-

изводится механическим ударом по конструкции (удар кувалдой, падающий груз и т.д.) в соответствии с ее размерами. Время распространения волны регистрируется с помощью установленных на поверхности конструкции приемников колебаний и специального электронного измерителя времени.

Порядок измеряемых величин времени находится в диапазоне «миллисекунды – секунды» в зависимости от протяженности трассы контроля.

На поверхности конструкции намечают трассы контроля, разбивают их на равные участки. В намеченных точках устанавливают приемники колебаний с помощью которых регистрируется фронт распространения звуковой (ударной) волны. Выбранные расстояния a (локальные приращения базы контроля (рис.4.1) могут составлять от нескольких десятков сантиметров до нескольких десяткой метров.

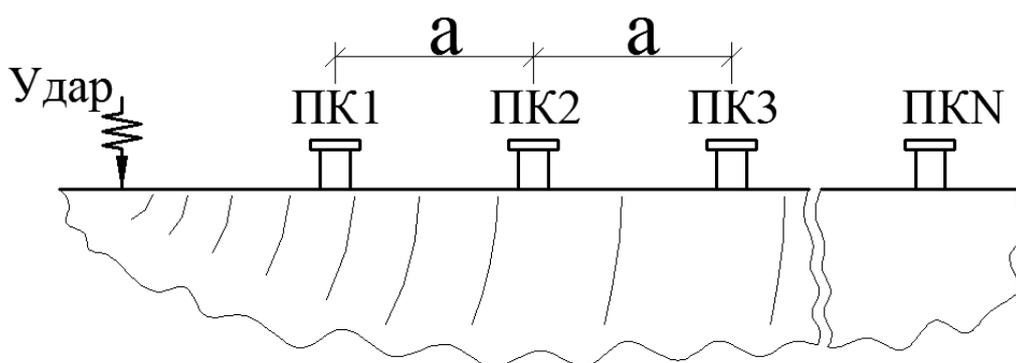


Рисунок 4.1 – Принципиальная схема звукового метода (ПК1, ПК2, ПК3 – приемники колебаний)

По вычисленной скорости распространения низкочастотных звуковых колебаний определяются, аналогично импульсному методу, прочность ($R_{сж}$), упругие характеристики ($E_{дин}$, $G_{дин}$, $\mu_{дин}$) и дефекты конструкций.

Также для регистрации импульсных воздействий используются акселерометр (датчик вибраций) или сейсмоприемник (рис. 4.2).

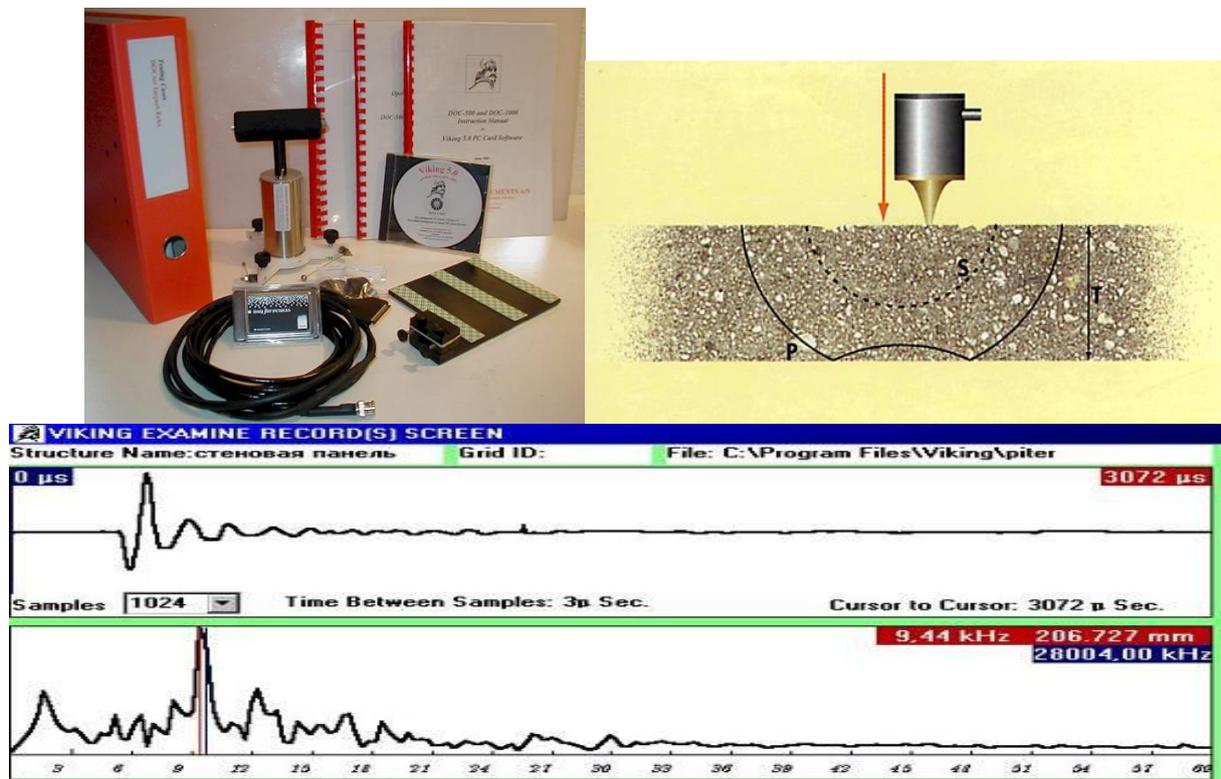


Рисунок 4.2 – Прибор ударно-акустический DOC-500 (слева). Схема распространения упругих колебаний в массиве при ударном воздействии, вид принятого сигнала и его спектр (справа)

Глубина залегания дефекта может определяться с помощью метода георадиолокационного профилирования по результатам анализа записей картограмм (рис.4.3).

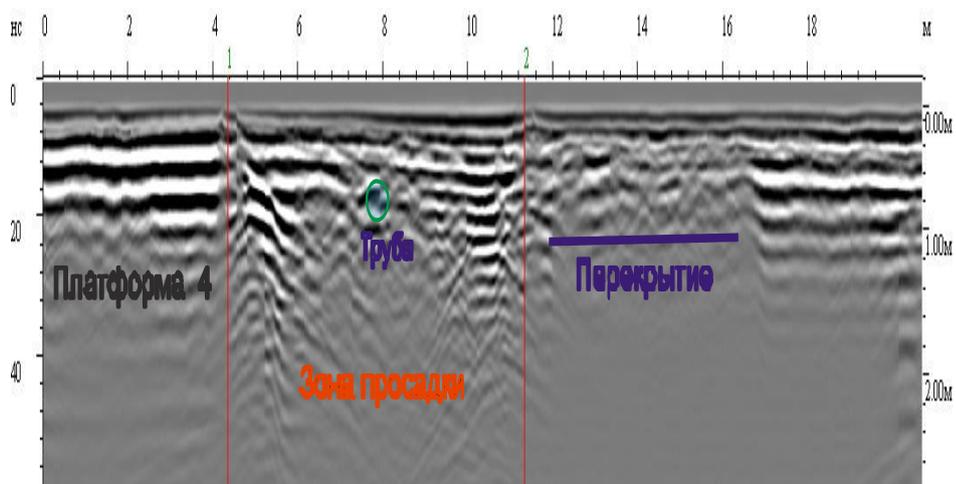


Рисунок 4.3 – Пример записи картограммы

4.2 Метод акустической эмиссии

Акустическая эмиссия — это процесс выхода (испускания, возникновения) звука из твердых или жидких тел под влиянием внешних воздействий (механические, температурные, световые и др.). Метод основан на регистрации акустических волн в твердых телах при пластическом деформировании и при возникновении трещин. Регистрируя скорость движения волн эмиссии, можно обнаружить опасные дефекты и прогнозировать работоспособность элементов конструкции: зон концентрации напряжений в металлических конструкциях, эволюцию развития трещин в ЖБК, появление расслоев в клееных деревянных конструкциях.

Сущность метода: на поверхности изучаемого объекта устанавливается ряд приемников, регистрирующих моменты прихода импульсов и их значения в процессе нагружения конструкции и ее эксплуатации. Интенсивная фиксация импульсов предопределяет процессы, связанные с развитием микро- и макротрещин в конструкции.

Акустико-эмиссионная диагностика определяет техническое состояние объектов обследования на основе принципа излучения и регистрации волн напряжений в материале, который подвергается нагрузке силой, давлением, температурой и т.д. Выбор вида нагрузки определяется условиями работы обследуемого объекта, его конструкцией, характером испытаний.

Акустическая эмиссия – это мощное техническое средство неразрушающего тестирования и оценки материалов. Оно основано на обнаружении упругих волн при заданных деформациях напряженного материала. Эти волны распространяются от источника к датчику или к датчикам, где они преобразуются в электрический сигнал.

Приборы акустико-эмиссионной диагностики измеряют эти сигналы и отображают данные, на основе которых оператор оценивает состояние и структуру материала под напряжением.

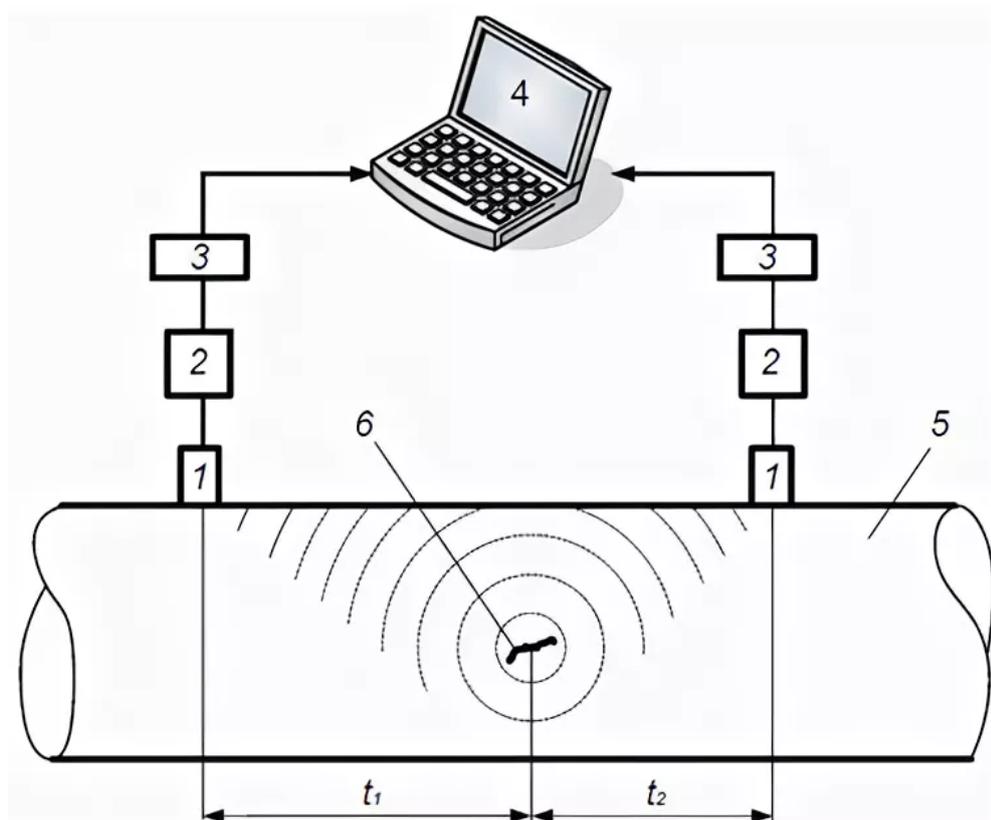


Рисунок 0.5 – Схема определения дефекта методом акустической эмиссии

1 – преобразователь/приемник;

2,3,4 – центр регистрации и обработки сигналов

5- объект контроля

6 – дефект

С точки зрения акустико-эмиссионной диагностики растущий дефект в объекте контроля производит свой собственный сигнал, который проходит на определенном расстоянии до датчиков. Дефект может быть обнаружен не только дистанционно, но и есть возможность определить его местоположение, путем обработки разницы прихода t_1 и t_2 к различным датчикам.

Достоинства метода:

- регистрация образования трещин длиной в доли микрона и мгновенно находить место образования дефекта;
- оценка кинетики трещинообразования при различных видах разрушающего воздействия;

- определение механических характеристик материала;
- прогноз момента разрушения;
- обеспечивает контроль всего объекта с использованием одного или нескольких преобразователей, неподвижно установленных на поверхности объекта за один раз.

Также метод акустической эмиссии имеет меньшее ограничение, связанное со свойствами и структурой конструкционных материалов, чем другие методы неразрушающего контроля.

Недостатки метода:

- высокая чувствительность метода к посторонним шумам;
- зависимость результата от формы или конструкции объекта контроля, ориентации трещины.

Нормативное обеспечение данного метода описывается в ГОСТ Р 52727-2007 «Акустико-эмиссионная диагностика». В данном документе представлены основные нормативные определения данного метода.

5. Методы дефектоскопии строительных конструкций

5.1 Методы ультразвуковой дефектоскопии железобетонных и металлических конструкций

В зависимости от размеров элементов контролируемых конструкций и применяемых частот ультразвуковых колебаний определяются размеры выявляемых дефектов. Для контроля элементов конструкций небольших толщин порядка 10-20 см могут быть применены высокочастотные колебания из рабочего диапазона измерительных приборов (20-200 кГц) близкие к верхней границе, то есть 180-200 кГц, при этом минимальный размер определяемого дефекта будет составлять порядка 2 см. При увеличении толщины контролируемых элементов применяются более низкие частоты, и соответственно минимальный размер определяемого дефекта будет увеличиваться. Так, например, для контроля колонн сечением 60×60 см должна быть выбрана частота 40-60 кГц и минимальный размер контролируемого дефекта будет соответственно увеличиваться до величины 10-6,6 см.

Для контроля массивных железобетонных и каменных конструкций, размером более 2 м, рекомендуется использовать низкочастотный ударный (звуковой) метод испытаний.

Специфика ультразвуковой дефектоскопии бетона и ее отличие от дефектоскопии металла проявляется прежде всего в методике, а также в существенном различии применяемых ультразвуковых частот.

Наиболее широко применяются два метода ультразвуковой дефектоскопии бетона: сквозное прозвучивание и продольное профилирование (метод годографа). Для обнаружения дефектов в каждом из этих методов используется изменение значения скорости продольных волн при прохождении их через дефектный участок.

Метод сквозного прозвучивания бетона

Контролируемые железобетонные конструкции, как правило, имеют армирование как в продольном, так и в поперечном направлении, однако это обстоятельство не мешает применять ультразвуковую дефектоскопию бетона при сквозном прозвучивании.

Влияние арматуры не выходит за рамки чувствительности аппаратуры за исключением случая, когда трасса прозвучивания будет проходить вдоль арматурного стержня.

Методика контроля элементов конструкций заключается в следующем:

– на двух противоположных плоскостях с которых производится прозвучивание наносятся прямоугольные координатные сетки (симметрично друг другу), размер ячеек сетки может составлять 10, 20 или 50 см в зависимости от размеров конструкций.

– последовательно прозвучивая конструкцию парой «излучатель – приемник» установленной в каждом створе узлов получают поле скоростей ультразвука или поле времён его распространения. Поле времён следует использовать лишь тогда, когда толщины в узлах контроля отличаются не более чем на 0,5%.

– на чертеже координатной сетки в узлах проставляются значения измеренных скоростей или (при постоянной толщине конструкции) времён распространения ультразвука.

– на этом же чертеже проводятся линии равных скоростей – изоспиды, или линии равных времен – изохроны.

На рис.5.1 в качестве примера показаны линии равных скоростей, полученные при прозвучивании бетонного блока имеющего разную плотность бетона.

