МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР

РУКОВОДСТВО
ПО ПРИМЕНЕНИЮ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

ВСН-11-75
МО СССР

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ СССР



РУКОВОДСТВО
ПО ПРИМЕНЕНИЮ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ СООРУЖЕНИЙ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ СССР
МОСКВА — 1977

УДК 620.179

Руководство разработано авторским коллективом сотрудников Военного инженерного Краснознаменного института им. А. Ф. Можайского в составе: А. М. Полищука (научный руководитель), Г. Б. Градобоева, В. С. Денисенко, Г. М. Дубовикова, А. С. Дурасова, С. В. Жукова, В. А. Калашникова, В. Д. Клейнера, В. П. Лукоянова, О. Д. Петрова, Л. М. Слонимского, В. Н. Урсановича и Е. И. Шарашкина

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение 5

ЧАСТЬ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА 9

Глава 1. Назначение и применение неразрушающих методов . . . 11

1.1. Общие положения . . . . . —
1.2. Области применения неразрушающих методов 14

Глава 2. Физические основы неразрушающих методов контроля 15

2.1. Акустические методы . . . . . —
2.2. Радиационные методы 27
2.3. Магнитные методы 42

ЧАСТЬ II. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ 53

Глава 3. Неразрушающие методы контроля качества и испытаний бетонных и железобетонных конструкций 55

3.1. Дефекты бетонных и железобетонных конструкций . . . . —
3.2. Ультразвуковой метод контроля прочности бетона 60
3.3. Склерометрический метод оценки поверхностной прочности бетона 69
3.4. Ультразвуковой метод контроля размеров трещин и обнаружения поверхностных повреждений 77
3.5. Магнитный метод контроля параметров армирования . . . 84
3.6. Радиационный метод контроля параметров армирования . . 85
3.7. Радиационный метод контроля объемной массы и дефектоскопии бетона 92

Глава 4. Неразрушающие методы контроля качества металлических конструкций 114

4.1. Дефекты металлических конструкций . . . . . —
4.2. Ультразвуковой метод контроля сварных швов и коррозионных поражений 118
4.3. Магнитный метод контроля 130
4.4. Радиационный метод контроля сварных швов 148

Стр.

Глава 5. Неразрушающие методы контроля характеристик грунтовых оснований 156

5.1. Контролируемые характеристики грунтовых оснований . . . —
5.2. Методика определения скоростей продольных и поперечных волн и пластовых коэффициентов затухания 157
5.3. Радиационный метод контроля плотности и влажности грунтов 162
5.4. Расчет прочностных и деформативных параметров связных грунтов по результатам геоакустического и радиационного каротажа скважин 169

Литература 174

ВВЕДЕНИЕ

Широкий размах капитального строительства, необходимость обеспечения эксплуатационной пригодности, а также восстановления и ремонта сооружений и технических систем требуют наличия совершенной и оперативной системы управления качеством изделий, конструкций и сооружений.

Современная система управления качеством строительства не может успешно функционировать без объективной информации о фактических свойствах и состоянии объектов на этапах проектирования, возведения и эксплуатации.

Применяемые для получения этой информации в настоящее время методы механических испытаний и визуального контроля (испытание образцов, осмотр в целях выявления внешних дефектов, определение геометрических размеров и т. д.) не позволяют осуществлять контроль материалов, изделий, конструкций и сооружений с необходимой надежностью и полнотой. Кроме того, традиционные методы испытаний и контроля качества оказываются, как правило, непригодными при решении вопросов, связанных с эксплуатацией и ремонтом уже созданных конструкций и сооружений.

Поэтому в последние годы в дополнение к существующим методам успешно разрабатываются и внедряются неразрушающие методы контроля (НМК), основанные на новейших достижениях физики твердого тела, физики полупроводников, ядерной физики, акустики, магнетизма и некоторых других наук. Успешному внедрению НМК способствует также развитие радиоэлектроники, на базе которой возможно создание различных приборов и аппаратуры.

Неразрушающие методы контроля и испытаний могут быть использованы при возведении объемных сооружений наземного, заглубленного и подземного типов, морских портов, плотин, дамб и других сооружений из грунта, при строительстве дорог и аэродромов, при изыскательских работах, при эксплуатации различных объектов Министерства обороны.

Имеющийся опыт применения НМК на объектах Министерства обороны СССР и в народном хозяйстве свидетельствует об их достоинствах, основными из которых являются:

а) возможность определения свойств и состояния материалов и изделий без их повреждения;

б) контроль качества и свойств материалов и изделий не на образцах, а непосредственно в конструкциях; как показывает опыт, свойства материала в образцах и в конструкции могут значительно отличаться, поэтому применение НМК дает более достоверные результаты;

в) возможность контроля таких физико-механических характеристик и параметров, как, например, прочность бетона непосредственно в конструкции, степень уплотнения бетона за металлоизоляцией, величина внутренних напряжений в зоне сварного шва и т. п., которые вообще не могут быть определены классическими методами испытаний;

г) возможность осуществления сплошного (не выборочного) контроля, что позволяет провести всестороннюю оценку конструкции или группы изделий, а в ряде случаев разрешить применение изделий, забракованных при испытаниях обычными методами;

д) высокая оперативность НМК (марка бетона оценивается за 10—15 с, плотность бетона или грунта — за 20—25 с, толщина металла при оценке коррозионных поражений — за 5—10 с); общее время контроля сооружения составляет обычно одну — три рабочие смены;

е) возможность предупреждения брака или его оперативного устранения в ходе технологического процесса, что определяет высокую экономическую эффективность НМК;

ж) оперативность регистрации различного рода дефектов и возможность определения связанного с ними снижения несущей способности конструкций; это позволяет прогнозировать поведение конструкции во время эксплуатации и в ряде случаев предупреждать аварийные ситуации, а также оценивать допустимость повышения эксплуатационных нагрузок;

з) автоматизация процесса контроля качества при массовом производстве;

и) возможность выяснения на месте причин брака и лиц, виновных в его появлении, что оказывает морально-психологическое воздействие на исполнителей.

Внедрение НМК требует определенных материальных затрат, связанных с разработкой и изготовлением аппаратуры, подготовкой квалифицированных кадров и проведением самих испытаний. Однако эти затраты окупаются за счет значительного повышения качества строительных работ.

Несмотря на наличие этих достоинств, НМК по ряду причин (слабая информация об их сущности, возможностях и эффективности, отсутствие необходимой учебно-методической и нормативной документации и др.) недостаточно применяются на объектах Министерства обороны СССР.

При подготовке Руководства авторы, опираясь на практический опыт и результаты исследований, стремились дать конкретные рекомендации по проведению испытаний и контролю качества ме-

таллических, бетонных и железобетонных конструкций, а также грунтовых оснований.

Руководство по неразрушающим методам контроля качества и испытаний материалов, изделий и сооружений разработано в соответствии с требованиями Строительных норм и правил (СНиП), ГОСТ, технических условий, технических правил и других документов. Оно дополняет существующие нормативные документы, а выполнение его положений обеспечивает более строгое соблюдение требований к качеству строительства объектов Министерства обороны СССР.

В Руководстве описываются только методы контроля, узаконенные ГОСТ и прошедшие производственную проверку в войсках и народном хозяйстве.

Учитывая, что измерительная аппаратура снабжается инструкциями по ее эксплуатации, в Руководстве рассматриваются только принципы ее построения, а подробные описания, как правило, не приводятся.

Авторы выражают глубокую благодарность П. П. Свотину, А. Я. Яковлеву, Б. А. Усову и И. А. Романову за поддержку и помощь при внедрении неразрушающих методов испытаний и контроля в войсках, а также Н. М. Бондаренко, О. А. Ионан и Л. Д. Михайловой за большую работу по оформлению рукописи.

Авторы будут признательны читателям за все замечания и предложения, способствующие дальнейшему улучшению данного Руководства.

ЧАСТЬ I

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Глава 1

НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ

1.1. Общие положения

1.1.1. К неразрушающим методам испытаний и контроля относят такие методы получения информации о свойствах и состоянии материалов, конструкций и изделий, после применения которых испытанный объект остается пригодным для использования по прямому назначению.