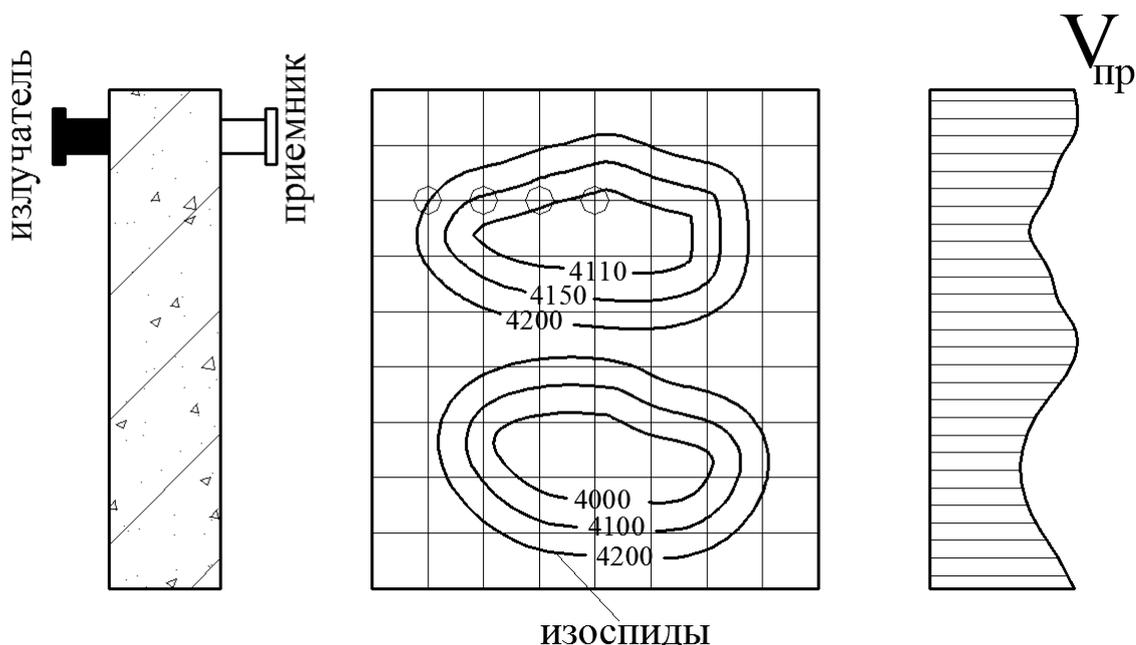


Рисунок 5.1 – Схема сквозного прозвучивания и построение линий равных скоростей, м/с

Рассматривая изоспиды, можно выделить зону пониженных скоростей, т.е. участок конструкции, на котором имеется дефектный бетон.

Ультразвуковой метод при сквозном прозвучивании позволяет выделить зоны непровибрированного бетона, крупные инородные включения, пустоты и пористость типа той, что искусственно создается в крупнопористом бетоне.

Метод продольного профилирования (метод Годографа)

Метод получил меньшее распространение, чем метод сквозного прозвучивания. Это объясняется тем, что в большинстве случаев доступны противоположные поверхности конструкции, что позволяет применять метод сквозного прозвучивания. Конструкции в которых требуется выполнять контроль с одной стороны встречаются в более ограниченном количестве и основными из них являются плиты фундаментов на грунте, дорожные и аэродромные покрытия, подпорные стенки, дамбы и плотины. Эти конструкции имеют значительные размеры по сравнению со сборными или монолитными несущими конструкциями зданий и ультразвуковой метод для них может применяться только в локальных (ограниченных) зонах или участках. Для общего контроля таких конструкций применяется низкочастотный звуковой (ударный) метод.

Сущность метода продольного профилирования состоит в том, что контроль конструкций ведется по заранее намеченным трассам, которые могут быть нанесены как в продольном, так и в поперечном направлении конструкции. Каждая трасса разбивается на участки равной длины, размеры этих участков, а также расстояния между трассами зависят от размеров контролируемой конструкции и могут быть в пределах от 5-10 см до 50-100 см. В начальной точке трассы устанавливаются один из преобразователей, а другой преобразователь последовательно перемещается по точкам трассы (рис.5.2). В каждой точке установки преобразователя фиксируется время распространения ультразвуковых колебаний.

При равномерном удалении преобразователя от начальной точки прозвучивания и в случае однородности контролируемого бетона прибор будет показывать линейное приращение времени.

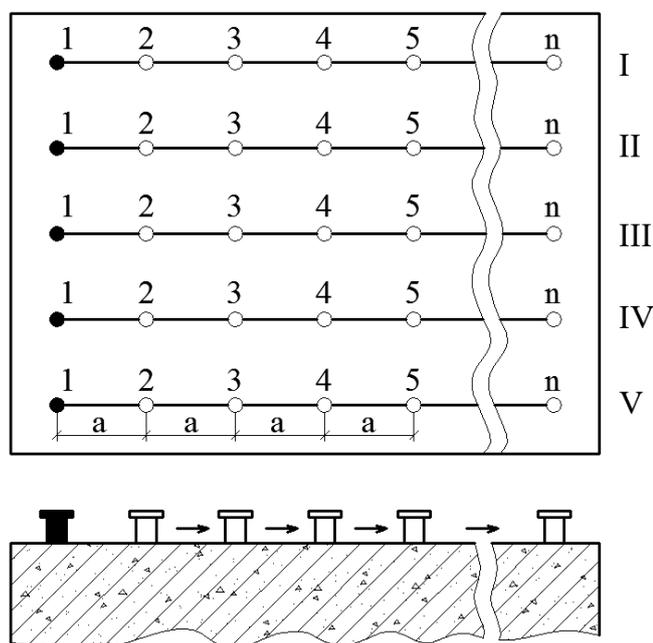


Рисунок 5.2 – Схема контроля методом продольного профилирования; a – шаг прозвучивания; I, II, III, IV, V – трассы прозвучивания; 1 – месторасположение неподвижного преобразователя; 2,3,4,5...n – места установки перемещаемого преобразователя

На рис.5.3 представлен график продольного профилирования. Из рисунка видно, что график, построенный в координатах t (время распространения ультразвуковых колебаний) и X (расстояние между излучателем и приемником), называемый годографом скорости, на участках конструкции, где бетон не имеет

крупных одиночных дефектов или дефектных зон, может быть представлен прямой линией.

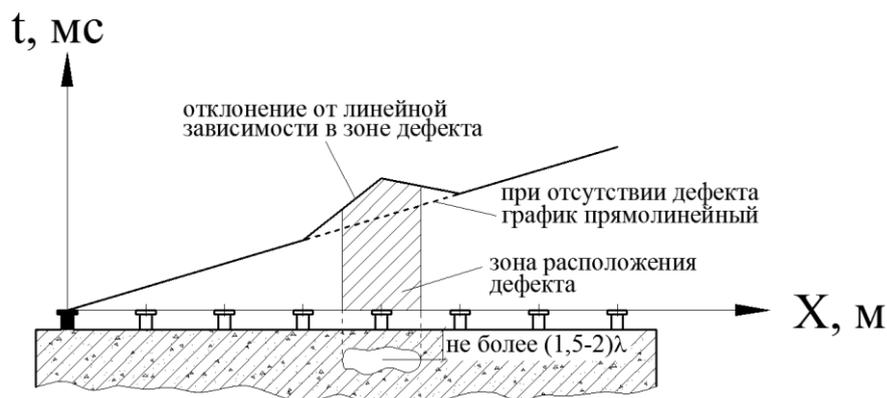


Рисунок 5.3 – График (годограф) по результатам продольного профилирования

Отклонение графика от прямой линии свидетельствует о наличии дефекта, причем, место дефекта или неоднородности определяется как проекция отклонения на ось профиля.

Следует отметить, что глубина обнаружения дефекта или неоднородности зависит от выбранной ультразвуковой частоты контроля и связанной с ней длиной волны λ .

Дефекты, расположенные на глубине более чем $(1,5 - 2)\lambda$ могут остаться не выявленными ультразвуковым импульсным методом, и для их определения следует применять звуковой (ударный) метод.

Для детализации размеров дефекта в плане и по глубине в зоне его обнаружения намечаются дополнительные трассы прозвучивания в различных направлениях с уменьшением шага контроля.

Метод продольного профилирования применяется также в случаях, когда необходимо установить участки на которых бетон поражен коррозией, например, при длительном соприкосновении с переменным уровнем морской воды или в конструкциях зданий химических производств, а также при переменном замораживании-оттаивании или после воздействия высоких температур (например, при пожарах).

Применение томографа для дефектоскопии бетона (на примере MIRA A1040)

Работа томографа основана на использовании зависимости параметров прохождения ультразвуковых колебаний (волн) в материалах и конструкциях от их физико-механических свойств.

Особенностью ультразвукового томографического исследования является визуализация внутренней структуры объекта контроля. Результаты томографического исследования можно представить в виде трехмерного изображения внутреннего строения объекта контроля, или в виде томограмм любого сечения объекта.

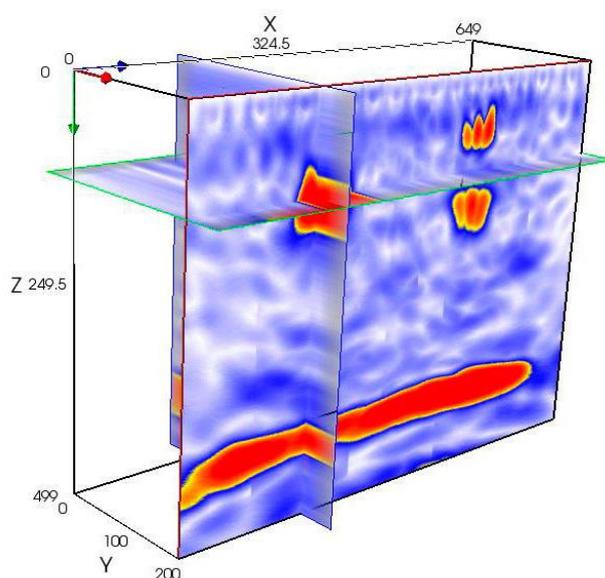


Рисунок 5.4 – Пример 3-D визуализации и обработки изображения, полученного с томографа A1040 MIRA

Рассматриваемый в данном разделе томограф A1040 MIRA предназначен для контроля конструкций из бетона, железобетона и камня при одностороннем доступе к ним с целью определения целостности материала в конструкции, поиска неоднородностей, а также измерения толщины объекта контроля.

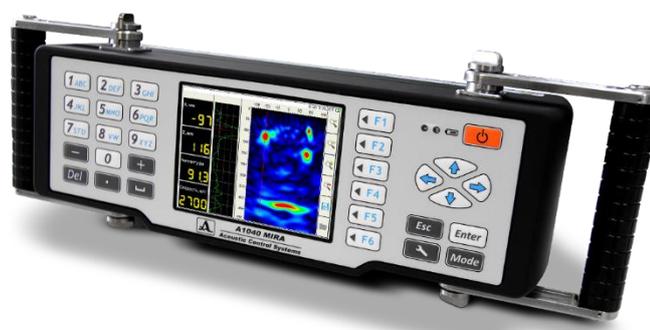


Рисунок 5.5 – Общий вид ультразвукового томографа A1040 MIRA

Основные области применения прибора:

- определение толщины стен и перекрытий, фундаментных плит и других конструкций;
- поиск в конструкциях пустот, каналов, силовой арматуры, определение их размеров и мест расположения;
- обследование состояния недоступных поверхностей стен, приблизительная оценка прилегающей среды (воздух, грунт, вода).

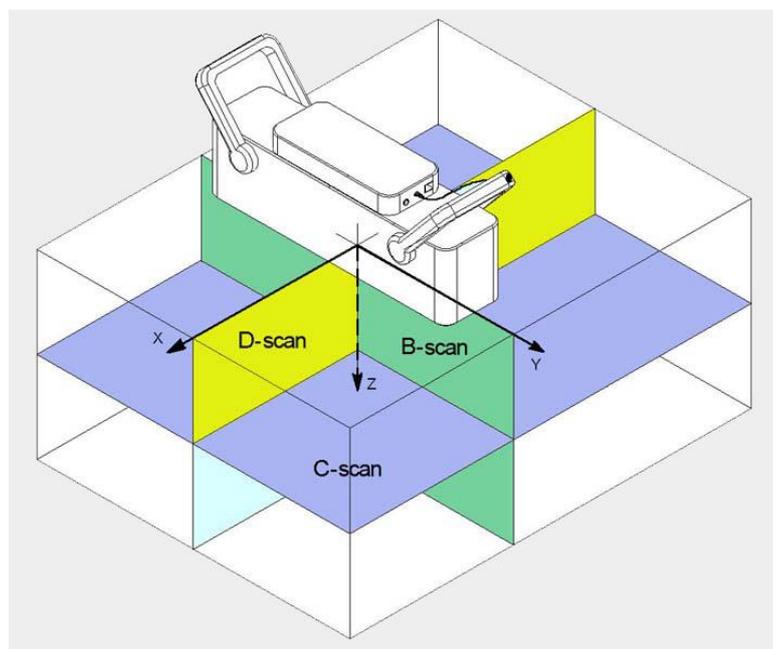


Рисунок 5.6 – Схема сканирования ультразвуковым томографом A1040 MIRA

Чувствительным элементом томографа является матричная антенная решетка из 48 датчиков (12 блоков по 4 датчика в каждом), расположенная на задней части прибора. Применяются датчики с сухим точечным контактом, контроль ведётся без применения контактной жидкости.



Рисунок 5.7 – Задняя часть томографа - антенная решётка из 48 датчиков

Массив данных формируется путем сбора информации со всех измерительных пар датчиков томографа. Данный томограф позволяет прозвучивать бетонные и железобетонные конструкции на глубину от 50 до 2500 мм. Имеет рабочую частоту ультразвуковых волн от 25 до 85 кГц.



Рисунок 5.8 – Наглядный образец бетонной конструкции с имитацией различных видов дефектов-неоднородностей. Неоднородность 1 – сквозное цилиндрическое отверстие. Неоднородность 2- несквозное цилиндрическое отверстие. Неоднородность 3- арматура.

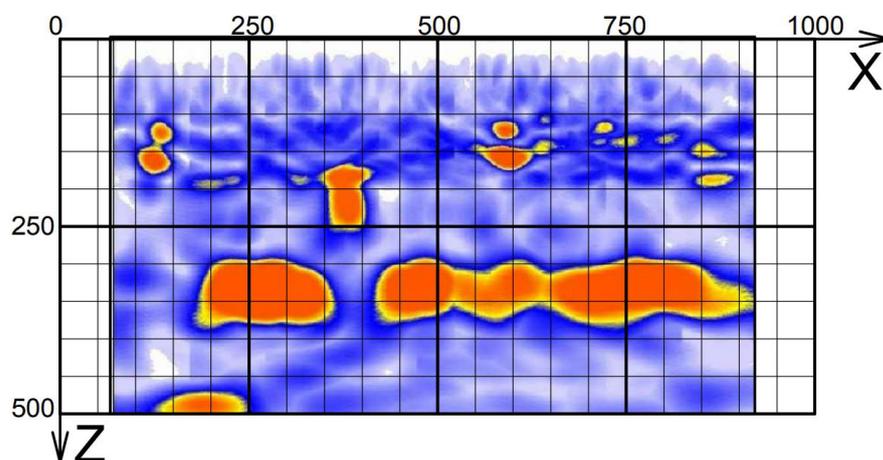


Рисунок 5.9 – Результат обработки данных, полученных с помощью томографа.

Ультразвуковой дефектоскоп-томограф А1040 MIRA имеет встроенный компьютер, позволяющий обрабатывать и представлять на экране прибора данные непосредственно в процессе работы (режим «ОБЗОР»), или сохранять данные в памяти для дальнейшей обработки (режим «КАРТА»). На внешнем компьютере с помощью специальной программы «IDEALviewer» можно представить полученные данные в 3-х мерном объемном виде, или в виде В, С, D- сканов.

Ультразвуковая дефектоскопия металла

Ультразвуковая дефектоскопия металлов применительно к строительству – это контроль качества сварных соединений, контроль дефектов в основном металле, контроль технологических дефектов изготовления конструкций.

Контроль качества сварных соединений металлоконструкций регламентируется ГОСТ Р 55724-2013. Также существуют ведомственные инструкции по ультразвуковому контролю специальных конструкций и сооружений.



Рисунок 5.10 – Ультразвуковой контроль сварных соединений

Главной особенностью распространения ультразвуковых колебаний в сталях применяемых для строительных конструкций является постоянная скорость

$V \approx 5,3\text{км/с}$. Это объясняется однородностью металла, его постоянной плотностью ($\rho = 7850\text{кг/м}^3$).



Рисунок 5.11 – Ультразвуковой контроль сварных соединений

С учетом постоянной скорости распространения УЗК в металлах регистрирующие приборы градуируются не в единицах измерения времени распространения ультразвука, а в единицах длины, то есть может регистрироваться сразу толщина конструкции, глубина расположения дефекта и др.

В ультразвуковой дефектоскопии металлов используется в основном 3 метода: эхо-импульсный (метод отраженной волны), зеркально-теневой и эхо-теневой.

Приборы для контроля металлоконструкций работают на частотах 1-5МГц, что существенно выше, чем частоты применяемые для контроля ЖБК и других каменных материалов. Обычно контролируемые толщины металлоконструкций не превышают 30-50 мм и размеры дефектов, которые требуется определять в металлах существенно меньше размеров дефектов железобетонных конструкций. Так например, при использовании преобразователей с частотой 1МГц длина волны ультразвуковых колебаний определяемая из условия $\lambda = \frac{V}{f}$, будет равна 0,53см, а при использовании частоты 5МГц соответственно получим $\lambda =$

0,106см. Также как и в железобетонных конструкциях дефекты размеров менее длины волны могут остаться не выявленными. Для определения более мелких по размерам дефектов следует применять другие методы контроля (магнитные, токовихревые, радиометрические и др.).

Ультразвуковые дефектоскопы для металла комплектуются набором преобразователей (излучатель-приемник) позволяющим выполнять контроль элементов конструкций с вводом ультразвуковой волны под заданным углом (30, 45 и 60 градусов) с разными частотами в диапазоне 1-5МГц. Выбор конкретных преобразователей производится в зависимости от толщины контролируемых конструкций и размеров определяемого дефекта.