1.1.2. Неразрушающие методы испытаний и контроля качества материалов, конструкций, изделий и сооружений служат для оценки физико-механических свойств материалов (прочности, упругости, плотности и т. д.) и напряженно-деформированного состояния конструкций, обнаружения дефектов, оценки влияния различного рода повреждений и контроля выполнения требований проекта, СНиП, технических правил, технических условий и других нормативных документов.

1.1.3. Неразрушающие методы испытаний и контроля качества применяют на стадии изысканий, экспериментальных исследований, строительства, монтажа и эксплуатации конструкций и сооружений.

1.1.4. Объем применения неразрушающих методов определяется требованиями проекта, паспортами на изделие, маршрутными паспортами и специальными указаниями заказчика.

1.1.5. Предельные значения характеристик дефектов и отклонений от проекта определяются требованиями проекта, паспортом на изделие, маршрутным паспортом и техническими условиями на данное изделие, конструкцию или сооружение. При отсутствии таких требований предельные величины допустимых дефектов и отклонений от проекта должны соответствовать значениям, приведенным в разд. 3.1, 4.1 и 5.1 настоящего Руководства.

1.1.6. Перечень всех дефектов и отклонений от проекта, обнаруженных неразрушающими методами при строительстве ответственных или головных объектов, следует направлять в адрес проектной организации и заказчика.

1.1.7. Контроль за соблюдением требований Руководства возлагается на заказчика; к контролю за правильностью применения

неразрушающих методов и к анализу полученных результатов измерений допускаются инспекторы технического надзора, прошедшие специальную подготовку и имеющие документы на право контроля неразрушающими методами.



Рис. 1.1. Общий вид подвижной комплексной лаборатории (ПКЛ)

1.1.8. Неразрушающие методы испытаний и контроля носят косвенный характер. В процессе испытаний непосредственно измеряются параметры, которые функционально или корреляционно связаны со свойствами (прочность, упругость, плотность и т. д.) и состоянием (напряжение, деформация и т. д.) контролируемого объекта.

Для правильного перехода от измеренных «неразрушающих» параметров к искомым характеристикам контролируемых объектов и получения достоверных результатов контроля используют тарировочные («привязочные») измерения, т. е. настройку измерительной аппаратуры на образцах с известными и по возможности близкими к контролируемому объекту свойствами.

1.1.9. Для проведения неразрушающих испытаний и контроля используют стационарные или мобильные системы контроля.

1.1.10. Стационарная система, позволяющая вести контроль в течение длительного времени, состоит из датчиков, постоянно установленных на контролируемых элементах конструкции, и измерительной аппаратуры, смонтированной внутри контролируемого объекта или на некотором удалении от него.

Для ускорения обработки данных измерительная аппаратура может быть соединена с вычислительной машиной.

Стационарными системами оборудуются уникальные сооружения или ответственные объекты, сведения об эксплуатационной пригодности которых могут потребоваться в любой момент времени.

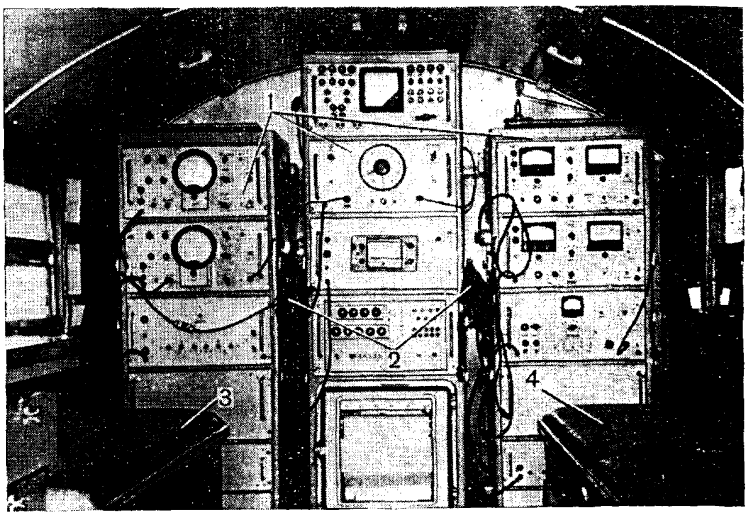


Рис. 1.2. Размещение оборудования ПКЛ:

1 — стойки с аппаратурой; *2* — шлемофоны для связи с операторами, работающими с датчиками; *3* — кабельный отсек; *4* — отсек для измерительных приборов и расходных материалов

1.1.11. Для контроля конструкций и сооружений, не оснащенных стационарными системами, используется мобильная система контроля, представляющая собой или переносной прибор, или совокупность приборов различного назначения, или подвижный комплекс с аппаратурой.

Датчики этих приборов (аппаратуры) устанавливаются в рабочее положение на контролируемой конструкции или сооружении только на период измерений.

1.1.12. Для всесторонней оценки свойств и состояния конструкции или сооружения необходимо применять комплекс методов и средств неразрушающих испытаний и контроля.

1.1.13. Для обеспечения высокой производительности контроля, надежности и удобства эксплуатации аппаратуры комплекс средств неразрушающих испытаний размещен в специальном автомобиле, при этом датчики, устанавливаемые в точках измерений, соединены с измерительной аппаратурой кабелями, длина которых достаточна для передачи информации от объекта к машине-лаборатории. Переговорное устройство обеспечивает связь между

операторами, работающими с датчиками в сооружении и регистрирующими показания приборов в машине. Автомобиль снабжен необходимыми запасными частями и расходными материалами.

Такая подвижная комплексная лаборатория (рис. 1.1 и 1.2) позволяет оперативно осуществлять всесторонний контроль различных сооружений в любом районе страны.

1.2. Области применения неразрушающих методов

1.2.1. Неразрушающие методы контроля и испытаний применяют для оценки качества металлических, бетонных, железобетонных конструкций, асфальтобетонных покрытий и грунтовых оснований.

1.2.2. При контроле качества металлических конструкций неразрушающие методы позволяют:

— контролировать качество сварных соединений;

— оценивать сварочные остаточные напряжения;

— оценивать квалификацию сварщиков;

— обнаруживать дефекты в отливках, поковках и в прокатных элементах;

— контролировать коррозионные поражения, толщину и качество антикоррозионных покрытий.

1.2.3. При контроле качества бетонных и железобетонных конструкций и асфальтобетонных покрытий неразрушающие методы дают возможность:

— оценивать марку (прочность) бетона;

— определять модуль упругости;

— обнаруживать дефекты;

— контролировать объемную массу (плотность);

— оценивать размеры трещин, толщину слоя поверхностных поражений при замораживании, выветривании или воздействии агрессивных сред;

— контролировать процесс твердения и уплотнения;

— определять толщину защитного слоя бетона, диаметр, класс и положение арматуры.

1.2.4. При контроле грунтов и грунтовых оснований неразрушающие методы обеспечивают:

— оценку прочностных и деформативных характеристик;

— контроль объемной массы (плотности) и степени уплотнения;

— оценку скоростей распространения волн;

— контроль влажности.

Глава 2

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

2.1. Акустические методы

2.1.1. Акустические методы неразрушающего контроля основаны на регистрации параметров упругих колебаний, возбуждаемых в контролируемом объекте, и в зависимости от схемы контроля и используемой аппаратуры классифицируются ГОСТ 18353—73 «Контроль неразрушающий. Классификация методов».

Наиболее широко применяемые методы контроля бетонных, железобетонных и металлических конструкций приведены в табл. 2.1.

2.1.2. Основными областями применения акустических ультразвуковых методов при контроле бетонных и железобетонных конструкций являются:

— контроль прочности и модуля упругости;
— обнаружение трещин и дефектов;
— оценка поверхностных повреждений;
— контроль процесса твердения;
— контроль однородности бетона.

2.1.3. При контроле металлических конструкций акустические ультразвуковые методы позволяют оценивать:

— качество сварных соединений;
— толщину металла при одностороннем доступе;
— наличие коррозионных поражений;
— структуру стали.

2.1.4. В основе акустических ультразвуковых методов контроля лежит зондирование материала ультразвуковым излучением с частотой 20—5000 кГц (рис. 2.1) с использованием таких явлений, как прохождение ультразвуковых колебаний (УЗК) через исследуемый объект, их отражение и затухание.

2.1.5. При возбуждении колебаний в твердых телах формируются три типа волн: продольные, поперечные и поверхностные (рис. 2.2).