Ультразвуковые приборы как правило комплектуются специальными эталонами заданной толщины с искусственно сделанными дефектами. Эти эталоны используются для настройки и калибровки приборов. При контроле сварных швов необходимо пользоваться эталонами предварительно сваренными фрагментами соединений с искусственно сделанными дефектами. Отражение (эхометод) или ослабление (теневой метод) сигнала при наличии дефекта в конструкции сравнивается с эталонным.

Примеры контроля толщины элементов конструкций, глубины расположения дефекта и контроля сварных соединений представлены на рисунках ниже.

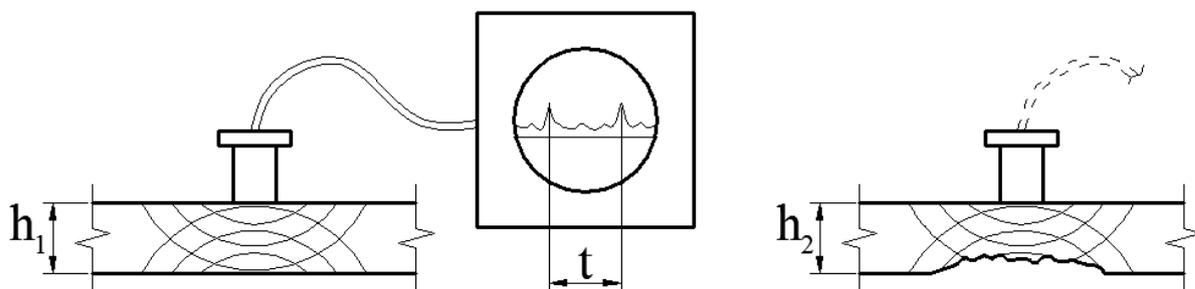


Рисунок 5.12 – Схема определения толщины металлического листа при одностороннем доступе эхоимпульсным методом

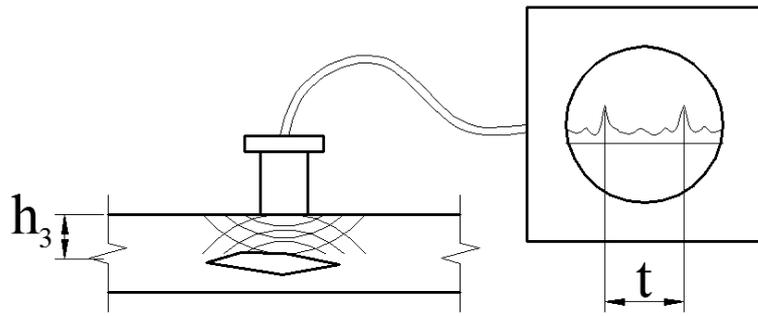


Рисунок 5.13 – Схема определения глубины залегания дефекта (по скорости ультразвука и измерению времени сигнала)

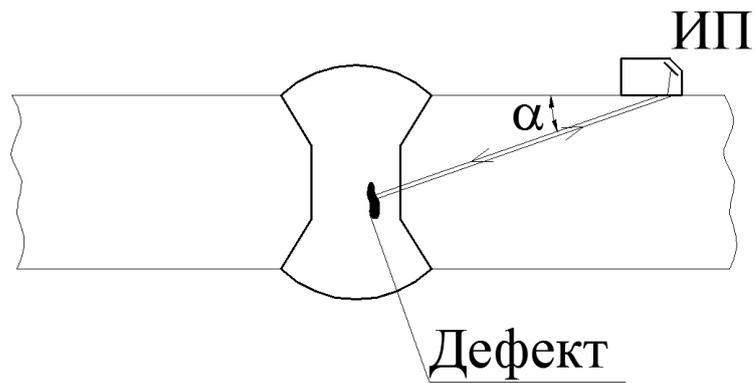


Рисунок 5.14 – Пример контроля стыкового сварного шва эхо-импульсным методом, ИП – преобразователь работает как излучатель и приемник, α – угол ввода, который зависит от комплектации конкретного прибора

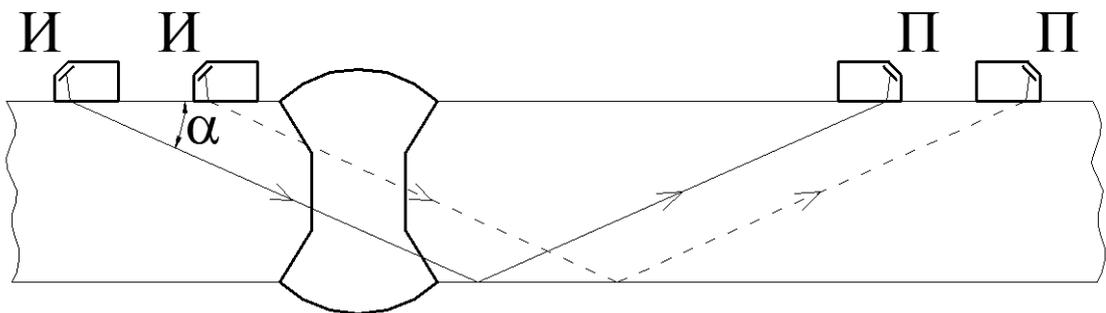


Рисунок 5.15 – Пример контроля стыкового сварного шва зеркально-теньевым методом. При движении контролируется середина

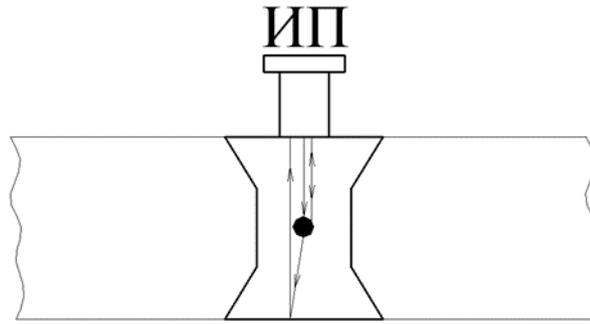


Рисунок 5.16 – Пример контроля стыкового сварного шва эхо-теньевым методом

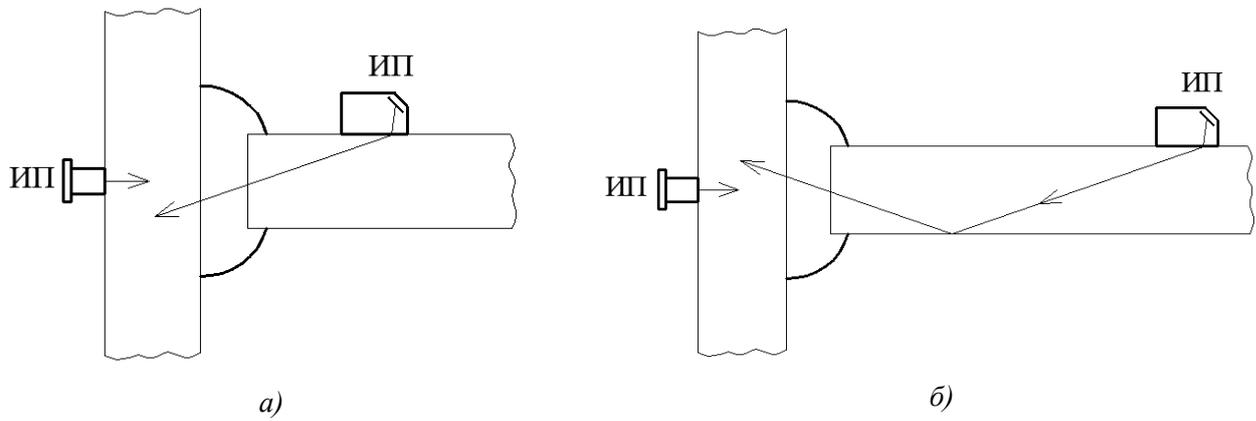


Рисунок 5.17 – Пример контроля таврового сварного соединения прямым (а) и однократно-отраженным (б) лучами

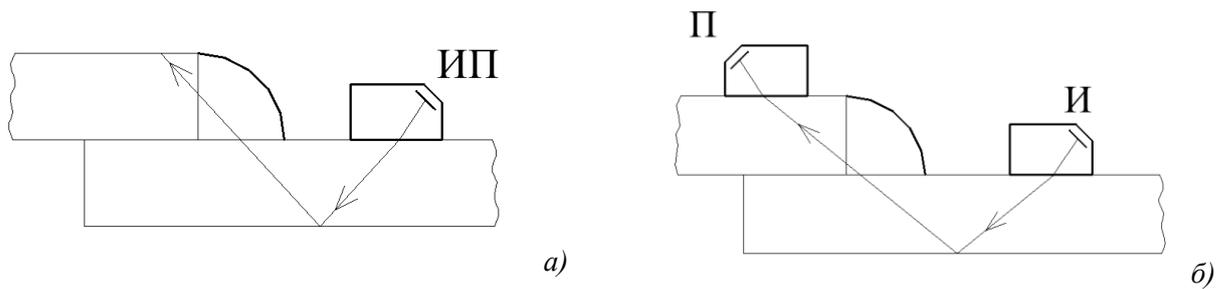


Рисунок 5.18 – Пример контроля нахлесточного сварного соединения по совмещенной (а) или раздельной (б) схемам

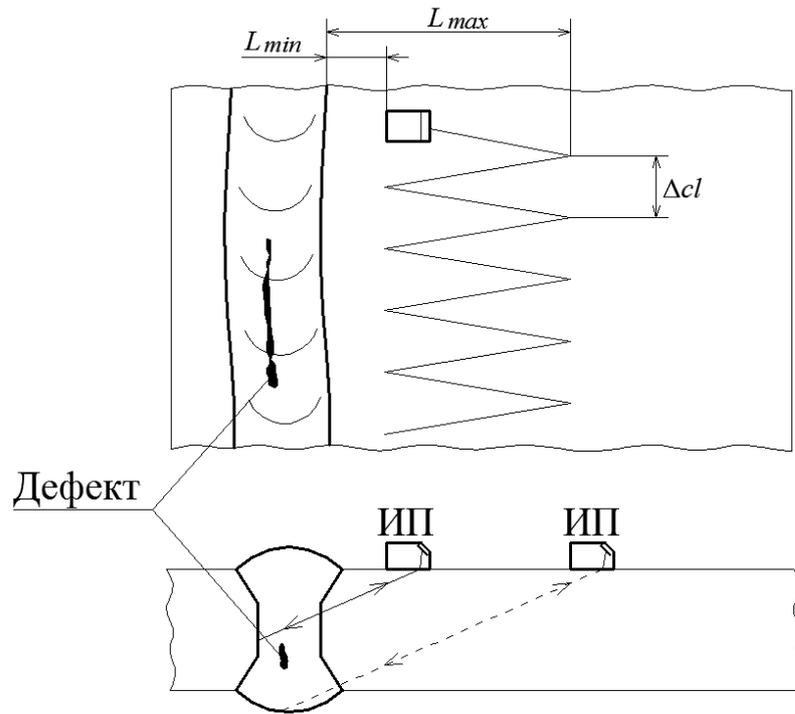


Рисунок 5.19 – Пример контроля сканирования сварного соединения; L_{min} , L_{max} – минимальное и максимальное расстояние от шва, зависящее от толщина контролируемой конструкции и угла ввода УЗК, Δcl – шаг сканирования, зависящий от величины искомого дефекта

5.2 Контроль процессов трещинообразования в бетоне

Ультразвуковым импульсным методом можно контролировать процесс начала и развития трещинообразования в бетоне при увеличении нагрузок на элементы конструкций. В процессе зарождения микротрещин в бетоне и при дальнейшем их преобразовании в макротрещины с увеличением механических напряжений в бетоне существенно уменьшается скорость распространения ультразвуковых колебаний. Могут быть построены графики уменьшения скорости УЗК в зависимости от нагрузки на элемент конструкции, причем наиболее характерно это заметно на изгибаемых железобетонных элементах.

На рис. 5.19 показана схема проведения испытаний железобетонной балки для определения моментов начала трещинообразования и процесса его развития в зоне чистого изгиба. Излучатель и приемник колебаний располагаются по торцам балки в растянутой зоне бетона, при этом они не должны попадать на продольные стержни арматуры. До нагружения балки фиксируется время распространения ультразвуковых колебаний и вычисляется скорость $V_{\text{УЗК}}$.

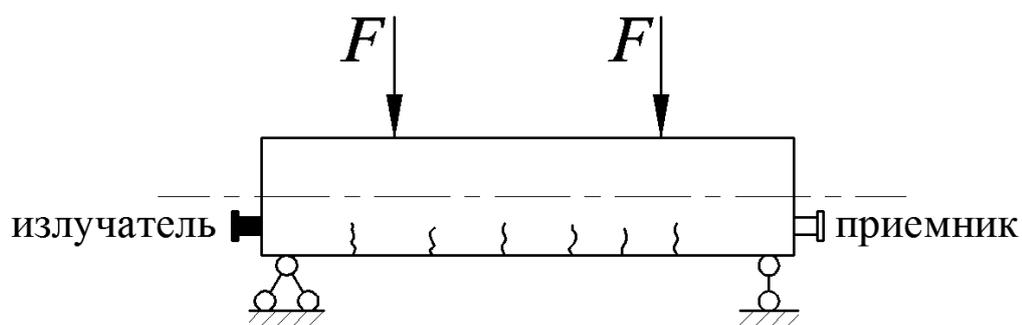


Рисунок 5.19 – Схема контроля трещинообразования при сквозном прозвучивании

Изучение процесса трещинообразования ЖБК производится на элементах не подвергавшихся предварительному нагружению. При постепенном увеличении нагрузки (ступенями) фиксируют время распространения ультразвуковых колебаний в растянутой зоне бетона и отмечают на графике уменьшение скорости. При уменьшении скорости $V_{\text{УЗК}}$ на 10-15% микротрещины развиваются и начинают преобразовываться в макротрещины, увеличение размеров которых приводит к уменьшению скорости на 25-30%. Дальнейшее развитие макротре-

щин приводит к разрушению бетона в растянутой зоне с уменьшением скорости $V_{УЗК}$ до нуля.

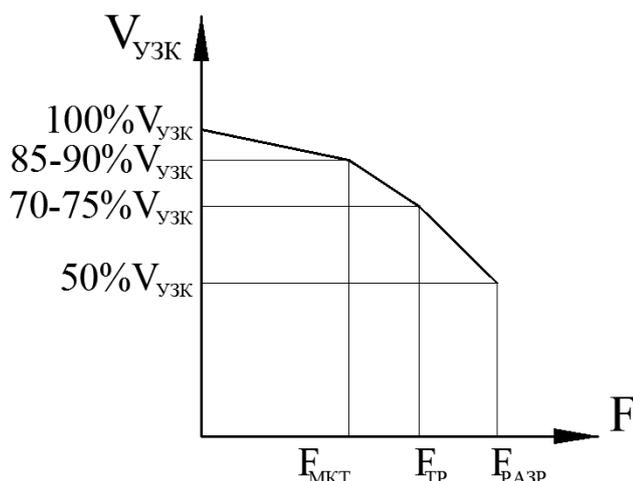


Рисунок 5.20 – Зависимость скорости ультразвука от нагрузки ($F_{МКТ}$ – нагрузка, соответствующая активному развитию микротрещин в бетоне; $F_{ТР}$ – нагрузка, соответствующая развитию видимых трещин в бетоне; $F_{РАЗР}$ – разрушающая нагрузка контролируемого элемента)

По данной методике может быть изучен процесс трещинообразования в плитных конструкциях, оболочках и сжато-изогнутых стержнях.

Контроль глубины развития трещины

При обследованиях и дефектоскопии ЖБК выявляются трещины, визуально определяемые на поверхности, однако, во многих случаях необходимо знать глубину развития этих трещин в исследуемых конструкциях.

Данная задача может быть решена различными методами (например, методами проникающих излучений), но ультразвуковой метод контроля оказывается более простым и достаточно эффективным.

При размещении преобразователей ультразвуковых колебаний на одной поверхности может быть решена еще одна задача дефектоскопии бетонных и железобетонных сооружений. Эта задача сводится к определению глубины вышедшей на поверхность трещины. Ультразвуковые колебания от излучателя к приемнику распространяются кратчайшим путем и в случае наличия трещины происходит огибание ультразвуковыми волнами имеющегося препятствия (трещины). Время на участке без трещины определяется по нескольким измерениям при

одинаковой базе прозвучивания в непосредственной близости от контролируемого участка с трещиной.

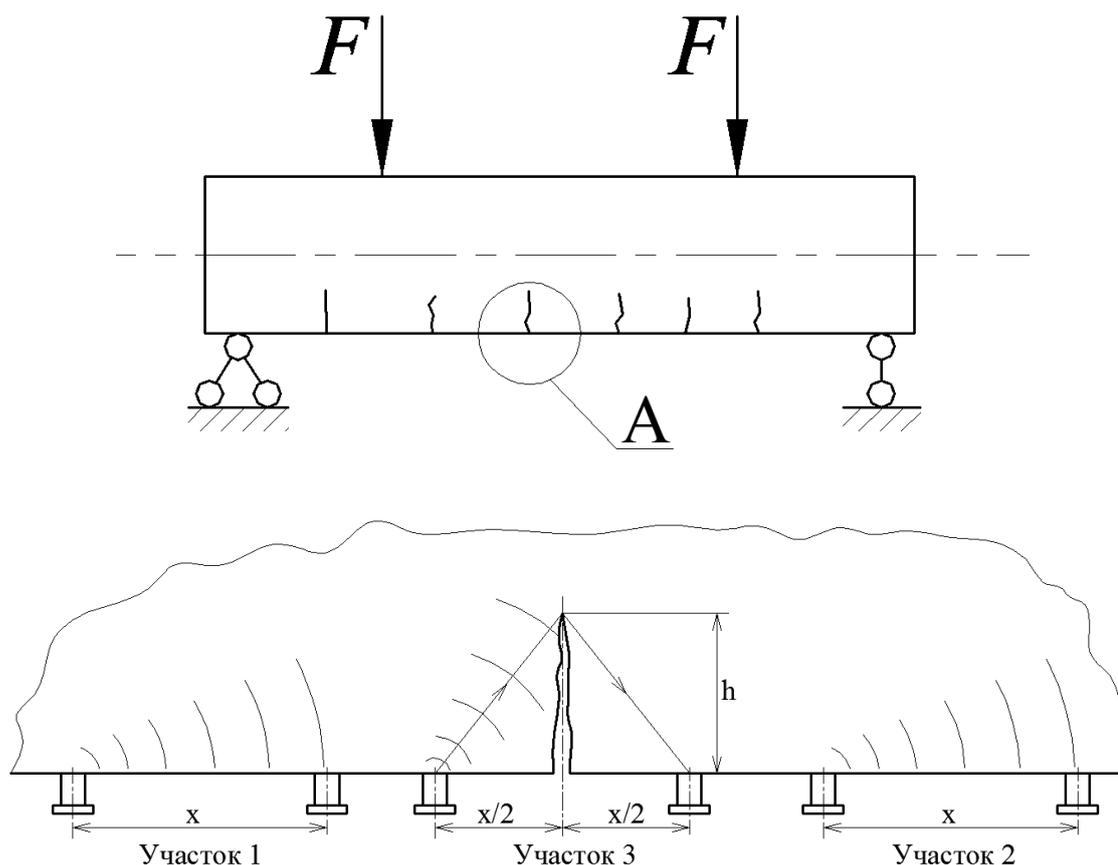


Рисунок 5.21 – Определение глубины трещины с помощью ультразвукового импульсного метода (измерения выполняются последовательно по участкам 1,2,3)

Приняв за t_1 время распространения волны, огибающей трещину, и t - время распространения волны на участке без трещины, вычисляем глубину развития трещины h по формуле:

$$h = \frac{V}{2} \sqrt{t_1^2 - t^2} \quad (5.1)$$

где x – база прозвучивания;

V – усреднённая скорость ультразвуковых колебаний, вычисленная на участках без повреждений бетона (без трещин, участки 1,3).

В случае протяженной трещины измерения могут выполняться с заданным шагом по ее длине и таким образом контролируется глубина развития трещины

на разных ее участках. Шаг контроля выбирается в зависимости от длины трещины и размеров контролируемого элемента.

Опыт показывает, что для трещин, не заполненных водой, определение с помощью ультразвука глубины h может производиться с погрешностью не более нескольких миллиметров.

5.3 Вибрационный метод определения качества железобетонных изделий

Основной отличительной чертой вибрационного метода испытаний является то, что он дает возможность определить (в отличие от ультразвукового, радиоизотопного или магнитного методов) не один какой-нибудь параметр (прочность, плотность, толщину защитного слоя и т.д.), а общее техническое состояние конструкции и ее пригодность к эксплуатации. При этом, как показано рядом исследователей, может быть найдена устойчивая связь между прочностью, жесткостью и трещиностойкостью конструкции, с одной стороны и параметрами динамических испытаний, с другой.

Таким образом, применение вибрационных методов испытаний позволяет отказаться от непроводительных и трудоемких испытаний статической нагрузкой до разрушения конструкции и оперативно, в условиях производства, оценить фактические прочностные и эксплуатационные свойства всех выпускаемых изделий. При этом необходимо учесть, что комплексное использование методов неразрушающего контроля, дающее возможность систематически наблюдать за ходом технологического процесса изготовления железобетонных конструкций значительно увеличивает экономический эффект, так как позволяет исключить перерасход исходных строительных материалов.

Основные положения вибрационного метода испытаний

Главной целью применения вибрационного метода является определение фактических несущих и эксплуатационных свойств изготовленного изделия в целом по частоте его колебаний или логарифмическому декременту. Данный ме-

тод был применен впервые Ю.А.Нилендером, И.М.Рабиновичем и Н.С.Стрелецким для обследования железнодорожных мостов, по характеру работы которых под динамической нагрузкой была произведена оценка пригодности пролетных строений для дальнейшей эксплуатации. Проведенные эксперименты позволили высказать гипотезу о том, что при колебаниях с амплитудами, приблизительно равными статическим прогибам, на низких частотах динамическая и статическая жесткости балки без трещин равны.

	$(E'' I)_{\text{стат}} = (EI)_{\text{дин}}$	(5.2)
--	---	-------

Пользуясь этим равенством, можно найти зависимость между моментом трещинообразования (статическая характеристика) и частотой собственных колебаний (динамический параметр), исходя из следующих соображений. Начало трещинообразования связано с достижением в крайних волокнах растянутой зоны изгибаемого железобетонного элемента значений нормальных напряжений R''_p и предельных деформаций растяжения ϵ_p . Крайнее волокно перед разрывом испытывает напряжение

	$R''_p = \frac{\mu_{\text{тр}}}{I_x} y$	(5.3)
--	---	-------

Для прямоугольного сечения $y = h/2$, а R''_p может быть представлено как $\epsilon_p E_p$, где E_p - величина, несколько меньшая, чем E_n . Как показывает эксперимент, при статическом определении характеристик упругости, а особенно при динамическом определении модуля упругости путем измерения скорости ультразвука в бетоне растянутой зоны изгибаемых элементов можно принять $E_p = E_n$. Статическая жесткость равна

	$E'' I_k = M_{\text{тр}} \frac{h}{2\epsilon_p}$	(5.4)
--	---	-------

С другой стороны, жесткость, определяемая из формулы для частоты собственных изгибных колебаний балки на двух шарнирных опорах, равна

	$EI_k = \varepsilon_0^2 4l^4 \frac{m}{\pi^2}$	(5.5)
--	---	-------

Учитывая, что статическая и динамическая жесткости, как было сказано выше, совпадают, получим из данных выражений связь между моментом трещинообразования и частотой собственных колебаний

	$M_{тр} = \frac{2 * 4\varepsilon_p l^2 m}{\pi^2 h} f_0^2$	(5.6)
--	---	-------

Где

ε_p - предельная растяжимость бетона;

l - расчетный пролет конструкции (расстояние между опорами при испытании);

m - погонная масса;

h - высота сечения;

f_0 - собственная частота изгибных колебаний конструкции.

Для тавровых и других сечений, у которых нейтральная ось не проходит через середину высоты, числовой коэффициент 2 нужно заменить на n , вычисляемый обычным путем при известном центре тяжести сечения.

Использование гипотезы Нилендера-Сорокина позволяет также найти связь между контрольным прогибом конструкции (как балки на двух опорах) и частотой собственных колебаний.

	$u_k = \frac{5Q\pi^4}{384 * 4mf_0^2}$	(5.7)
--	---------------------------------------	-------

где Q - контрольная равномерно распределенная нагрузка.

Эксперименты, проведенные в МИСИ-МГСУ на кафедре 'Испытания сооружений*', показали, что данные зависимости удовлетворительно согласуются с опытными данными, что позволяет по результатам вибрационных испытаний прогнозировать статическую жесткость и трещиностойкость конструкции.

Подготовка и проведение испытаний

Для оценки качества испытываемой конструкции вибрационным методом необходимо измерить частоту собственных колебаний и логарифмический декремент колебаний. Для этого конструкция устанавливается на стенд и производится выверка ее положения на опорах. Следует обращать особое внимание на соответствие расстояния между осями опор принятому для испытаний пролету конструкции. Качание конструкции на опорах "с угла на угол" за счет искривления геометрических размеров должно быть исключено, т.к. оно приводит к искажению характера колебаний и вносит погрешности в результаты измерения.

В качестве устройства, возбуждающего колебания в испытываемой конструкции, можно использовать электромагнитную систему, снабженную бойком с демпфирующей прокладкой, либо другое ударное приспособление, удобное в работе.

Для записи колебаний могут применяться вибрографы и другие приборы, регистрирующие параметры колебаний.

Частоту собственных колебаний определяют непосредственно из виброграмм, на которых параллельно с записью колебаний конструкции имеется запись меток времени. Для этого на одном и том же участке виброграммы выбирают некоторое число волн n и измеряют расстояние, на котором они укладываются. Затем измеряют расстояние между соседними метками, нанесенными на выбранном участке ленты, отметчиком времени. Поскольку этому расстоянию соответствует промежуток времени в 1 сек., то число периодов колебаний между двумя соседними метками времени может быть определено по формуле

	$f_0 = \frac{R * S}{r} \text{ (сек}^{-1}\text{)}$	(5.8)
--	---	-------

Логарифмический декремент колебаний определяется как отношение двух соседних амплитуд колебаний, взятых по виброграмме свободных колебаний. Для того, чтобы получить осреднённые значения декремента колебаний по виброграмме, удобно пользоваться выражением

	$\delta = \frac{1}{n} \ln \frac{A_0}{A_n}$	(5.9)
--	--	-------

где A_0 - наибольшая амплитуда на виброграмме свободных колебаний после действия ударного импульса;
 A_n - амплитуда n-го цикла колебаний.

Как отмечалось выше, параллельно с вибрационными испытаниями весьма эффективно использовать и другие методы неразрушающего контроля. В частности, можно применять ультразвуковой импульсный метод. В этом случае оценку качества изделия нужно производить путем сравнения комплексного показателя $K=f_0V$ с минимально допустимой его величиной $K_{мин}$, которая получается путем умножения на понижающие коэффициенты, учитывающие допустимые отклонения в меньшую сторону.

Если полученный в результате испытаний показатель K больше $K_{мин}$, то изделие признается годным и может быть отправлено на склад готовой продукция.

В случае, если полученный в результате вибрационно-акустических испытаний показатель $K < K_{мин}$ изделие необходимо выдержать в течение 28 суток и затем провести повторные испытания. По полученным в результате повторных испытаний параметрам и тарировочной зависимости «скорость-прочность» производится подсчет $M_{трещ}$, $u_{констр}^{оп}$, $R_{бет}^{оп}$. Изделие признается годным к отправке потребителю, если полученные значения $M_{трещ} > M_{проект}$, $u_{констр} < u_{проект}$, $R_{бет}^{оп} > R_{проект}$.

6. Магнитные методы экспериментальных исследований

Магнитные методы контроля основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих над дефектами, или на определении магнитных свойств контролируемых изделий. Магнитные методы контроля можно классифицировать по способам регистрации магнитных полей рассеяния или определения магнитных свойств контролируемых изделий. В соответствии с отмеченным можно выделить следующие методы:

- магнитопорошковый;
- магнитографический;
- феррозондовый;
- преобразователя Холла;
- индукционный;
- пондеромоторный.

Магнитопорошковый метод является одним из самых распространенных методов обнаружения дефектов типа нарушения сплошности металла. Для намагничивания ферромагнитных материалов при магнитном контроле используются магнитные поля, возникающие в пространстве вокруг проводника а с током I , между полюсами постоянного магнита или соленоида.

Магнитопорошковый метод неразрушающего контроля основан на притяжении магнитных частиц силами неоднородных магнитных полей, образующихся над дефектами в намагниченных объектах. с образованием в зонах дефектов индикаторных рисунков в виде скоплений магнитных частиц. Наличие и протяженность индикаторных рисунков регистрируют визуально, с помощью оптических приборов или автоматическими устройствами обнаружения и обработки изображений.

Объектами МПК являются разнообразные полуфабрикаты, детали, узлы, элементы конструкций и изделий, сварные, клепаные и болтовые соединения, в том числе с защитными или защитно-декоративными покрытиями, включая объ-

екты, находящиеся в конструкции летательных аппаратов, механизмов, машин, оборудования, средств транспорта и другой техники.



Рисунок 6.1 – Магнитопорошковый дефектоскоп

Магнитопорошковый метод позволяет обнаруживать поверхностные и подповерхностные дефекты типа нарушений сплошности материала: трещины различного происхождения (шлифовочные, ковочные, штамповочные, закалочные, усталостные, деформационные, травильные и др.), флокены, закаты, надрывы, волосовины, расслоения, дефекты сварных соединений (трещины, непровары, шлаковые, флюсовые и окисные включения, подрезы) и др.

Необходимым условием применения МПК для выявления дефектов является наличие доступа к объекту контроля для намагничивания, обработки индикаторными материалами, осмотра и оценки результатов контроля.

Контролируемая ферро магнитная деталь состоит из очень малых самопроизвольно намагниченных областей, так называемых доменов. В размагниченной детали магнитные поля доменов направлены произвольным образом и компен-

сируют друг друга. Суммарное магнитное поле доменов в этом случае равно нулю. Если контролируемая деталь помещена в намагничивающее поле, то под его влиянием поля отдельных доменов устанавливаются по направлению внешнего поля, в результате чего образуется результирующее магнитное поле доменов, и деталь намагничивается.

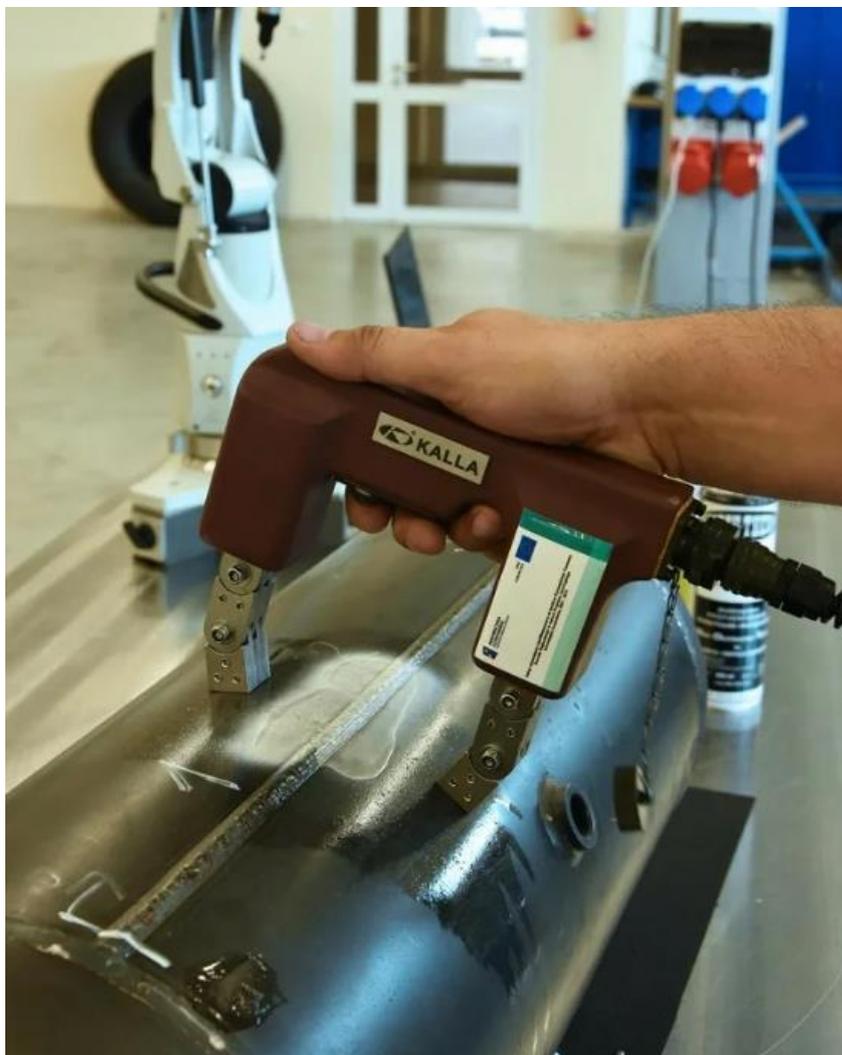


Рисунок 6.2 – Магнитопорошковый контроль сварных швов

Магнитопорошковый метод применим только для контроля деталей из ферромагнитных материалов. Этот метод позволяет выявлять дефекты без разрушения изделий: неметаллические и шлаковые включения, пустоты, расслоения, дефекты сварки и трещины.