2.1.6. Продольные волны характеризуются тем, что направление колебаний частиц совпадает с направлением движения волны, а скорость их распространения в материалах зависит от геометрических размеров изделия и физико-механических свойств

Таблица 2.1

Классификация акустических методов неразрушающего контроля (шифр 01)

Характер излучений, взаимодействующих с объектом контроля		Характер взаимодействия излучения с объектом контроля		Первичный информатор		Способ индикации первичной информации		Способ представления окончательной информации	
шифр	метод	шифр	метод	шифр	метод	шифр	метод	шифр	метод
01	Упругий ультразвуковой	01	Прошедшего излучения (теневой)	01	Амплитудный	01	Пьезоэлектрический	05	Электронно-лучевой
		02	Отраженного или рассеянного излучения (эхометод)	02	Фазовый			06	Метрический
				03	Временной				
				04	Спектральный				

материала. В случае отсутствия дефектов скорость продольной волны:

$$C_l = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ (в стержнях);} \qquad (2.1)$$

$$C_l = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\mu^2)}} \text{ (в плитах);} \qquad (2.2)$$

$$C_l = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \text{ (в неограниченной среде),} \qquad (2.3)$$

где E — модуль упругости материала;
μ — коэффициент поперечной деформации;
ρ — объемная масса (плотность).

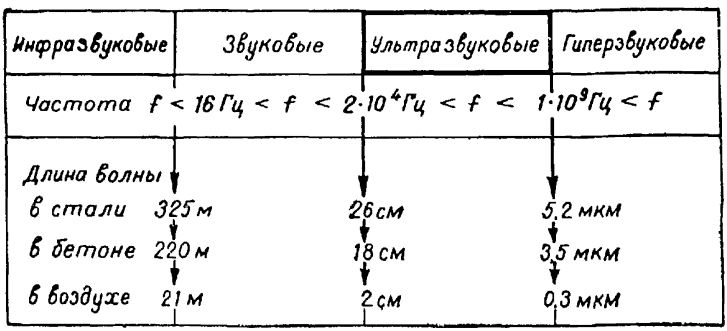


Рис. 2.1. Классификация акустических волн по частоте

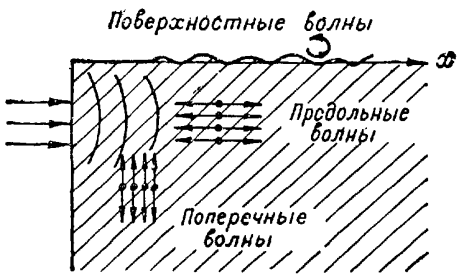


Рис. 2.2. Основные типы волн

2.1.7. Поперечные волны характеризуются тем, что частицы материала совершают колебания поперек направления движения

волны (рис. 2.2), а скорость их распространения в материале, не имеющем нарушений сплошности,

$$C_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}}, \qquad (2.4)$$

где G — модуль сдвига.

Ориентировочные значения скоростей продольных и поперечных волн для некоторых материалов приведены в табл. 2.2 (неограниченная среда).

Таблица 2.2

Скорости распространения продольных и поперечных волн

Материал	Скорость распространения волны, м/с	
	продольной	поперечной
Сталь	5850	3080
Бетон тяжелый	2000—5500	1300—3500
Вода	1490	0
Оргстекло	2670	1120
Воздух	330	0

2.1.8. Поверхностные волны характеризуются более сложным движением частиц в двух направлениях (рис. 2.2) и практически при контроле строительных изделий и конструкций не применяются. Скорость поверхностных волн составляет примерно 90% от скорости поперечных волн.

2.1.9. Между скоростью распространения упругих волн, периодом колебаний, частотой и длиной волны существует соотношение

$$C = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f, \qquad (2.5)$$

где λ — длина волны;

$T = \frac{1}{f}$ — период колебаний;

f — частота.

2.1.10. При контроле бетонных и железобетонных изделий наибольшее применение находят продольные волны с частотой 20—300 кГц, при контроле металлических изделий — продольные и поперечные волны с частотой 800—5000 кГц.

2.1.11. В зависимости от соотношения длины волны и размеров излучателя УЗК волны могут распространяться в виде сферы или узкого пучка (рис. 2.3). Половина угла раствора конуса, в котором сосредоточена почти вся ультразвуковая энергия, определяется из соотношения

$$\sin\Theta = 1{,}22\,\frac{\lambda}{d} = 1{,}22\,\frac{C}{fd}. \qquad (2.6)$$

Фокусирование ультразвуковых волн ($\sin\Theta \ll 1$) возможно только при контроле металлических изделий, так как в этом случае выполняется условие

$$\lambda = \frac{c}{f} \ll d. \tag{2.7}$$

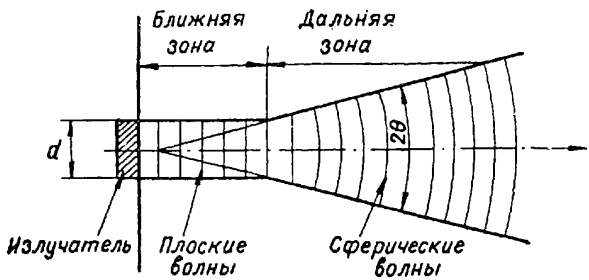


Рис. 2.3. Распространение ультразвуковых волн

2.1.12. В процессе распространения ультразвуковых волн в результате рассеяния и поглощения амплитуда УЗК уменьшается по закону

$$a = a_0 e^{-\delta r}, \tag{2.8}$$

где a_0 — амплитуда колебаний на входе в материал;
a — амплитуда на расстоянии r от точки входа УЗК;
r — расстояние;
δ — коэффициент затухания.

2.1.13. Наибольшее затухание возникает в том случае, когда длина волны соизмерима с размерами кристаллов, различных включений и неоднородностей. В связи с этим при ультразвуковом контроле металлов применяют длины волн более 1 мм, при контроле бетонов — более 10 мм, что соответствует предельной частоте 5000 и 300 кГц.

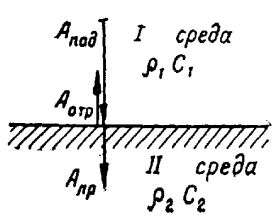


Рис. 2.4. Отражение ультразвуковых волн

2.1.14. Ультразвуковые волны при переходе из одной среды в другую (например, из излучателя в металл) отражаются и преломляются по законам волновой оптики, что широко используется в ультразвуковой дефектоскопии металлических конструкций.

2.1.15. При нормальном падении на границу раздела двух сред (рис. 2.4) амплитуда отраженной волны

$$A^2_{отр} = A^2_{пад}\left(\frac{\rho_1 C_1 - \rho_2 C_2}{\rho_1 C_1 + \rho_2 C_2}\right) = A^2_{пад} \cdot K, \tag{2.9}$$

где $A_{отр}$ — амплитуда отраженной волны;

$A_{пад}$ — амплитуда падающей волны;

ρ_1 и ρ_2 — плотности материала первой и второй сред;

C_1 и C_2 — скорости ультразвука в первой и второй средах;

K — коэффициент отражения.

Произведение ρC называется акустическим сопротивлением среды.

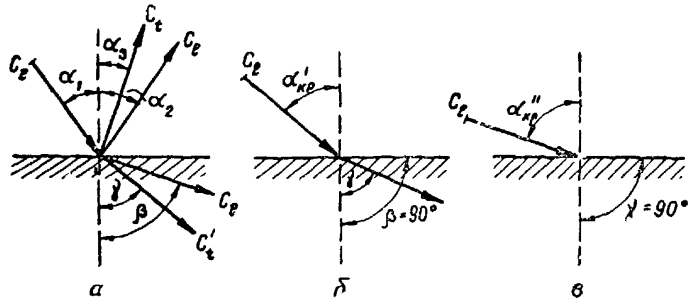


Рис. 2.5. Преломление ультразвуковых волн:

а — угол падения $\alpha_1 < \alpha'_{кр}$; *б* — $\alpha_1 = \alpha'_{кр}$; *в* — $\alpha_1 = \alpha''_{кр}$

2.1.16. Если акустические сопротивления обеих сред равны ($\rho_1 C_1 = \rho_2 C_2$), то отражения не происходит, и волна полностью переходит во вторую среду ($K=0$). Если акустические сопротивления сильно отличаются друг от друга ($\rho_1 C_1 \gg \rho_2 C_2$), происходит полное отражение, и ультразвуковая волна во вторую среду не проходит. Это явление лежит в основе ультразвукового эхо-метода дефектоскопии и контроля коррозионных поражений металлических конструкций (разд. 4.2). Значения коэффициента отражения приведены в табл. 2.3, из которой следует, что, например, на границе воздух — металл происходит полное отражение ультразвуковых волн.