Магнитный поток в бездефектной зоне не меняет своего направления. Если же на пути магнитного потока (рис.6.3) встречаются участки с пониженной маг-

нитной проницаемостью из-за открытого или скрытого дефектов, то часть магнитных линий выходит из детали. Там где они выходят из детали и входят в нее, возникают местные магнитные полюса N, S и магнитное поле над дефектом. После снятия намагничивающего поля магнитное поле над дефектом и местные полюса остаются из-за наличия остаточной индукции.

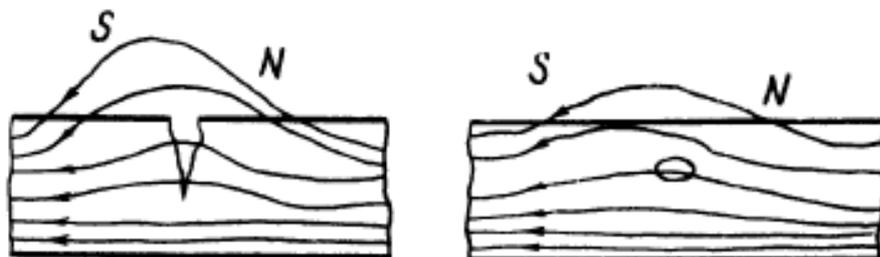


Рисунок 6.3 – Схема образования магнитного поля над дефектами

Для обнаружения магнитных полей над дефектами на контролируемые участки изделия наносят ферромагнитные частицы либо в сухом виде, либо во взвешенном состоянии в воде, керосине, минеральном масле. Частицы в области поля дефекта намагничиваются и притягиваются друг к другу, образуя цепочечные структуры, ориентированные по магнитным силовым линиям поля. В результате над дефектами происходит накопление частиц в виде полосок, валиков, жилок, шнуров. Ширина полоски из осевшего порошка значительно больше ширины трещины, поэтому магнитопорошковым методом могут быть выявлены мельчайшие трещины и другие дефекты. Магнитопорошковый метод позволяет выявлять трещины с шириной раскрытия 0,001 мм, глубиной 0,01 мм и более.

Результаты контроля объектов магнитопорошковым методом зависят от следующих факторов:

- магнитных характеристик материала объектов: • формы и размеров объектов контроля;
- вида, местоположения и ориентации отыскиваемых дефектов;
- степени доступности зон контроля, особенно в случае контроля объектов, установленных в конструкции изделия;
- шероховатости поверхности;

- наличия и уровня поверхностного упрочнения;
- толщины немагнитных покрытия;
- напряженности магнитного поля и его распределения по поверхности объекта контроля;
- угла между направлением намагничивающего поля и плоскостями выявляемых дефектов;
- свойств магнитного индикатора;
- способа его нанесения на объект контроля;
- интенсивности магнитной коагуляции порошка в процессе выявления дефектов;
- способа и условий регистрации индикаторных рисунков выявляемых дефектов.

Указанные факторы учитывают при разработке технологий МПК объектов.

В качестве ферромагнитных порошков используются измельченные частицы ферромагнитных металлов, причем цвет порошка подбирают так, чтобы он контрастировал с цветом материала испытываемого изделия. В частности, черный порошок представляет собой измельченную окись-закись железа. Буровато-красным цветом характеризуется гамма-окись железа, светлый порошок изготавливается из смеси никелевого порошка и алюминиевой пудры. Эффективным является применение магнитно-люминесцентных порошков и паст.

Магнитопорошковый метод может быть использован для контроля объектов с немагнитным покрытием (слоем краски, лака, хрома, меди, кадмия, цинка и др.). Объекты с немагнитными покрытиями суммарной толщиной до 40—50 мкм могут быть проконтролированы без существенного уменьшения выявляемости дефектов.

При МПК возможно снижение выявляемости дефектов:

- плоскости которых составляют угол менее 30° с контролируемой поверхностью или с направлением магнитного потока;
- подповерхностных;

- на поверхности объектов с параметром шероховатости $Ra > 10$ мкм;
- при наличии на поверхности объектов нагара, продуктов коррозии, шлаков, термообмазок.

Магнитопорошковый метод относится к индикаторным (неизмерительным) методам неразрушающего контроля. Метод не позволяет определять длину, глубину и ширину поверхностных дефектов, размеры подповерхностных дефектов и глубину их залегания.

Магнитопорошковым методом не могут быть проконтролированы детали, узлы и элементы конструкций;

- изготовленные из неферромагнитных сталей, цветных металлов и сплавов;
- на поверхности которых зона контроля не обеспечена необходимыми подходами для намагничивания, нанесения магнитного индикатора и осмотра; - с существенной магнитной неоднородностью материала;
- сварные швы, выполненные немагнитным электродом.

Объем контроля, а также виды недопустимых дефектов и их размеры устанавливаются в НТД отрасли или предприятия на контроль объектов.

Проведение магнитопорошкового контроля в ночную смену не рекомендуется.

В НТД отрасли или предприятия на контроль объектов магнитопорошковым методом рекомендуется применять условные обозначения видов и способов намагничивания и вида намагничивающего тока.

Каждый тип дефекта характеризуется соответствующей картиной осаждения порошка. Внешние трещины приводят к четкому образованию сосредоточения порошка вдоль краев трещин. Внутренние трещины инициируют размытые полосы, ориентированные вдоль них. Неметаллические включения выявляются в виде цепочек или точечных включений и т. д.

После магнитопорошкового контроля необходимо провести размагничивание исследуемого объекта. При размагничивании изделие циклически перемагни-

ничивают магнитным полем, напряженность которого периодически изменяют по направлению и уменьшают по амплитуде от некоторого значения до нуля.

Типовые технологические процессы магнитопорошкового метода описываются в ГОСТ Р 56512—2015 «Контроль неразрушающий. Магнитопорошковый метод».

Магнитографический метод контроля (рис.6.4) заключается в записи магнитных полей рассеяния над дефектом 4 на магнитную ленту 5 путем намагничивания электромагнитом 1 контролируемого участка детали 2 вместе с прижатой к его поверхности магнитной лентой с последующим воспроизведением и расшифровкой полученной записи.



Рисунок 6.4 – Нанесение магнитной суспензии на сварной шов

Этот метод в основном применяется для проверки сплошности сварных швов 3 различных сооружений, изготовленных из ферромагнитных сталей с толщиной стенки до 18 мм. Для воспроизведения записи используют магнитные кольцевые головки. По величине и форме кривой ЭДС, наблюдаемой на экране электронно-лучевой трубки, судят о наличии и характере дефектов.

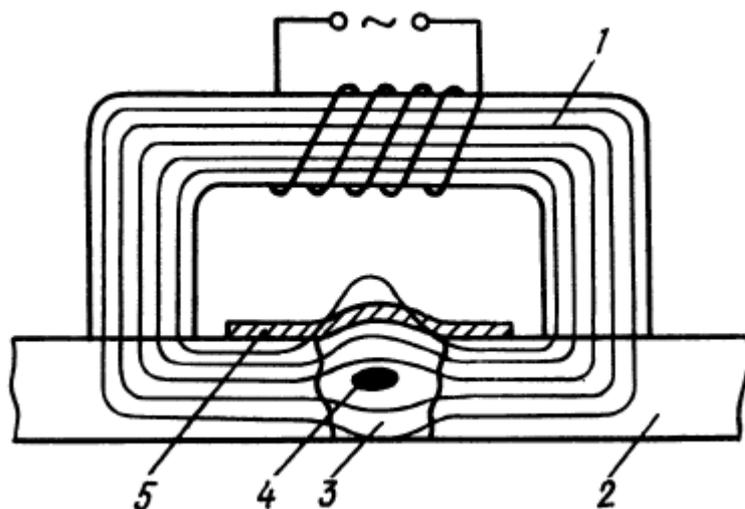


Рисунок 6.5 – Схема магнитографического метода контроля сварного шва

Феррозондовый метод основан на обнаружении феррозондовым преобразователем магнитного поля рассеяния дефекта на намагниченных изделиях и преобразовании его в электрический сигнал.

Метод служит для выявления поверхностных и подповерхностных (лежащих в толще материала) дефектов типа нарушений сплошности: волосовин, трещин, раковин, закатов, плен, ужимов и т.п.

Метод позволяет контролировать изделия любых размеров и форм, если отношение их длины к наибольшему размеру в поперечном направлении и их магнитные свойства дают возможность намагничивания до степени, достаточной для создания магнитного поля рассеяния дефекта, обнаруживаемого с помощью преобразователя.

Метод допускается применять также для выявления дефектов типа нарушения сплошности сварных швов, для контроля качества структуры и геометрических размеров изделий.

Чувствительность метода определяется магнитными характеристиками материала контролируемого изделия, его формой и размерами, способом контроля и видом намагничивания, чувствительностью применяемого преобразователя и электронной аппаратуры, а также магнитным полем рассеяния дефекта.

Чувствительность метода проверяют на стандартных образцах с естествен-

ными или искусственными дефектами.

В зависимости от размеров выявляемых поверхностных и подповерхностных дефектов, а также глубины их залегания устанавливаются пять условных уровней чувствительности метода.

Необходимость применения метода при автоматизированном скоростном или ручном контроле, условный уровень чувствительности метода, значение недопустимых дефектов, объем и периодичность контроля определяются в стандартах или технических условиях на изделие конкретного типа.

Поиск дефектов основан на измерении феррозондовым прибором градиента напряженности магнитного поля рассеяния, созданного дефектом в намагниченном изделии, и сравнении результата измерения с порогом срабатывания дефектоскопа.

Дефекты обнаруживаются за счет выявления пространственных искажений магнитного поля над дефектом. Искаженное поле над дефектом именуется полем рассеяния дефекта или полем дефекта.

Неоднородность магнитного поля в конкретной его точке характеризуется градиентом напряженности.

При феррозондовом методе дефектоскопии в качестве преобразователей магнитного поля используются индукционные преобразователи, в которых рабочим элементом являются ферромагнитные сердечники - феррозонды.

Феррозонды являются преобразователями активного типа, преобразующим действующую на него напряженность внешнего постоянного поля в ЭДС, кратную по частоте питающему его переменному току. Преобразование оказывается возможным благодаря нелинейности магнитных характеристик его сердечников.

В основу работы феррозонда положена нелинейность магнитных характеристик его сердечников.

Феррозондовый метод, обладает следующими преимуществами:

- Обладает очень высокой чувствительностью к магнитному полю (до 10^{-4} - 10^{-5} А/м или 0,01-0,001 А/см);

- Малочувствителен к загрязнению деталей и к нанесённым лакокрасочным покрытиям;
- Эффективен для контроля литых и штампованных деталей с высокой шероховатостью до R_z 320мкм;
- Обнаруживаются поверхностные и подповерхностные дефекты в стальных изделиях на глубине до $5 \div 10$ мм;
- Можно применять на изделиях любых размеров и форм, если отношение их длины к наибольшему размеру в поперечном направлении и их магнитные свойства дают возможность намагничивания до степени, достаточной для создания магнитного поля рассеяния дефекта, обнаруживаемого с помощью преобразователя.

Аппаратура для проведения контроля феррозондовым методом должна обеспечивать:

- проведение намагничивания изделий;
- выявление дефектов;
- проведение размагничивания изделий;
- измерение напряженности поля намагничивания и размагничивания изделий.

Аппаратуру для выявления дефектов подразделяют на:

- аппаратуру для автоматизированного скоростного контроля - феррозондовые установки, дефектоскопы;
- аппаратуру для ручного контроля - переносные феррозондовые дефектоскопы.

Намагничивающие устройства, входящие в состав феррозондовых установок и дефектоскопов, должны обеспечивать создание в изделиях значения напряженности магнитного поля.

Чувствительность преобразователя, габаритные размеры его сердечника, база и т.п. должны соответствовать требованиям стандартов и технических условий на феррозондовые установки и дефектоскопы. Зона чувствительности преобразователя должна быть не менее 0,5 мм.

Специальные устройства при автоматизированном контроле должны обеспечивать разбраковку контролируемых изделий.

Напряженность магнитного поля в центре намагничивающего соленоида должна соответствовать установленной в стандартах и технических условиях на аппаратуру конкретного типа.

Преобразователь и соответствующая электронная аппаратура должны обеспечивать при контроле условные уровни чувствительности

Необходимо принимать во внимание размеры феррозондового преобразователя по отношению к размеру контролируемой детали, а так же мешающие факторы, вызывающие появление ложных индикаций.

- Проведение контроля может быть полностью автоматизировано.

К недостаткам феррозондового контроля относятся:

- зависимость результатов контроля от величины намагниченности контролируемого объекта;
- невозможность контроля деталей с малыми геометрическими размерами, соизмеримыми с размерами феррозондового преобразователя;
- жёсткие технические требования к направлению и шагу сканирования детали феррозондовым преобразователем;
- ложные срабатывания при наличии локальных градиентов магнитного поля вызванных:
 - магнитными пятнами;
 - приближением к краю;
 - наличием выступов (буртов, рёбер);
 - наклёп;
 - резкое изменение сечения.

Нормативное обеспечение данного метода описывается в ГОСТ Р 55680-2013 «Контроль неразрушающий. Феррозондовый метод».

Метод, основанный на эффекте Холла, используют для обнаружения дефектов и в приборах для измерения толщины, контроля структуры и механических свойств. Эффект Холла заключается в том, что если прямоугольную пластинку из полупроводникового материала (германия, антимонита, арсенида индия) поместить в магнитное поле перпендикулярно вектору напряженности и пропускать по ней ток в направлении двух противоположных граней, то на двух других гранях возникнет ЭДС, пропорциональная напряженности магнитного поля. Размеры кристаллических датчиков Холла определяются площадью $0,7 \times 0,7 \text{ мм}^2$ при толщине порядка 1 мм.

Индукционный метод основан на том, что выявление полей рассеяния в намагниченном контролируемом металле осуществляется с помощью катушки с сердечником, которая питается переменным током и является элементом мостовой схемы. Катушка устанавливается между полюсами электромагнита. Потoki рассеяния от обнаруженного дефекта возбуждают ЭДС, которая усиливается, преобразовывается в звуковые сигналы или подается на самопишущее или осциллографическое устройство. Индукционный метод используется для выявления трещин, непроваров, включений при контроле сварных швов.

Пондеромоторный метод основан на взаимодействии измеряемого магнитного поля и магнитного поля тока в рамке прибора или магнита. Этот метод применяется при дефектоскопии железнодорожных рельс.

Магнитный метод применим для определения толщины немагнитных покрытий на ферромагнитной основе или в случае резкого различия магнитных свойств покрытия и основы решения отмеченной задачи применяются приборы с постоянными магнитами и электромагнитами, действие которых основано на измерении силы отрыва датчика от поверхности контролируемого объекта с помощью пружинных динамометров либо по изменению тока намагничивания.

Возможно использование приборов, основанных на регистрации изменения магнитного сопротивления контролируемого участка.

Магнитным методом могут быть определены толщины элементов конструкций из неферромагнитных материалов, если возможен одновременный доступ к соответствующим точкам поверхностей. Магнитные методы позволяют выявлять напряженное состояние элементов конструкций из ферромагнитных материалов. Одно из направлений связано с возникновением магнитной анизотропии под действием приложенных к объекту нагрузок. На этом принципе работает прибор конструкции Н. Н. Максимова. Прибор состоит из центральной питающей катушки с сердечником. Четыре периферийные катушки по диагонали попарно связаны между собой, причем эта связь может быть скоммутирована на определение суммы или разности возбуждаемых ЭДС. Вращение прибора относительно центральной оси позволяет оценить напряженное состояние в элементе.

Перспективным является метод магнитных меток. На элемент до его деформирования внешним магнитным полем наносятся метки, расположенные на некотором расстоянии друг от друга. По изменению расстояния между метками можно вынести суждение о деформации элементов, а затем перейти к оценке напряжений.

Еще один метод основан на использовании магнестрикционных свойств материалов, т. е. на зависимости изменения магнитной проницаемости от напряжений, создаваемых в ферро- и ферромагнитных материалах.

Магнитные методы эффективно применяются для определения толщины защитного слоя и диаметра арматуры в железобетонных конструкциях. Магнитометрический прибор состоит из двух постоянных магнитов, создающих постоянное магнитное поле (Рисунок). Посередине между двумя магнитами располагают небольшой подковообразный магнит 1, соединенный со стрелкой-указателем. При отсутствии арматуры а подковообразный магнит под действием магнитных полей параллельных постоянных магнитов находится в нейтральном

положении. При приближении прибора к арматуре напряженность магнитного поля изменяется, и подковообразный магнит перемещается по направлению к арматуре 2. Экстремум отклонения указателя при смещении прибора по поверхности бетона указывает на расположение арматуры, а отклонение стрелки определяет толщину защитного слоя.

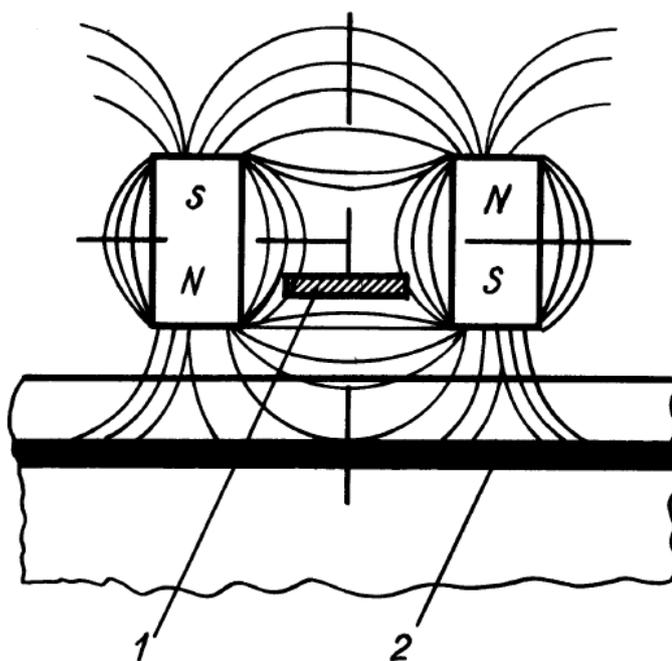


Рисунок 6.6 – Схема определения толщины защитного слоя

Преобразователь индукционного типа позволяет определить как толщину защитного слоя, так и диаметр арматуры. После выявления расположения арматурных стержней следует чувствительный элемент расположить так, чтобы он находился на участке между точками пересечения арматуры. После этого следует записать толщины защитного слоя по шкалам, соответствующим различным диаметрам и повторить опыт, поместив между бетоном и чувствительным элементом прокладку толщиной порядка 10 мм из оргстекла, дерева или другого диамагнетика. Диаметр арматуры будет соответствовать той из шкал, разность отсчетов по которой будет соответствовать 10 мм.



Рисунок 6.7 – Измеритель толщины защитного слоя бетона

Имеются и другие приборы, построенные на системе двух индуктивных датчиков, представляющих собой трансформаторы с разомкнутой цепью.

При использовании магнитных методов следует соблюдать правила техники безопасности, связанные с использованием источников напряжения. Все приборы должны быть тщательно заземлены и занулены. Следует отметить, что источники с напряжением около 24 В могут быть опасными для организма человека. Вблизи приборов запрещается хранить легко воспламеняющиеся вещества. При работе с магнитными порошками для защиты рук следует применять биологические перчатки. Подробно все необходимые требования оговорены в соответствующих инструктивных материалах.

7. Электрические методы испытаний

Электрические методы измерения неэлектрических величин получили широкое распространение при контроле и определении физико-механических характеристик строительных материалов, изделий и конструкций. По замеренному электрическому сопротивлению можно судить о влажности древесины в конструкциях, для чего используются градуировочные зависимости 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, по этим данным можно судить о влажности по всей толщине сечения элементов. Широкое распространение электрические методы получили при определении влажности заполнителей, бетонной смеси, затвердевшего бетона.

Электрический метод, используемый для определения влажности песка, основан на существовании связи между влажностью песка и его электропроводимостью или электросопротивлением. Этот метод может быть применен для приближенного определения влажности в связи с тем, что на величину электропроводимости песка оказывает влияние не только содержание влаги, но и наличие примесей в песке, химический состав воды, пористость песка.

Более точными являются методы определения влажности, основанные на термоэлектрических и диэлектрических эффектах. Термоэлектрический метод основан на функциональной связи теплопроводности песка с его влажностью. Диэлектрический метод основан на измерении электроемкости конденсатора, между пластинками которого помещается проба песка различной влажности.

Для определения содержания воды в бетонной смеси используется электрический метод. Прибор состоит из двух электродов и вибратора. Для определения содержания воды коробку с электродами и вибратором частично погружают в исследуемую бетонную смесь и включают ток. Под действием колебаний, воз-

буждаемых вибратором, вокруг электродов начинается образование жидкого цементного теста. Величина силы тока, проходящего через цементное тесто, служит количества содержащейся в бетонной смеси воды. Электрические методы могут служить для автоматического контроля подвижности бетонной смеси процессе ее приготовления. В этом случае по величине мощности, затрачиваемой двигателем на преодоление вязкого сопротивления датчика, погруженного в бетонную смесь, судят о ее подвижности.

В дефектоскопии материалов наибольшее применение получили следующие электрические методы:

- электростатический;
- термоэлектрический;
- электроиндуктивный.

Электростатический метод основан на взаимодействии мелких частиц с электростатическим полем - полем неподвижных электрических зарядов. Метод используется для обнаружения поверхностных трещин в элементах, помещенных в электростатическое поле. Поверхность элемента опыляется тонким порошком мела. В результате неоднородности электростатического поля частицы мела скапливаются у краев трещин.

Термоэлектрический метод основан на измерении электродвижущей силы, возникающей в замкнутой цепи при нагреве места контакта двух разнородных материалов. Если один из этих материалов принять за эталон, то при заданной разности температур горячего и холодного контактов величина и знак термоЭДС будут определяться химическим составом второго материала. Этот метод обычно применяют при определении марки материала полуфабриката или конструкции.

Электроиндуктивный метод основан на возбуждении вихревых токов переменным магнитным полем датчика. Этот метод применяется для выявления и оценки размеров и вида дефектов сплошности, контроля и измерения физико-механических свойств и марок материала, измерения размеров деталей и покры-

тий, измерения параметров вибраций и перемещений элементов конструкций. Возбудителем вихревых токов может быть поле движущего магнита, переменное поле тока в проводе, волна радиоизлучения. Самым распространенным в методе вихревых токов датчиком является катушка индуктивности с переменным током или комбинация нескольких катушек. По способу расположения датчика и контролируемого объекта датчики могут быть накладными, проходными и щелевыми. Накладными датчиками контролируют поверхность любых элементов, внешними проходными датчиками контролируют прутки, проволоки, профили и т. п., внутренними проходными - трубы.

8. Методы проникающих излучений

Для изучения физико-механических свойств материалов и дефектоскопии строительных конструкций применяются радиационные методы. Наиболее распространенными на практике являются рентгеновский метод, метод тормозного излучения ускорителей электронов и γ -метод. Эти методы применяются при решении идентичных задач. Перспективными является метод радиографии, построенный на использовании позитронов, и метод просвечивания потоком тепловых нейтронов. Использование нейтронов позволяет определять содержание влаги в материале, а использование позитронов – усталостные напряжения в материалах.

Рентгеновское, тормозное излучение ускорителей электронов и γ -излучение по своей природе являются высокочастотными электромагнитными волнами, распространяющимися в вакууме со скоростью света. Источниками характеристического и тормозного ионизирующего излучения в диапазоне от 0,5 до 1000 кэВ служат рентгеновские аппараты. Источниками высокоэнергетического тормозного ионизирующего излучения в диапазоне до 35 МэВ служат ускорители электронов. Характеристическое излучение испускается возбужденными атомами при их переходе в основное или менее возбужденное состояние. Этот процесс заключается в переходе электронов с внешних оболочек атома на внутренние, из которых выбиты электроны при бомбардировке атома заряженными частицами. Тормозное излучение возникает при прохождении электрона через поле атома или ядра, которым он тормозится. Чтобы электрон мог пройти близко от ядра материала мишени, его энергия должна быть не менее 105 эВ.

Рентгеновское излучение (рис.8.1) возникает в результате резкого торможения электронов 3, образующих пучок катодных 4 лучей, при столкновении с атомами материала анода 2. При торможении электронов в веществе возникает непрерывный спектр рентгеновских лучей 7, характерный для вещества мишени. Одновременно наблюдается и характеристическое излучение. Часть кинетической энергии электронов тратится на нагревание анода. Кванты рентгеновского

излучения обладают свойствами частиц (фотоэффект, рассеяние) и волновыми свойствами (преломление, интерференция, дифракция). Длина волны любого электромагнитного излучения - рентгеновского, γ -излучения, видимого света, инфракрасного, радиоволнового, ультрафиолетового, космического связана с частотой f соотношением c/f , где c – скорость света ($c 2,998 \cdot 10^8$ м-с=1). Чем меньше длина излучения волны, тем больше его энергия, а следовательно, проникающая способность. При проходе преграды рентгеновскими лучами их интенсивность снижается по мере увеличения толщины преграды при наличии плотных включений 6. Наличие пустот 5 равноценно уменьшению толщины преграды. В результате изменяется эпюра интенсивности рентгеновского излучения за преградой.

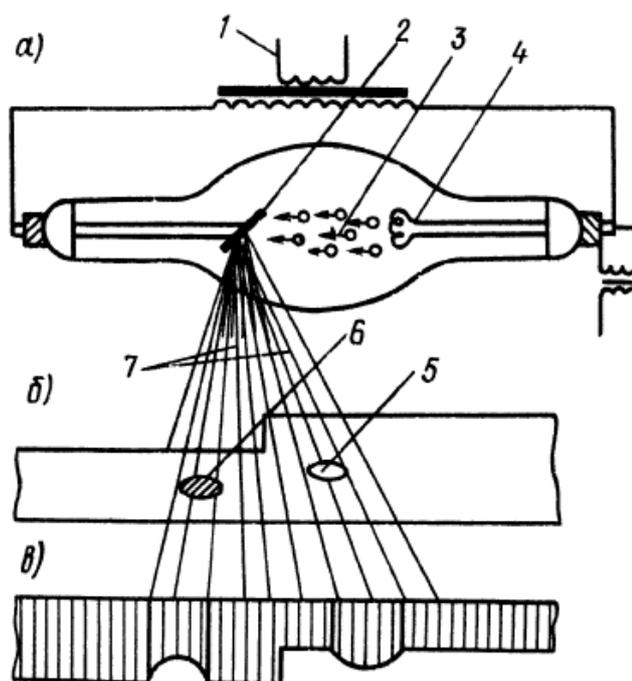


Рисунок 8.1 – Схема просвечивания рентгеновскими лучами а)излучатель б)преграда в)эпюра

Источниками γ -излучения являются радиоактивные изотопы химических элементов. При их радиоактивном распаде в результате энергетических изменений внутри атома испускается γ -излучение. Гамма-кванты возникают при радиоактивном распаде ядра вследствие того, что после вылета частицы, например α -частицы, новое ядро может оказаться в возбужденном энергетическом состоянии и этот избыток энергии освобождается в виде γ -излучения.

Источники γ -излучения представляют собой ампулы из коррозионностойкой стали или алюминиевого сплава. Цилиндрический металлический стакан, в котором помещенный изотоп герметизируется в своей открытой части эпоксидным клеем. В контейнере-хранителе осуществляется с помощью манипулятора перенесение источника излучения в рабочий контейнер и возвращение из него в контейнер-хранилище.

Обычно γ -дефектоскопы состоят из следующих основных блоков: радиационной головки с источником излучения, встроенных или сменных коллиматоров, оптического устройства для создания параллельных пучков, пульта управления выпуском и перекрытием пучка γ -излучения, штатива для крепления радиационной головки относительно объекта контроля или ампулопровода, транспортно-перезарядного контейнера. Радиационные головки имеют свинцовую или вольфрамную защиту, обеспечивающую снижение мощности дозы излучения до предельно допустимых. Конструктивно головки выполняются с перемещаемым и неподвижным источниками излучения. Головки с перемещаемым источником шлангового типа имеют внутри криволинейный канал-лабиринт, в котором держатель источника фиксируется в положении хранения замком. После открытия замка источник может быть перемещен в два рабочих положения: к выходному окну головки или за ее пределы по ампулопроводу.

Поток тепловых нейтронов образуется при ядерных реакциях, происходящих при бомбардировке мишеней (бериллия и бора) α -частицами, протонами, нейтронами или γ -квантами очень высокой энергии. Тепловые нейтроны характеризуются энергией до 0,3 эВ. Проникающая способность нейтронов практически не зависит от плотности материала, но в большей степени поглощается водой, эпоксидной смолой и другими органическими материалами, содержащими легкие элементы (водород, литий, бор, кадмий, медь, свинец). Поэтому поток нейтронов эффективно используется для просвечивания материалов, которые не могут быть исследованы с помощью рентгеновского и γ -излучения. Нейтронное

излучение эффективно используется при контроле композитных материалов, клеёных соединений и при оценке влажности материалов.

Существуют различные методы дефектоскопии материалов и определения их физико-механических свойств. Рассмотрим наиболее применяемые из них в настоящее время. Радиографический метод основан на фиксации интенсивности излучения, прошедшего через исследуемый объект. Для этой цели используется рентгеновская пленка, которая после экспонирования (просвечивания) подвергается соответствующей обработке подобно той, которой подвергаются фотопленки. В результате получается картина, отражающая интенсивность воздействия излучения. Достоинством данного метода является то, что в руках исследователя остается объективный документ, характеризующий состояние объекта в момент просвечивания.

С помощью радиационных методов можно решать многие задачи, связанные с изучением состояния строительных конструкций. К этим задачам относятся: выявление дефектов при сварке металлических конструкций, дефектов прокатных листов, трещин, зазоров между заклепками и основным материалом, коррозионных поражений, определение толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры в железобетонных конструкциях, измерение напряжений, определение объемной массы строительных материалов, выявление толщин изделий, определение влажности строительных материалов, выявление напряжений в металлах до появления усталостных трещин.

Контроль качества сварки осуществляется радиографическим методом. Пучок излучения проходит через шов и воздействует на пленку с интенсивностью, прямо пропорциональной плотности шва в месте просвечивания. Для оценки качества снимков и определения чувствительности радиографического метода контроля используются пластинчатые эталоны с канавками и провололочные эталоны, которые располагаются в местах просвечивания. Пластинчатые эталоны с канавками используются при просвечивании изделий с ожидаемыми дефектами в виде

газовых пор, включений, раковин. Проволочные эталоны используются при радиографии изделий с ожидаемыми дефектами типа непроваров и микротрещин.

Оценка однородности материалов и выявление в них дефектов осуществляется аналогично дефектоскопии сварных соединений. Дефектные места материала (трещины, раковины, каверны и т. п.) будут меньше ослаблять поток излучения по сравнению с бездефектными участками. Наличие более плотных включений приводит к ослаблению интенсивности излучения. При дефектоскопии неоднородных материалов, в частности бетона, следует иметь в виду, что он по своей структуре неоднороден, поэтому различные дефекты бетона приходится выявлять на фоне его естественной неоднородной структуры, которой обладают различные объемы бетона даже при отсутствии дефектов. В связи с отмеченным, в бетонных конструкциях удастся выявлять такие дефекты, которые в два-три раза более характерного размера крупного заполнителя и составляют 5-8% от толщины просвечиваемой конструкции.

Дефекты бетона в виде трещин выявляются в том случае, если направление просвечивания не отклоняется от направления распространения трещин на угол более 5° . Величина фиксируемого сигнала зависит от ширины и глубины раскрытия трещин. При известной ширине раскрытия поверхностных трещин можно достаточно точно определить глубину их распространения.

Определение плотности строительных материалов в изделиях и конструкциях возможно путем сквозного просвечивания и при одностороннем доступе к конструкции. В первом случае возможны два способа. Один из них заключается в просвечивании толще материала γ узким пучком излучения, для чего используется специальное устройство – коллиматор, с помощью которого достигается соосность источника излучения и детектора.

При одностороннем доступе к конструкции измеряется интенсивность рассеянного излучения. Измерение плотности материала этим способом возможно тогда, когда толщина изделия превышает так называемый слой насыщения для данного материала. При использовании в качестве источника γ -излучения для

тяжелого бетона толщина слоя насыщения равна примерно 25 см. Между источником и детектором располагается разделительный экран. Сигнал от детектора передается на измерительный прибор. При использовании низкоэнергетических источников излучения снижается значение толщины слоя насыщения. При определении плотности бетона в процессе формирования изделий используется специальная аппаратура, в которой сохраняется постоянство расстояния между источником излучения и детектором.

Метод проникающих сред

Этот метод можно разделить на два: метод течеискания и капиллярный метод. Первый из них используется для контроля герметичность резервуаров, газгольдеров, трубопроводов и других подобных сооружений. Методы проникающих сред могут быть использованы для:

1. контроль герметичности соединений;
 - испытание водой (1 атм);
 - проба керосином (мелкая вязкость и поверхностное натяжение керосина);
 - проба сжатым воздухом (4 атм);
 - проба вакуумом;
 - выявление трещин, выходящих на поверхность;
 - Оценка проницаемости материалов.

При испытании водой проверяемые емкости заполняются до отметки, превышающей эксплуатационный уровень. В закрытых сосудах давление жидкости повышается путем дополнительного нагнетания воды или воздуха. Отдельные швы металлоконструкций могут проверяться сильной струей воды из брандспойта, направленной нормально к поверхности шва под давлением около 1 ат. При наличии дефектов вода просачивается сквозь неплотности проверяемого соединения.