Таблица 2.3

Коэффициент отражения K в %

Материал	Сталь	Бетон	Гранит	Вода	Воздух
Сталь	0	50	46	86	100
Бетон	50	0	3	40	100
Гранит	46	3	0	55	100
Вода	86	40	55	0	100
Воздух	100	100	100	100	0

2.1.17. При наклонном падении продольной волны на границу раздела двух сред образуются четыре волны (рис. 2.5):

C_l — падающая и отраженная продольная волна в первой среде;
C_t — отраженная поперечная волна в первой среде;
C_l' — преломленная продольная волна во второй среде;
C_t' — преломленная поперечная волна во второй среде.

Взаимосвязь между скоростями и углами падения, отражения и преломления определяется уравнением

$$\frac{C_l'}{\sin\beta} = \frac{C_t'}{\sin\gamma} = \frac{C_l}{\sin\alpha_1} = \frac{C_t}{\sin\alpha_3}. \qquad (2.10)$$

2.1.18. В ультразвуковой дефектоскопии сварных швов применяется в основном преломленная поперечная волна (рис. 2.5, *а*), что достигается при условии

$$\alpha_{кр}' < \alpha_1 < \alpha_{кр}'',$$

где $\alpha_{кр}'$ и $\alpha_{кр}''$ — первый и второй критические углы, определяемые как

$$\sin\alpha_{кр}' = \frac{C_l}{C_l'}; \quad \sin\alpha_{кр}'' = \frac{C_l}{C_t'}. \qquad (2.11)$$

При переходе ультразвуковой волны из излучателя, изготовленного из органического стекла, в сталь эти углы составляют примерно 30 и 50°. При увеличении угла падения сверх второго критического ультразвуковые волны не проникают в контролируемое изделие.

2.1.19. В основу всех ультразвуковых приборов для контроля металлических, бетонных, железобетонных конструкций и грунтов положена электронная схема измерений малых промежутков времени между посылкой зондирующего импульса и его приемом.

2.1.20. Структурная схема ультразвукового прибора для контроля бетона показана на рис. 2.6.

2.1.21. Прибор работает следующим образом. Задающий генератор вырабатывает импульсы для запуска генератора импульсов УЗК и блока развертки и синхронизируется частотой сети 50 Гц. Генератор импульсов УЗК вырабатывает импульсы с амплитудой порядка 300 В для возбуждения излучающего преобразователя. Усилитель обеспечивает усиление сигнала с приемника УЗК и подает их на автоматический сигнализатор времени распространения УЗК (АСВР) и на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Автоматический сигнализатор времени распространения УЗК предназначен для автоматической индикации момента отсчета времени распространения УЗК.

Синхронно с запуском генератора импульсов запускается блок развертки, который вырабатывает импульсы напряжения пилообразной формы и подает их на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ.

Начало развертки является исходной точкой для измерения времени распространения УЗК в контролируемом изделии. Принцип измерения времени заключается в том, что с помощью генератора блока развертки передний фронт сигнала, прошедшего через изделие, совмещается с началом линии развертки, и по лимбу определяется время распространения УЗК в микросекундах.

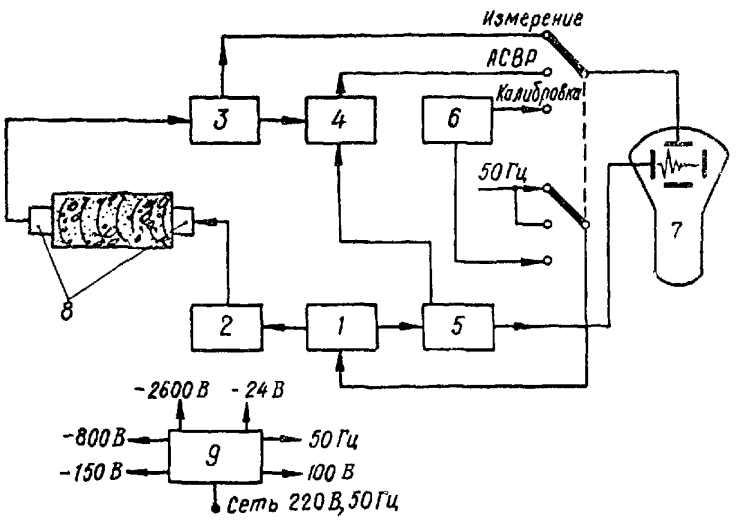


Рис. 2.6. Структурная схема ультразвукового прибора для контроля бетона:

1 — задающий генератор; *2* — генератор импульсов УЗК; *3* — усилитель; *4* — автоматический сигнализатор времени распространения УЗК (АСВР); *5* — блок развертки; *6* — генератор меток времени; *7* — электронно-лучевая трубка; *8* — излучающий и приемный преобразователи; *9* — блок питания

Генератор калибровочных меток времени вырабатывает метки с длительностью 10, 50 и 250 мкс, которые используются для калибровки шкал отсчетов времени распространения УЗК в режиме «Калибровка».

Осциллоскопический индикатор (ЭЛТ) предназначен для визуального наблюдения преобразованных импульсов УЗК, определения момента отсчета времени распространения и измерения амплитуд принятых сигналов.

Излучающий и приемный пьезопреобразователи служат для преобразования электрических импульсов в упругие механические колебания ультразвуковой частоты, ввода этих колебаний в исследуемую конструкцию, последующего приема УЗК, прошедших через изделие, и обратного преобразования механических упругих колебаний в электрические сигналы. Конструкция излучающего и приемного пьезопреобразователей одинакова, и каждый из них может выполнять функции как излучателя, так и приемника.

Внешний вид прибора УКБ-1М для контроля бетона показан на рис. 2.7. Он комплектуется пьезопреобразователями на 25, 60, 100 и 150 кГц. В качестве пьезоэлемента используются пакеты

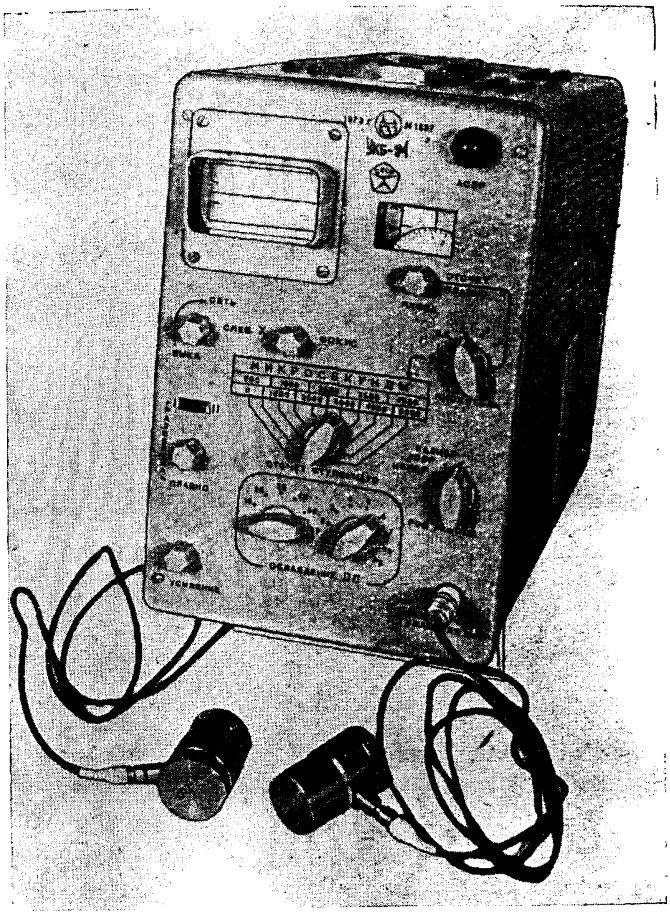


Рис. 2.7. Прибор УКБ-1М

сегнетовой соли и пьезокерамика ЦТС (цирконат-титанат свинца).

2.1.22. Структурная схема прибора для ультразвукового контроля металлических конструкций показана на рис. 2.8.