Эффективным для выявления трещин является применение керосина. Благодаря малой вязкости и незначительному поверхностному натяжению по сравнению с водой керосин легко проникает через поры и трещины и выступает на

противоположной стороне изделия. Поверхность шва с одной стороны обильно смачивается или опрыскивается керосином, а противоположная - предварительно подбеливается водным раствором мела и высушивается. При наличии трещин на подсохшем светлом фоне отчетливо выявляются ржавые пятна и полосы при просачивании керосина.

Простейший способ, основанный на использовании сжатого воздуха, заключается в обдувании швов с одной стороны сжатым воздухом под давлением 4 ат по направлению, перпендикулярному поверхности. Противоположная поверхность предварительно обмазывается мыльной водой. Образование мыльных пузырей указывает на наличие сквозных трещин.

Эффективным является использование ультразвуковых течеискателей для фиксации ультразвуковых колебаний, которые возникают при истечении воздуха из трещин. С помощью течеискателей можно выявить неплотности размерами до 0,1 мм при избыточном давлении 0,4 ат и установить место нахождения дефекта с точностью до 2 см. При проверке особо ответственных конструкций используют вместо воздуха химические реагенты (воздушно-аммиачная смесь и др.), обладающие высокой проникающей способностью.

Наличие трещин может быть также определено путем создания вакуума (рис. 8.2). Обследуемая конструкция 3 обмазывается мыльной водой и к ней подставляется коробка 4 без дна с прозрачной поверхностью 5. Резиновые уплотнители 1 препятствуют доступу воздуха извне. Коробка подключается к вакуум-насосу 6. Появление мыльных пузырей 2 свидетельствует о наличии трещин. Отмеченный способ удобен тем, что используется при доступе к конструкции лишь с одной стороны.

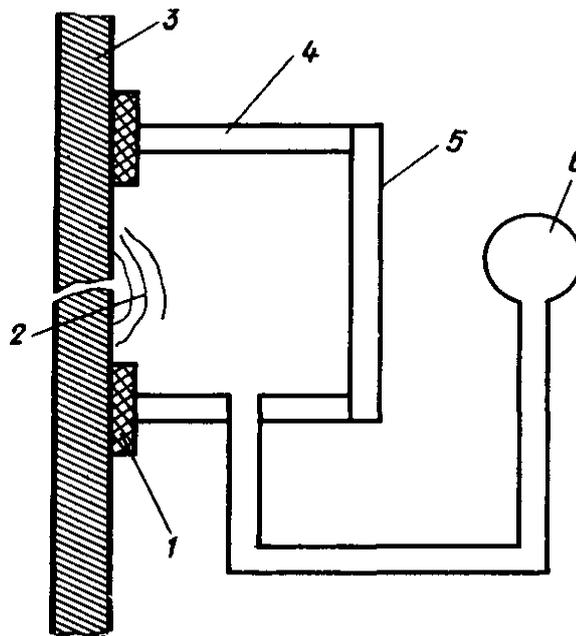


Рисунок 8.2 – Принципиальная схема вакуумной установки

Для выявления трещин, не видимых невооруженным глазом, используется капиллярный метод. Этим методом выявляют дефекты путем образования индикаторных рисунков с высоким оптическим (яркостным и цветовым) контрастом и с шириной линий, превышающей ширину раскрытия дефектов.

При контроле (Рис.8.3, а) на деталь 3 наносят специальную жидкость 1 (индикаторный пенетрант), которая под действием капиллярных сил заполняет полости 2 поверхностных дефектов. Дефекты выявляют, обнаруживая либо жидкость, оставшуюся в их полостях после удаления ее с поверхности, либо скопление частиц порошка, взвешенных в жидкости и отфильтровавшихся на поверхности при заполнении полости дефекта жидкостью (рис.8.3, б). В первом случае оставшуюся в полостях дефектов жидкость (рис. 8.3, в) обнаруживают после нанесения проявителя 4, который поглощает жидкость, образуя индикаторный рисунок 5, а также создает фон, улучшающий видимость рисунка.

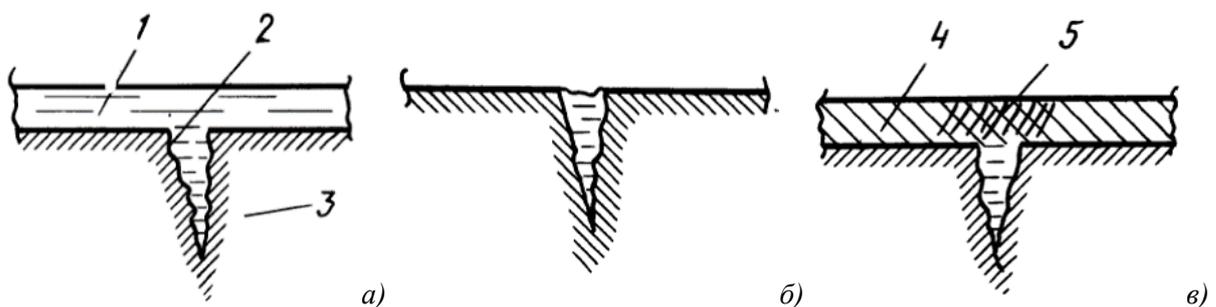


Рисунок 8.3 – Схема контроля капиллярным методом с применением проявителя

Индикаторные рисунки, образующиеся при контроле, либо обладают способностью люминесцировать ультрафиолетовых лучах, либо имеют окраску, вызываемую избирательным поглощением (отражением) части падающих на них световых лучей. Линии индикаторного рисунка имеют ширину 0,05-0,3 мм и яркий контраст 30-60% и более, а также высокий цветовой контраст.

При яркостной капиллярной дефектоскопии в качестве индикаторного пенетранта используется керосин, невязкое масло или их смеси. В качестве проявителя - мел, применяемый в виде сухого порошка, водной суспензии с добавками поверхностно-активных веществ или суспензии на основе органических растворителей. Индикаторный пенетрант просачивается в слой мела и вызывает его потемнение, обнаруживаемое при дневном свете. Этот способ имеет малую чувствительность, но он широко используется для поиска сквозных трещин.



Рисунок 8.4 – Нанесение пенетранта на сварной шов



Рисунок 8.5 – Проявление дефектов в зоне сварного шва

При цветной дефектоскопии применяют индикаторные пенетранты или реактивы, которые после нанесения проявителя образуют индикаторный рисунок, хорошо видимый на белом фоне проявителя.

При люминесцентной дефектоскопии используют проникающий пенетрант, способный люминесцировать под воздействием ультрафиолетовых лучей. Индикаторный рисунок рассматривается на темном фоне, наибольший яркостный и цветовой контраст обеспечивается при белом, красном или оранжевом цветах люминесценции. При люминесцентно-цветовой дефектоскопии индикаторные рисунки не только люминесцируют в ультрафиолетовых лучах, но имеют окраску, вызываемую избирательным поглощением части световых лучей. При использовании фильтрующих частиц индикаторный пенетрант содержит окрашенные или люминесцирующие взвешенные частицы, которые оседают при поглощении пенетранта пористым материалом. В зоне расположения дефекта жидкость поглощается быстрее и в большем объеме, что приводит к большей концентрации взвешенных частиц.

При подготовке поверхностей к дефектоскопии они должны быть тщательно очищены и высушены. При проведении работ необходимо соблюдать соответствующие требования техники безопасности.

Водонепроницаемость бетона

В настоящее время к бетонам, работающим в агрессивных средах, в зависимости от степени ее воздействия предъявляют требования по плотности, которые характеризуются, в том числе, маркой бетона по водонепроницаемости. При этом от непроницаемости бетона зависит скорость проникновения агрессивных сред, т.е. напрямую скорость коррозии.

Стойкость бетона к сопротивлению коррозионному воздействию в значительной мере определяет долговечность выполненных из него изделий и конструкций и, соответственно, срок службы. При этом долговечность является свойство конструкции сохранять свою работоспособность в течении заданного периода времени без перехода в предельное состояние. Следует отметить, что бетон выполняет не только функции несущего конструктивного элемента, но и защитного по отношению к стальному армированию. За предельным состоянием конструкции следует принимать такое состояние, при котором дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустойчивого снижения эффективности, либо неустойчивого ухода заданных параметров за установленные пределы, либо необходимости проведения ремонта.

Оценку коррозионной стойкости целесообразно проводить в тех же условиях, что будет эксплуатироваться конструкция. Но в виду того, что проектный срок эксплуатации может достигать 100 и более лет следует моделировать агрессивные воздействия в ускоренном режиме. При этом важной задачей остается получение достоверных сведений.

В нормативных документах по защите строительных конструкций от коррозии для железобетона марке бетона по водонепроницаемости уделено особое внимание. Данная характеристика является основополагающим (прямым) пока-

зателем проницаемости бетона и, соответственно, характеристикой коррозионной стойкости.

В настоящее время для определения фактической марки бетона по водонепроницаемости используют ГОСТ 12730.5-2018, согласно которому марку по водонепроницаемости обозначают символом «W» с цифровым обозначением давления воды (кгс/см²), которое выдерживает образец без протечки. Водонепроницаемость – это способность бетона не пропускать воду под давлением, которое ступенчато повышают до заданной величины. Марки бетона по водонепроницаемости находятся в диапазоне W2...W20.

Выделяют следующие основные методы испытаний:

- определение водонепроницаемости по мокрому пятну;
- определение водонепроницаемости по коэффициенту фильтрации;
- определение водонепроницаемости по глубине проникновения воды под давлением;
- ускоренный метод по определению воздухопроницаемости.

При этом базовым методом определения водонепроницаемости является метод «по мокрому пятну». Результаты, полученные другими методами можно использовать для оценки марки бетона, т.е. для «примерного» определения этой величины. В то же время в присутствии соотношения различных методов определения водонепроницаемости, кроме метода по воздухопроницаемости, для которого необходимо устанавливать градуировочную зависимость.



Рисунок 8.6 – Прибор для определения водонепроницаемости бетона

Суть метода определения водонепроницаемости по мокрому пятну заключается в том, что к образцам стандартного размера (обычно это цилиндры, диаметром и высотой 150 мм) поэтапно прикладывают давление воды с использованием специальной установки. при выдержке на заданном давлении воды производят контроль торцевой поверхности образцов (противоположной той, где приложено давление воды) на предмет появления следов промокания в виде капель или мокрого пятна.

Водонепроницаемость оценивается давлением воды, при котором не выявлено следов промокания для, минимум, четырех образцов из шести.



Рисунок 8.7 – Прибор для ускоренного определения водонепроницаемости бетона

Испытания по определению марки бетона по водонепроницаемости через определение коэффициента фильтрации производят с использованием специальной установки, позволяющей создавать давление не менее 2 МПа. При этом используют образцы цилиндры, диаметром 150 мм и высотой 30...150 мм. В установке используют специально подготовленную диаэрированную воду. Увеличение давления в установке производят ступенями по 0,2 МПа с выдержкой в течении часа на каждой ступени до давления, при котором проявляются признаки фильтрации в виде капель. Если в явном виде отсутствуют следы намокания – используют силикагель. Профильтрованный объем фиксируют.

Суть метода определения марки бетона по водонепроницаемости через глубину проникновения воды под давлением заключается в задании на поверхность образца давления воды и выдержки в течении заданного времени. Затем образец испытывают на раскалывание по ГОСТ 10180-2012. По разрушенному сечению образца фиксируют максимальную глубину проникновения жидкости с использованием стандартной линейки или штангенциркуля. Влажный бетон, в который

проникла вода, обычно значительно отличается интенсивностью цвета. По полученной глубине проникновения воды определяют фактическую марку бетона по водонепроницаемости.

Оптические методы контроля конструкций.

Оптические методы контроля конструкций отличаются по характеру взаимодействия оптического излучения с контролируемым объектом.

1. Метод собственного оптического излучения (метод собственной эмиссии):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров собственного излучения (эмиссии) объекта контроля.

2. Метод индуцированного оптического излучения; метод индуцированной оптической эмиссии:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения (эмиссии), генерируемого объектом контроля при постороннем воздействии возбуждения. Полное название метода может включать термин, описывающий способ возбуждения, например искровой. Методы собственного и индуцированного оптического излучения носят общее название - оптические эмиссионные методы.

3. Метод прошедшего оптического излучения (трансмиссионный метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, прошедшего сквозь объект контроля.

4. Метод поглощенного оптического излучения (абсорбционный метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров поглощения оптического излучения объектом контроля. В тех случаях, когда величина поглощения определяется по величине интенсивности прошедшего оптического излучения, термины "абсорбционный" и "трансмиссионный" методы эквивалентны.

5. Метод отраженного оптического излучения (рефлектометрический метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации

параметров оптического излучения, отраженного от объекта контроля.

6. Метод рассеянного оптического излучения:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения, рассеянного от объекта контроля. Полное название метода может включать термин, описывающий механизм рассеяния, например метод упругого, неупругого, рэлеевского, комбинационного (рамановского), стоксова, антистоксова рассеяния света. Частным случаем является нефелометрический метод.

7. Метод люминесцентного оптического излучения; люминесцентный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации люминесцентного излучения объекта контроля и на анализе параметров люминесценции. Полное название метода может включать термин, описывающий механизм люминесценции: фотолюминесцентный, флуоресцентный, фосфоресцентный, электролюминесцентный метод. Люминесцентный метод является частным случаем метода рассеянного оптического излучения.

Первичный информативный физический параметр оптических методов контроля

8. Амплитудный метод оптического излучения (энергетический метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации мощности или интенсивности оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля или иных энергетических характеристик: мощности потока, энергии световых импульсов, освещенности поверхности объекта, яркости объекта. Полное название метода может включать термин, конкретизирующий регистрируемую характеристику: яркостный, мощностный.

9. Фазовый метод оптического излучения (фазовый оптически метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации фазовых параметров оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля: разности фаз световых волн, набега фазы или вариации фазы по пространству.

10. Поляризационный метод оптического излучения; поляризационный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации поляризационных характеристик оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля: ориентации линейной поляризации, направления вращения циркулярной поляризации, коэффициента эллиптичности и ориентации осей эллиптически поляризованной волны, параметров Стокса. Частным случаем является эллипсометрический метод.

11. Геометрический метод оптического излучения (угловой метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации направления распространения оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля: разности углов распространения световых волн или угла отклонения световой волны.

12. Спектральный метод оптического излучения (спектральный метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе спектральных характеристик оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля: спектров (сплошных, фрагментированных, дискретных), спектральных величин, характеризующих разные шкалы (длины волны, оптической частоты, энергии световых квантов, разности частот и энергий). Термин "спектральный" может входить в названия других методов неразрушающего контроля, показывая, что соответствующие физические величины относятся к определенным точкам или областям спектра, например спектральный энергетический (спектрофотометрический), спектрополяризационный и т.п. В зависимости от количества длин волн (спектральных полос) название метода может включать указание на это количество: двухволновый, многоволновый, мультиспектральный, гиперспектральный.

13. Временной метод оптического излучения; метод с временным разрешением:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации

временных характеристик оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля: времени прохождения оптического излучения через объект контроля, времени задержки, времени нарастания или спада. Термин "с временным разрешением" может входить в названия других методов неразрушающего контроля, показывая, что соответствующие физические величины регистрируются и анализируются как функции времени, например люминесцентный с временным разрешением.

14. Пространственный метод оптического излучения; метод с пространственным разрешением:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации пространственных характеристик оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля, а также физических характеристик оптического излучения как функции одной, двух или трех координат - соответственно методы с одномерным (1D), двумерным (2D), трехмерным (3D) разрешением. Термин "с пространственным разрешением" может входить в названия других методов неразрушающего контроля, показывая, что соответствующие физические величины регистрируются и анализируются как пространственные распределения, например фазовый с пространственным разрешением, абсорбционный с пространственным разрешением.

Способы получения первичной информации при использовании оптических методов контроля

а) Способ визуального наблюдения объекта контроля

1. Визуальный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на наблюдении и анализе объекта контроля непосредственно глазами оператора без использования оптических устройств и приборов.

2. Визуально-оптический метод (прямой визуально-оптический метод):

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на наблюдении и анализе объекта контроля с помощью оптических устройств и приборов, в ко-

тором имеет место непрерывный ход лучей между глазами оператора и объектом контроля. Визуальный и визуально-оптический методы объединяют общим названием "прямой визуальный контроль".

3. Телевизионный метод; непрямой визуально-оптический метод; непрямой визуальный контроль:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на визуальном анализе изображения контролируемого объекта, регистрируемого оптико-электронными устройствами, средствами фото- и видеотехники.

б) Основное оптическое явление (эффект), сопровождающее взаимодействие оптического излучения с объектом контроля

1. Дифракционный метод оптического излучения; дифракционный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе дифракционной картины, получаемой при взаимодействии когерентного оптического излучения с объектом контроля.

2. Интерференционный метод оптического излучения; интерференционный (интерферометрический) метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе интерференционной картины, получаемой при взаимодействии когерентных волн, опорной и модулированной объектом контроля.

3. Рефракционный (рефрактометрический) метод оптического излучения; рефракционный (рефрактометрический) метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров оптического излучения после его преломления объектом контроля.