2.1.23. Прибор работает следующим образом. Синхронизатор-мультивибратор выдает импульсы, которые запускают генератор радиоимпульсов и генератор основной развертки. Генератор радиоимпульсов генерирует кратковременные импульсы ультразвуковых электрических колебаний для возбуждения пьезоэлектрического преобразователя, преобразующего ультразвуковые электрические

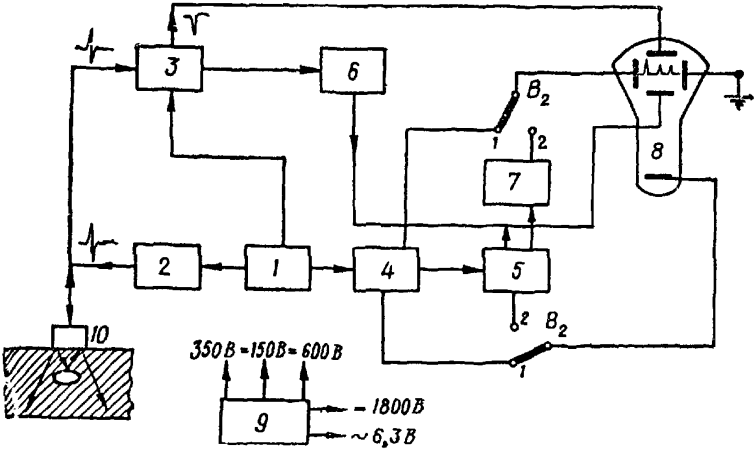


Рис. 2.8. Структурная схема ультразвукового прибора для контроля металла:
1 — задающий генератор; *2* — генератор радиоимпульсов; *3* — усилитель; *4* — генератор основной развертки; *5* — глубиномерное устройство; *6* — автоматический сигнализатор дефектов (АСД); *7* — генератор задержанной развертки; *8* — электронно-лучевая трубка; *9* — блок питания; *10* — пьезоэлектрические преобразователи

колебания в механические (упругие). Эти колебания при соприкосновении пьезопреобразователя с поверхностью контролируемого изделия распространяются в нем (через слой контактной смазки) узким пучком. Дойдя до дефекта или дна изделия, УЗК отражаются от них. Часть отраженной энергии импульсов УЗК попадает обратно в пьезоэлектрический преобразователь, когда он находится в состоянии покоя, возбуждает его и преобразуется в электрические колебания, которые затем поступают в усилитель.

Отраженные сигналы вызывают вертикальное перемещение электронного луча в осциллоскопическом индикаторе и при наличии дефектов и включенном автоматическом сигнализаторе дефектов (АСД) зажигают сигнальную лампу.

Синхронно с запуском генератора радиоимпульсов срабатывает генератор основной развертки, который вырабатывает электрические импульсы пилообразного напряжения и выдает их на горизонтально отклоняющие пластины осциллоскопического индикатора. Пилообразное напряжение вызывает горизонтальное перемещение луча, чем формирует осциллоскопическую картину на экра-

не ЭЛТ с посылаемым (зондирующим) и отраженными от дефектов и дна сигналами (эхо-сигналы).

Глубиномерное устройство вырабатывает прямоугольный импульс — метку глубиномера. Измеряя с помощью метки время от

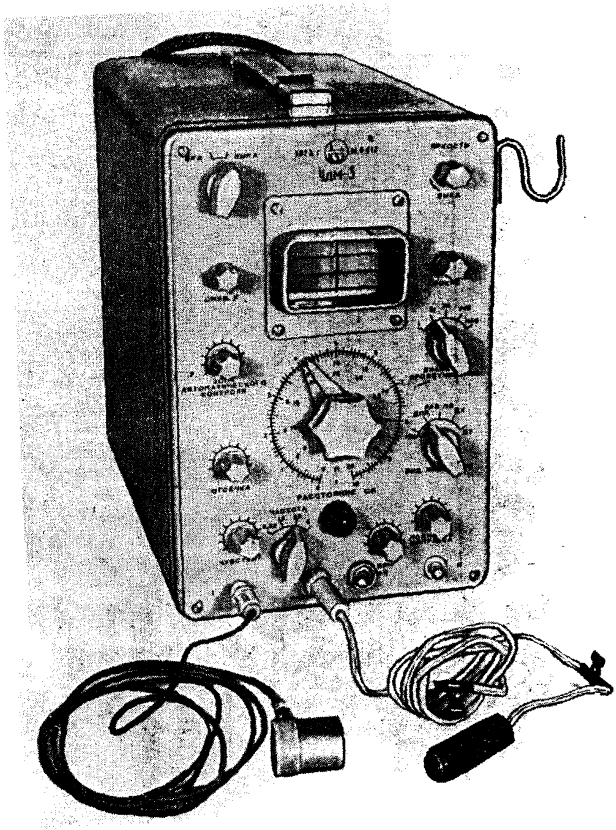


Рис. 2.9. Прибор УДМ-3

посылки зондирующего импульса до момента появления эхо-сигнала (путем перемещения метки по экрану ЭЛТ до захвата эхосигнала), можно определить расстояние до дефекта или дна изделия.

Автоматический сигнализатор дефектов (АСД) представляет собой релейную схему, включающую сигнальную лампу при захвате меткой глубиномера отраженного эхо-сигнала.

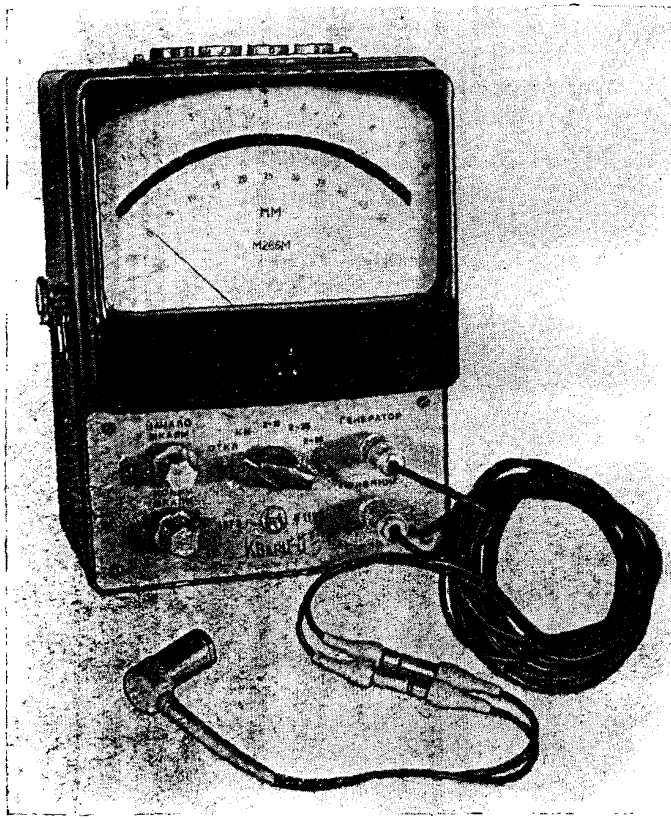


Рис. 2.10. Прибор «Кварц-6»

Генератор задержанной развертки («электронная лупа») плавно изменяет время горизонтальной развертки луча и в результате этого позволяет оператору просмотреть в увеличенном масштабе любой участок контролируемого изделия.

Осциллоскопический индикатор (ЭЛТ) служит для визуального наблюдения эхо-сигналов и определения расстояния до них.

Блок питания предназначен для питания всех блоков прибора.

Внешний вид прибора УДМ-3 для ультразвукового контроля металлов и полимеров показан на рис. 2.9, а прибора «Кварц-6» для контроля толщины металла — на рис. 2.10.

2.2. Радиационные методы

2.2.1. Способы исследования строительных материалов и конструкций, основанные на использовании ионизирующих излучений, относят к группе физических неразрушающих методов контроля, которые позволяют проводить измерения как непосредственно в конструкциях и сооружениях, так и на образцах материалов. Эти измерения могут выполняться в ходе технологического процесса в целях его корректировки, а также на готовых изделиях для определения фактических значений тех или иных параметров конструкций.

2.2.2. Радиационные методы позволяют контролировать такие физические и химические характеристики вещества, как объемный вес (плотность), толщину, химический состав, соотношение компонентов в их смеси, уровень жидкости или сыпучего материала в закрытом объеме, взаимное перемещение объектов и скорость этого перемещения, а также осуществлять дефектоскопию материалов и изделий.

2.2.3. Принцип действия всех приборов, основанных на использовании ионизирующих излучений, состоит в следующем. Вокруг источника излучения, находящегося в какой-либо среде, создается некоторое радиационное поле, характеристики которого зависят как от параметров источника излучения (геометрия, вид излучения, энергетический спектр и т. д.), так и от свойств среды (плотность, толщина, химический состав и т. п.).

Если параметры источника излучения и закономерности взаимодействия излучения со средой известны, то, измерив характеристики радиационного поля, можно вычислить значения величин, определяющих контролируемое свойство вещества, или установить факт наличия (отсутствия) дефектов.

В большинстве случаев вычисления заменяют калибровкой прибора, т. е. установкой его шкалы при измерениях на средах с известными свойствами.

2.2.4. В соответствии с ГОСТ 18353—73 «Контроль неразрушающий. Классификация методов», устанавливающим классификацию методов неразрушающего контроля сырья, полуфабрикатов и изделий, каждый из десяти неразрушающих видов контроля классифицируется:

— по характеру физических полей и излучений;

— по характеру взаимодействия физических полей или веществ с контролируемым объектом;

— по первичным информативным параметрам;

— по способам индикации первичной информации;

— по способам представления окончательной информации.

2.2.5. Классификация радиационных методов неразрушающего контроля (шифр 05) приведена в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Классификация радиационных методов неразрушающего контроля (шифр 05)

Характер физических полей		Характер взаимодействия физических полей		Первичный информативный параметр		Способ индикации первичной информации		Способ представления окончательной информации	
шифр	метод	шифр	метод	шифр	метод	шифр	метод	шифр	метод
01	Рентгеновский	01	Прошедшего излучения (теневой)	01	Интенсивности излучения	01	Сцинтилляционный	01	Радиоскопический
02	Гамма	02	Отраженного излучения	02	Плотности потока ионизирующих частиц	02	Ионизационный	02	Радиографический
03	Бета	03	Рассеянного излучения	03	Топографический	03	Полупроводниковый	03	Радиометрический
04	Нейтронный	04	Активационного анализа	04	Спектральный	04	Вторичных электронов		
05	Позитронный	05	Характеристического излучения						

Каждый конкретный метод неразрушающего контроля может быть представлен в шестиразрядном коде (каждый разряд обозначается двумя цифрами), где первые две цифры означают шифр вида неразрушающего контроля, а каждые две последующие — классификационные признаки согласно табл. 2.4.

2.2.6. В качестве физических полей при контроле строительных материалов и конструкций используются поля рентгеновского, гамма- и нейтронного излучений (шифры 01, 02 и 04 соответственно).

2.2.7. По второму классификационному признаку, как правило, используют методы прошедшего (теневой) и рассеянного излучений (шифры 01 и 03).

2.2.8. В качестве первичного информационного параметра, т. е. измеряемых характеристик радиационного поля, используют:

— плотность потока ионизирующих частиц (квантов) — число частиц (квантов) любой энергии, попадающих в единицу времени на единицу поверхности, расположенной нормально к направлению распространения частиц (квантов); измеряется в $с^{-1} \cdot м^{-2}$;

— интенсивность излучения — полная энергия, переносимая квантами (частицами) через такую же площадку в единицу времени; измеряется в $Вт \cdot м^{-2}$.

Если гамма-излучение моноэнергетично, т. е. состоит из квантов одной энергии E, то интенсивность I и плотность потока n связаны уравнением

$$I = nE, \tag{2.12}$$

а для немоноэнергетичного излучения

$$I = n_1E_1 + n_2E_2 + \ldots + n_кE_к, \tag{2.13}$$

где n_i — число квантов с энергией E_i, падающих в 1 с на площадку в 1 $м^2$.

2.2.9. Способ индикации первичной информации определяет тип детектора излучения, используемого в процессе контроля. Наиболее часто при контроле строительных материалов и конструкций используются сцинтилляционный и ионизационный методы, а также метод вторичных электронов (шифры 01, 02 и 04).

2.2.10. Радиоскопический метод (шифр 01) представления окончательной информации, т. е. метод, использующий флуоресцирующий экран или электронно-оптические преобразователи, оптические усилители и телевизионные системы, имеет при контроле строительных конструкций ограниченное применение.

Основными методами представления окончательной информации являются радиографический (шифр 02), основанный на представлении информации в виде фиксированного видимого изображения, и радиометрический (шифр 03), основанный на представлении информации об излучении в цифровом, стрелочном или аналоговом видах.

2.2.11. Устройство для радиационного неразрушающего контроля включает:

— источник излучения, создающий радиационное поле;

— детектор (приемник) излучения, преобразующий энергию излучения в другой вид энергии, удобный для регистрации и последующей обработки;

— электронную схему, обрабатывающую сигналы детектора;

— индикатор.

2.2.12. Рентгеновское и гамма-излучение имеют одинаковую физическую природу — это электромагнитные колебания с малой длиной волны. Принципиальное отличие между ними заключается в том, что первое возникает при электронных переходах и при торможении быстрых электронов электронными оболочками атомов, а второе — при ядерных переходах.

2.2.13. Источниками рентгеновского излучения являются рентгеновские трубки и ускорители электронов, например, бетатроны. Ускоренные до определенной энергии электроны тормозятся на мишени трубки или ускорителя, при этом некоторая часть их энергии идет на образование рентгеновского излучения, имеющего непрерывный энергетический спектр.

Рентгеновские аппараты характеризуются максимальным напряжением, определяющим энергетический спектр излучения, и максимальным током трубки, от которого зависит интенсивность излучения, а бетатроны — максимальной энергией ускоренных электронов и максимальной мощностью дозы излучения, создаваемой на расстоянии 1 м от мишени ускорителя.

Технические характеристики некоторых рентгеновских аппаратов и бетатронов, выпускаемых промышленностью, приведены в табл. 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5

Основные характеристики рентгеновских аппаратов

Характеристика	Тип аппарата			
	РУП-120-5-1	РУП-200-5-1	РУП-400-5-1	РИНА-1Д
Напряжение на аноде трубки, кВ	50—120	70—200	250—400	200
Максимальный ток, мА	5	5	5	—
Длительность экспозиции, мин	<15	<15	<30	Импульсный
Напряжение питания, В	220/380	220/380	220/380	220
Потребляемая мощность, кВ·А	2	3	4	0,4
Масса аппарата, кг	75	112	600	11
Толщина просвечиваемого слоя, мм:				
бетона	До 60	До 170	120—350	До 60
стали	1—20	2—40	10—60	До 20

Таблица 2.6

Основные характеристики бетатронов

Характеристика	Тип бетатрона			
	ПМБ-3	ПМБ-6	Б-15	Б-30
Максимальная энергия тормозного излучения, МэВ	3	6	15	30
Пределы плавной регулировки энергии, МэВ	1—3	3—6	3—15	5—30
Мощность дозы излучения на расстоянии 1 м от мишени бетатрона, Р/мин	0,2	0,5	12	200
Потребляемая мощность, кВ · А	0,8	1,2	4	40
Масса электромагнита, кг	23	80	1200	5000
Исполнение	Переносной	Переносной	Стационарный	Стационарный
Предельная толщина просвечиваемого слоя, мм:				
бетона	500	750	1200	1800
стали	200	270	400	500

2.2.14. Источниками гамма-излучения являются радиоактивные изотопы некоторых химических элементов. Выпускаемые промышленностью источники гамма-излучения являются «чистыми» в том смысле, что не оставляют радиоактивных загрязнений на соприкасающихся с ними предметах.

Основными характеристиками источника гамма-излучения являются:

— энергия излучения; в отличие от рентгеновских аппаратов источники излучают гамма-кванты одной или нескольких фиксированных энергий; энергия используемых для контроля квантов в зависимости от решаемых задач лежит в диапазоне 0,2—2,0 МэВ;

— период полураспада T, т. е. время, в течение которого распадается половина атомов радиоактивного изотопа; чем больше T, тем дольше сохраняет источник свои радиационные характеристики;

— активность, т. е. число радиоактивных атомов, распадающихся в единицу времени; измеряется в Ки (кюри), грамм-эквивалентах радия (г-экв. Ra), а также мощностью дозы (Р/с), создаваемой на расстоянии 1 м от источника излучения.