4. Фазово-контрастный метод оптического излучения; фазово-контрастный метод:

Метод неразрушающего контроля, основанный на трансформации разности фаз оптического излучения в различие интенсивности и визуализацию или фото-регистрацию этого контраста.

в) Вид зондирующего оптического излучения

1. Когерентный метод оптического излучения; когерентный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на измерении параметров когерентного оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля. Частные случаи: метод спекл-интерферометрии, шерография, метод спекл-структур, лазерные методы.

2. Монохроматический метод оптического излучения; оптический метод монохроматического излучения:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на измерении параметров монохроматического оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

3. Импульсный (импульсно-периодический) метод оптического излучения; импульсный (импульсно-периодический) метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на измерении параметров оптического излучения после воздействия на объект контроля импульсного (импульсно-периодического) оптического излучения.

4. Модуляционный метод оптического излучения; модуляционный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе вариации параметров модулированного оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

г) Способ обработки (преобразования) оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля

1. Метод фильтрации оптического излучения; метод оптической фильтрации; фильтрационный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе изображения объекта контроля с помощью оптического фильтра. В зависимости от типа фильтра может осуществлять функцию либо спектральной фильтрации объекта контроля, либо пространственной (угловой) фильтрации изображения объекта - метод согласованной пространственной фильтрации.

2. Стробоскопический метод оптического излучения; стробоскопический метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации параметров оптического излучения в определенные отдельные интервалы времени после его взаимодействия с объектом контроля.

3. Многоканальный метод оптического излучения; многоканальный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации и сравнении физических характеристик оптического излучения в разных каналах, различающихся своими параметрами, после его взаимодействия с объектом контроля.

4. Дифференциальный метод оптического излучения; дифференциальный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на регистрации различий физических характеристик оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля в разных точках пространства, в разные моменты времени, на разных длинах волн и т.п., либо различий физических характеристик оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля и с контрольным (реперным) образцом - метод разностного оптического изображения.

5. Корреляционный метод оптического излучения; корреляционный метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на корреляционном анализе параметров оптического излучения после его взаимодействия с объектом контроля.

д) Способ воздействия на объект контроля

1. Фотохимический метод оптического излучения; фотохимический метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров фотохимических процессов, возникающих при взаимодействии оптического излучения с объектом контроля.

2. Оптико-акустический (оптоакустический) метод оптического излучения; оптико-акустический (оптоакустический) метод:

Метод оптического неразрушающего контроля, основанный на анализе параметров оптико-акустического (оптоакустического) эффекта, возникающего при взаимодействии оптического излучения с объектом контроля.

3. Электрооптический метод оптического излучения; электрооптический метод:

Поляризационный метод оптического неразрушающего контроля, основанный на дополнительном воздействии на объект контроля внешнего электрического поля.

4. Магнитооптический метод оптического излучения; магнитооптический метод:

Поляризационный метод оптического неразрушающего контроля, основанный на дополнительном воздействии на объект контроля магнитного поля.

5. Магнитооптический метод оптического излучения; магнитооптический метод:

Поляризационный метод оптического неразрушающего контроля, основанный на дополнительном воздействии на объект контроля магнитного поля.

Оптические методы неразрушающего контроля классифицируются по следующим признакам:

- а) характеру взаимодействия оптического излучения с контролируемым объектом;
- б) первичному информативному параметру;
- в) способу получения первичной информации.

В названии метода должны присутствовать классификационные признаки, изложенные выше, характеризующие данный оптический метод контроля.

Допускается применение комбинированных оптических методов контроля, классифицируемых по различным признакам.

Основные положения, область применения, общие требования к средствам контроля, порядку подготовки и проведению контроля, оформлению результатов и требования безопасности для оптических методов определены ГОСТ Р 58399-

2019 «Контроль неразрушающий. Методы оптические. Общие требования».

Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций

Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций основан на дистанционном измерении тепловизором температурного поля на поверхности ограждающих конструкций, между внутренними и наружными сторонами которых существует перепад температуры и визуализации температурных аномалий для определения дефектов в виде областей повышенных теплопотерь, связанных с нарушением теплоизоляции, и областей фильтрации воздуха через ограждающие конструкции.



Рисунок 8.8 – Тепловизор FLUKE Ti-55

Температурное поле поверхности наружных ограждающих конструкций (НОК) - источник информации об особенностях процесса теплопередачи через него; зависит от конструкции и материала объекта, особенностей его функционирования, а также от наличия скрытых и поверхностных дефектов. Дефекты влияют на температурное поле поверхности и проявляются в виде температурных аномалий.



Рисунок 8.9 – Телевизионная съемка окна в лабораторных условиях

Температурные поля поверхностей ограждающих конструкций получают на экране тепловизора и на экранах вспомогательных устройств в виде псевдоцветного или монохромного изображения изотермических поверхностей. Градации цвета или яркости на изображении соответствуют различной температуре. Кроме того, температурные поля и другая сопутствующая измерениям информация записываются в виде термограмм во встроенной памяти тепловизора и/или на внешних съемных носителях.

Тепловизионному контролю подвергают наружные и/или внутренние поверхности ограждающих конструкций (светопрозрачных и несветопрозрачных) отапливаемых зданий и сооружений или их частей.

Тепловизионный контроль ограждающих конструкций подразделяют на два вида.

Первый вид: термографический осмотр. Этот вид контроля выполняют с помощью тепловизора с сохранением или без сохранения термограмм. Осмотр проводят для формирования общей характеристики объекта и предварительного

определения участков с нарушенными теплозащитными свойствами. Осмотр можно проводить для выявления участков, подлежащих дальнейшему термографированию. Осмотр проводят в процессе строительства по этапам проводимых работ, при вводе объекта в эксплуатацию и в процессе его эксплуатации. По результатам термографического осмотра, если не предусмотрено других видов тепловизионного контроля, составляют отчет.

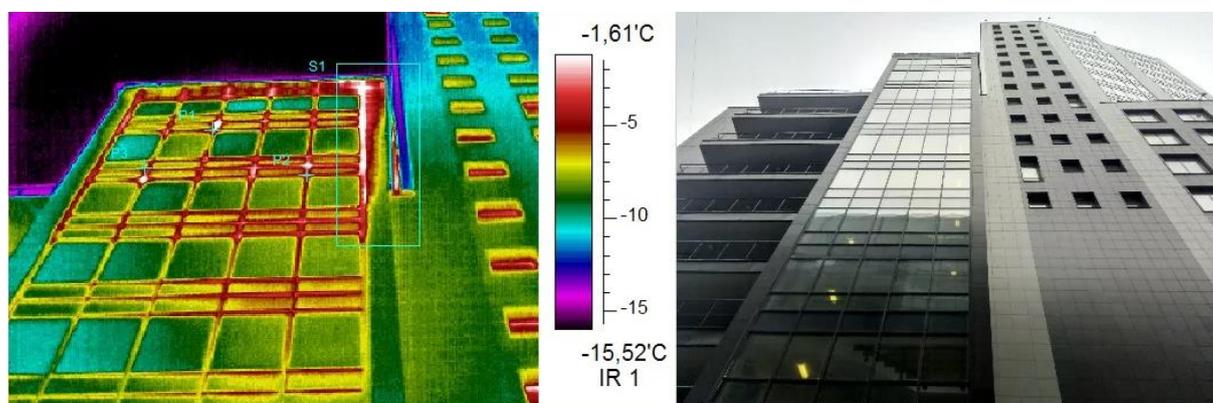


Рисунок 8.10 – Телевизионная съемка фасада здания

Второй вид: термографическое обследование. Данный вид контроля проводят с помощью тепловизора и иного оборудования и материалов согласно 5.2, 5.3. В процессе термографического обследования проводят сохранение термограмм в памяти тепловизора и/или на внешних съемных носителях памяти. По результатам термографического обследования составляют отчет.



Рисунок 8.11 – Телевизионная съемка узлов сопряжения строительных конструкций

По выбору положения тепловизора относительно объекта термографическое обследование разделяют на обзорное и детальное. Обзорное обследование про-

водят из таких положений тепловизора, что в область термограммы попадает элемент конструкции или его часть целиком, например фасад здания или оконный блок, или наружная стена. При детальном термографировании положение тепловизора выбирают таким образом, чтобы детализировать наблюдаемые температурные аномалии, при этом элементы конструкции могут быть отражены на термограмме лишь частично. Обзорное термографирование может быть предварительным этапом детального термографирования в целях локализации зон для его проведения.

Результаты обзорного и детального термографирования в зависимости от поставленных задач подразделяют на качественные и количественные. Качественные результаты термографирования включают в себя выявление дефектов конструкции, при этом расчеты теплотехнических характеристик ограждающих конструкций не проводят. К теплотехническим характеристикам относятся: величины относительного сопротивления теплопередаче, температура внутренней поверхности в расчетных условиях и другие параметры. Количественные результаты термографирования сопровождаются компьютерной обработкой термограмм в целях получения распределения температуры по поверхности объекта, близкого к действительному. Эти результаты могут быть использованы в дальнейших расчетах теплотехнических характеристик ограждающих конструкций. Получение количественных результатов включает в себя определение величин погрешности температуры на термограммах.

Для контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций применяют тепловизоры с параметрами:

- диапазон контролируемых температур, не менее минус 20°C-плюс 40°C;
- предел температурной чувствительности, не более 0,1°C;
- разрешение (число точек) термограммы, не менее 160×120.

Проведение термографического обследования

Перед наружным термографированием при температуре наружного воздуха менее 0°С тепловизор, предварительно распаковав, выдерживают при наружной температуре не менее 30 мин. Тепловизор включают и настраивают в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

Перед каждым термографированием выбирают точку съемки и реперные и базовый участки. При необходимости устанавливают репер температуры воздуха. Реперные участки не должны быть зеркальными, и их коэффициент излучения должен быть не менее 0,85. В случае невыполнения этих требований на поверхность наклеивают клеевую ленту на бумажной основе.

Перед или после термографической съемки с помощью контактного термометра измеряют температуру в выбранных точках на реперных участках. Измерение температуры реперных участков с помощью пирометра не допускается. Измерение температуры поверхности репера температуры воздуха контактным методом не проводят.

Для привязки реперных участков к термограммам объект контроля фотографируют с отмеченными участками и/или наклеивают рядом металлизированную фольгу, изображение которой на термограмме будет выполнять роль контрастного теплового маркера, или отмечают на плане. Проводят термографирование с записью термограммы.

При термографировании внутренних поверхностей ограждающих конструкций регистрируют температуру воздуха в каждом помещении.

При использовании реперов температуры воздуха измерение температуры воздуха проводят с помощью того же контактного термометра, который применяется для измерения температуры поверхностей ограждающих конструкций.

В процессе обследования наружных поверхностей ограждающих конструкций контролируют температуру наружного воздуха с частотой не менее одного раза в 15-30 мин, результаты заносят в отчет.

При обследовании внутренних поверхностей температуру наружного воздуха измеряют не менее двух раз - непосредственно перед и после проведения обследования.

При наружном обследовании измеряют скорость ветра вблизи поверхности ограждающей конструкции.

Если предполагается объединение термограмм для получения панорамных снимков, термографирование проводят с перекрытием не менее 10% каждой соседней термограммы.

Если в процессе обзорного термографирования обнаружены участки с аномальными температурными зонами, рекомендуется проводить дополнительное детальное термографирование этих участков.

Рекомендуется подвергать термографированию поверхности всех угловых стыков ограждающих конструкций (стен, потолка, пола, карнизов, перекрытий, балконов, цоколя, отмостки и др.).

При наружном термографировании с получением количественных результатов, перед началом и после него с помощью тепловизора или пирометра измеряют радиационную температуру неба под разными углами.

Тепловизионное обследование может быть выполнено двумя способами в зависимости от того, будет ли проводиться дальнейшая компьютерная обработка и корректировка термограммы в целях уточнения температурных полей.

Первый способ - обработка термограммы не планируется или отсутствуют технические возможности для ее проведения. При настройке тепловизора задают максимально точные значения параметров, влияющих на методические погрешности: коэффициент излучения обследуемой поверхности и температуру отраженного излучения.

Второй способ - проводится дальнейшая компьютерная обработка термограммы. При настройке тепловизора задают значение коэффициента излучения $\varepsilon=1$. Температуру отраженного излучения задают произвольно, например, равной температуре окружающего воздуха. При использовании этого способа к

каждой термограмме прилагают значения температуры реперных участков (реперная температура), измеренные контактным методом с указанием координаты точек измерения. Данные заносят в отчет.

При выполнении термографирования по первому способу в настройках тепловизора устанавливают значение коэффициента излучения, определенное следующим образом:

- если обследуемая поверхность содержит несколько участков с различными коэффициентами излучения, то коэффициент излучения задают для наиболее практически значимого участка;

- коэффициент излучения задают по справочным значениям для спектрального диапазона длин волн, в котором работает тепловизор, или проводят его измерение, что является более предпочтительным.

Значение температуры отраженного излучения, устанавливаемое в настройках тепловизора, определяют следующим образом:

- при внутреннем термографировании температуру задают равной температуре воздуха в помещении, если она поддерживается близкой к постоянной;

- при наружном термографировании незатененных от неба обследуемых вертикальных поверхностей и при отсутствии окружающих объектов с высокой или низкой температурой температуру отраженного излучения задают равной среднему арифметическому температуры воздуха и радиационной температуры неба;

- при наружном термографировании закрытых от неба обследуемых поверхностей и при отсутствии окружающих объектов с температурой, отличающейся от наружного воздуха более чем на 5°C , температуру отраженного излучения задают равной температуре воздуха;

На обследуемую поверхность устанавливают фольгу или пленку (маркер) с известным коэффициентом излучения не более 0,5. Поверхность маркера не должна быть зеркальной. Проводят измерение температуры маркера контактным способом. Устанавливают в настройках тепловизора значение коэффициента из-

лучения равным известному для маркера и изменением искомого значения температуры отраженного излучения добиваются совпадения отображаемой на тепловизоре температуры маркера и измеренной контактным способом.

Термографирование светопрозрачных конструкций

К светопрозрачным конструкциям относятся окна, балконные двери, витражи, фонари и другие элементы на основе стекла, пропускающие оптическое излучение, а также смежные с ними непрозрачные элементы (переплеты, профили, стоечно-ригельные системы, модульные фасады и др.).

Методики в части тепловизионного контроля светопрозрачных элементов неприменимы к полупрозрачным по отношению к тепловому излучению светопрозрачным конструкциям на основе полиэтилена и поликарбоната.

Цель термографирования светопрозрачных конструкций - локализация зон, через которые происходят инфильтрация и эксфильтрация воздуха, а также определение однородных по температуре зон, в которых могут быть проведены измерения плотности тепловых потоков и сопротивления теплопередаче по ГОСТ 25380 и ГОСТ Р 54853 .

Светопрозрачные конструкции на основе стекла - непрозрачные, но зеркальные по отношению к тепловому излучению. При термографировании на светопрозрачных частях наблюдается отражение сторонних объектов, радиационная температура которых может значительно различаться. Определить, является ли наблюдаемая тепловизором температурная неоднородность следствием отражения, возможно сравнением фотографии и термограммы. Если наблюдаемое на фотографии отражение соответствует по положению неоднородности на термограмме, то полученная температурная неоднородность обусловлена не следствием теплотехнических свойств конструкции, а изменениями температуры отраженного излучения по поверхности. Такие участки термограмм исключают из анализа и обработки. В случае если по большей части светопрозрачных конструкций наблюдаются температурные неоднородности, связанные с изменени-

ями температуры отраженного излучения, то тепловизионное обследование светопрозрачных частей конструкций не проводят.

В целях снижения влияния неоднородности температуры отраженного излучения по 7.3.4 наружное термографирование светопрозрачных частей конструкций рекомендуется проводить в условиях пасмурной погоды. При ясном небе и переменной облачности могут наблюдаться значительные изменения температуры отраженного излучения по поверхности светопрозрачной конструкции.

При наличии температурных неоднородностей, обусловленных изменениями температуры отраженного излучения, светопрозрачные части рекомендуется подвергать термографированию несколько раз из разных точек съемки.

Для определения температуры отраженного излучения на участке светопрозрачной части конструкции рядом с ним наклеивают металлическую фольгу или клеящую ленту на ее основе. За температуру отраженного излучения принимают регистрируемую тепловизором температуру на фольге при заданном значении коэффициента излучения, равном единице.

Подробнее применение телевизионного метода контроля регламентировано в ГОСТ Р 54852-2021 «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

САПР	- Система автоматизированного проектирования
СИ	- Средство измерения
ГОСТ	- Межгосударственный стандарт
ГОСТ Р	- Национальный стандарт Российской Федерации
EN	- Евронормы
СТО	- Стандарт организации
МОВ	- Метод отраженных волн
МПВ	- Метод преломленных волн
ЭДЗ	- Электроконтактное динамическое зондирование грунта
УЗК	-Ультразвуковой контроль
ВИК	-Визуально-инструментальный контроль