Активностью в 1 Ки обладает источник, в котором происходит $3{,}7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду. Источник в 1 г-экв. Ra создает такую же интенсивность излучения, как 1 г Ra в тех же условиях измерения.

Характеристики радиоактивных изотопов, наиболее часто используемых при обследовании строительных конструкций, приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Радиационные характеристики радиоактивных изотопов

Изотоп	Период полураспада	Энергия гамма-квантов, МэВ	Выход гамма-квантов на 1 распад, %	Толщина просвечиваемой стали, мм
Co-60	5,3 года	1,333 1,172	100 99	60—200
Se-75	127 дней	0,401 0,280 0,265 0,136	12,5 22,9 55,9 53,6	3—25
Cs-137	33 года	0,661	82,5	15—50
Eu-155	1,81 года	0,125 0,106 0,100 0,087 0,061	16,7 25,7 30,4 72,5 24,6	1—10
Tm-170	129 дней	0,084	2,5	1—10
Ir-192	74 дня	0,604 0,468 0,316 0,308 0,296	10,9 47,5 83,3 27,2 26,1	5—50

2.2.15. Для просвечивания материалов и изделий с помощью гамма-излучения применяют гамма-аппараты, формирующие пучок излучения и обеспечивающие защиту персонала от воздействия излучения.

Гамма-аппарат представляет собой контейнер из тяжелого материала (свинец, вольфрам), в котором помещен источник излучения. В рабочее положение источник переводится дистанционно с помощью системы управления, при этом в зависимости от условий контроля контейнер должен обеспечивать конусный и панорамный пучки. Некоторые аппараты снабжены сигнализацией о положении источника и системой блокировки, обеспечивающей закрытие источника при отказе сети. Гамма-аппараты имеют штативы, позволяющие устанавливать источник в нужное положение.

Характеристики некоторых гамма-аппаратов приведены в табл. 2.8.

2.2.16. Источник нейтронов представляет собой порошкообразную смесь бериллия с альфа-излучающим изотопом (полоний, плутоний), заключенную в герметичную капсулу. Спектр нейтронов источника непрерывный.

Таблица 2.8

Основные характеристики гамма-аппаратов

Характеристика	Тип аппарата		
	„Бетон"	РИД-21М	РИД-22
Радиоактивный изотоп/активность источника, г-экв. Ra	Cs-137/0,5 Cs-137/2 Tm-170/05 Ir-192/5	Cs-137/0,5 Cs-137/2 Tm-170/0,1 Ir-192/5	Cs-137/20 Ir-192/50
Привод управления	Ручной тросовый	Ручной тросовый	Ручной тросовый
Габариты, мм/масса, кг: радиационной головки	420×227×320 / 18	275×280×160 / 25	340×420×540 / 55
пульта управления	516×442×160 / 20	356×296×98 / 8,5	—
магазина контейнера	⌀ 212×280 / 42	323×365×275 / 110	364×280×365 / 60
транспортной тележки	—	1700×705×560 / 60	900×750×1300 / 110
Толщина просвечиваемого слоя бетона, мм	До 300	До 300	До 500

В перспективе возможно использование генераторов нейтронов, которые могут работать как в импульсном, так и в непрерывном режиме.

2.2.17. При взаимодействии излучения с веществом происходят нагрев, ионизация и возбуждение атомов облучаемой среды, свечение некоторых веществ, образование скрытого изображения в фотоматериалах и некоторые другие явления.

В зависимости от эффекта, который используется для регистрации (детектирования) излучения, различают несколько способов регистрации ионизирующих излучений:

— фотографический;
— ионизационный;
— сцинтилляционный.

2.2.18. Основными характеристиками детекторов излучения являются эффективность регистрации, чувствительность и временно́е разрешение.

Эффективность регистрации — отношение числа зарегистрированных детектором квантов (частиц) к числу квантов (частиц), прошедших через его рабочий объем.

Под чувствительностью детектора излучения понимают отношение изменения регистрируемого эффекта (ток, число импульсов) к вызвавшему его изменению плотности потока (интенсивности) излучения.

Временны́м разрешением детектора называют минимальный временно́й интервал, разделяющий акты независимой регистрации падающих на детектор квантов (частиц).

2.2.19. При использовании фотографического метода регистрации следует помнить, что на фотоэмульсию пленок непосредственно воздействуют вторичные электроны, образующиеся при поглощении и рассеянии квантов излучения. При этом в эмульсии образуется скрытое изображение, которое проявляется при химической обработке пленки.

2.2.20. Степень почернения пленки оценивается величиной оптической плотности

$$D = \lg (I_0/I), \qquad (2.14)$$

где I_0 — интенсивность света, падающего на негатив;

I — интенсивность света, прошедшего через негатив.

Плотность негатива зависит от интенсивности и энергии излучения, продолжительности экспозиции, характеристик пленки и фактора проявления.

2.2.21. Для регистрации рентгеновского и гамма-излучений при контроле изделий фотометодом используют пленки РТ-1, РТ-2, РТ-3, РТ-4 и РТ-5, а также медицинские пленки типа РМ. Чем больше номер пленки, тем качественнее с точки зрения различения мелких дефектов можно получить снимки, однако при этом увеличивается время экспозиции. Характеристики пленок, применяемых в радиографии, и области их применения приведены в табл. 2.9 и 2.10.

2.2.22. Для уменьшения экспозиции при просвечивании следует применять усиливающие экраны — металлические и флуоресцирующие. Металлический усиливающий экран представляет собой свинцовую или оловянную фольгу толщиной 0,05—0,5 мм (в зависимости от энергии излучения). Экраны устанавливают по обе стороны пленки и плотно прижимают к ней. При взаимодействии излучения с материалом фольги возникают фотоэлектроны и электроны отдачи, которые и «засвечивают» пленку.

Эффективность усиливающего экрана оценивается коэффициентом усиления, который равен отношению экспозиций при съемке без экрана и с экраном при достижении одинаковой плотности негатива. Для металлических экранов этот коэффициент в среднем равен двум. При использовании металлических экранов четкость снимка и, следовательно, выявляемость дефектов улучшаются.

Усиливающее действие флуоресцирующих экранов обусловлено дополнительным воздействием на пленку свечения, возбуждаемого в люминофоре экрана ($CaWO_4$, $CdWO_4$) под действием излучения.

Коэффициент усиления флуоресцирующих экранов может достигать 40, однако при их использовании четкость снимков (выявляемость дефектов) ухудшается.

2.2.23. Сущность ионизационного метода регистрации заключается в измерении электрических зарядов, образующихся при взаимодействии излучения с веществом.

Таблица 2.9

Основные характеристики рентгеновских пленок

Тип пленки	Время проявления, мин	Фотографические свойства пленок							Разрешающая способность, линий/мм
		с экраном			без экрана				
		$S_d = 0{,}85$, P^{-1}	γ	D_0	$S_d = 0{,}85$, P^{-1}	$S_d = 1{,}0$, P^{-1}	γ	D_0	
РТ-1	10	100	3,5	0,1	50—80	80—100	3,5	0,1	68—73
РТ-2	10	350	3	0,15	25	40	3	0,15	73—78
РТ-3	6—12	35—45	3	0,15	20—30	35—45	3,9	0,15	111
РТ-4	6—12	—	—	—	9—12	15—20	3,5	0,1	134
РТ-5	6—16	13	3,5	0,05	3—5	6—10	3,5	0,05	178
РМ-1	10	300	3	0,13	18	30	2,5	0,13	73—78
РМ-2	10	400	2,8	0,15	20	35	2,8	0,15	73—78
РМ-3	10	300	2,7	0,13	12	20	2,7	0,13	78
«Рентген Х» ТУ—1709	10	150	2,7	0,2	—	—	—	—	73
«Рентген ХХ» ТУ—1709	10	—	—	—	—	25	2,7	0,2	68

Примечание. Чувствительность $S_d = 0{,}85$ — величина, обратная экспозиции в рентгенах, необходимая для того, чтобы оптическая плотность на 0,85 превышала фон.

Чувствительность $S_d = 1{,}0$ — величина, обратная экспозиции в рентгенах, для которой касательная к характеристической кривой образует угол 45° с осью абсцисс (градиент равен 1).

γ — коэффициент контрастности.

D_0 — оптическая плотность вуали эмульсионного слоя.

Таблица 2.10

Области применения рентгеновских пленок для сплавов на основе железа и близких к ним по плотности

Толщина, мм	Напряжение на рентгеновской трубке, кВ							
	ниже 50	50—80	80—120	120—150	150—180	180—200	200—400	400—1300
1—5	РТ-1 РТ-2	РТ-1 РТ-2 РТ-3 РТ-4	РТ-1 РТ-3 РТ-4 РТ-5	РТ-3 РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5	
5—10	РТ-2	РТ-1 РТ-2 РТ-3	РТ-1 РТ-3 РТ-4	РТ-1 РТ-3 РТ-4	РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5
10—20		РТ-2	РТ-1 РТ-2 РТ-3	РТ-1 РТ-3	РТ-3 РТ-4	РТ-3 РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5	РТ-4 РТ-5
20—40		РТ-2	РТ-2	РТ-1 РТ-2 РТ-3	РТ-1 РТ-3	РТ-1 РТ-3 РТ-4	РТ-3 РТ-4 РТ-5	РТ-1 РТ-3 РТ-4 РТ-5
40—80			РТ-2	РТ-2	РТ-1 РТ-2	РТ-1 РТ-2 РТ-3	РТ-1 РТ-3 РТ-4	РТ-1 РТ-3 РТ-4 РТ-5
80—100				РТ-2	РТ-2	РТ-1 РТ-2	РТ-1 РТ-2 РТ-3	РТ-1 РТ-3 РТ-4 РТ-5
Свыше 100						РТ-2	РТ-1 РТ-2 РТ-3	РТ-1 РТ-2 РТ-3 РТ-4

В ионизационных камерах измеряется ток электронов, образующихся под действием излучения в газе, заполняющем чувствительный объем камеры.

В газоразрядных счетчиках (рис. 2.11) используется эффект газового усиления. Внутренним электродом (анодом) служит тонкая металлическая нить, натянутая вдоль оси внешнего электрода (ка-

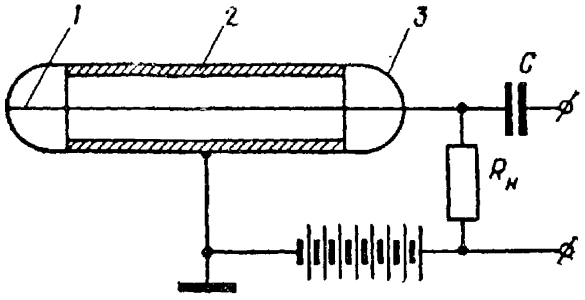


Рис. 2.11. Газоразрядный счетчик:
1 — анод; *2* — катод; *3* — корпус

тода), который представляет собой металлический кожух или стеклянный баллон с напыленным на его поверхность слоем проводника. Счетчик заполняется смесью газов под давлением 100 мм рт. ст.

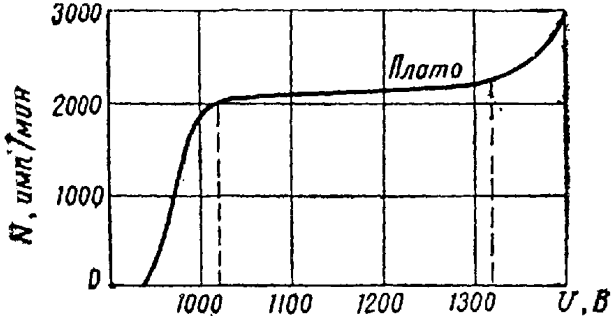


Рис. 2.12. Счетная характеристика газоразрядного счетчика

Падая на счетчик, гамма-кванты выбивают из катода электроны, которые в электрическом поле высокой напряженности ускоряются и ионизируют заполняющий счетчик газ. В результате через счетчик протекает импульс тока, а на нагрузочном сопротивлении возникает импульс напряжения.

Достоинствами счетчиков этого типа являются высокая чувствительность, простота и надежность, а недостатками — низкая эффективность регистрации гамма-излучения (0,1—1,5%) и плохое временно́е разрешение.

Основной рабочей характеристикой счетчика является счетная характеристика — зависимость числа зарегистрированных импульсов от приложенного напряжения (рис. 2.12). Рабочий участок

характеристики — плато ограничен на рисунке пунктирными линиями; чем больше длина плато и меньше его наклон, тем выше качество счетчика.

Основные характеристики некоторых газоразрядных счетчиков приведены в табл. 2.11.

Таблица 2.11

Основные характеристики газоразрядных счетчиков

Характеристика	Тип газоразрядного счетчика					
	СИ-19Г	СИ-20Г	СИ-21Г	СИ-22Г	СТС-5	СТС-6
Рабочее напряжение, В	390	390	390	390	390	390
Протяженность плато счетной характеристики, В	100	100	100	100	80	80
Наклон плато счетной характеристики, %/В	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
Скорость счета при облучении от источника 0,1 мкР/с, имп/мин	500	2000	3200	3000	50	3200
Ресурс работы, имп	10^{10}	10^{10}	10^{10}	10^{10}	10^{9}	10^{9}
Габариты, мм:						
диаметр	11	19	19	19	12	22
длина	90	175	260	215	112	200
Масса, г	10	35	45	40	6	20

2.2.24. Сцинтилляционный метод основан на использовании сцинтилляционного счетчика (рис. 2.13), представляющего собой комбинацию сцинтиллятора (фосфора), в котором под действием излучения возникают вспышки света (сцинтилляции), и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), преобразующего слабые вспышки света в электрические импульсы. Между сцинтиллятором и ФЭУ должен быть хороший оптический контакт. В качестве сцинтиллятора для регистрации гамма-излучения чаще всего используют щелочно-галлоидные кристаллы (NaJ, KJ, CsJ), активированные редкоземельными элементами (Tl, Eu).

2.2.25. Достоинствами сцинтилляционных счетчиков являются способность регистрировать большие потоки излучения и высокая эффективность (десятки процентов) регистрации гамма-квантов, а недостатком — потребность в высоком (1,5—2 кВ) жестко стабилизированном напряжении.

2.2.26. Нейтроны, так как они не ионизируют среду, регистрируют косвенно, по ядрам отдачи или продуктам ядерных реакций, образующимся при взаимодействии нейтронов с веществом.

Для регистрации нейтронов используют специальные газоразрядные счетчики, внутренняя поверхность которых покрыта слоем бора, а в качестве заполнения используется трехфтористый бор. Та же цель может быть достигнута путем применения сцинтилляторов с добавками бора или лития.

2.2.27. При проведении измерений с помощью ионизирующих излучений возникает специфическая погрешность измерений, связанная со статистическим характером процессов радиоактивного распада и регистрации квантов (частиц), которую необходимо учитывать как при проектировании, так и при практическом использовании приборов этого типа.

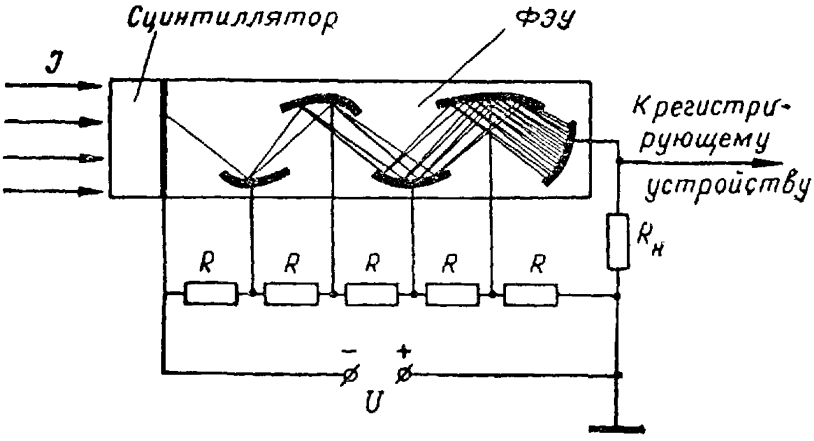


Рис. 2.13. Сцинтилляционный счетчик

2.2.28. В общем случае поток излучения N, несущий информацию об измеряемой величине x (плотность, толщина и т. п.), связан с ней некоторой функциональной зависимостью

$$N = f(x). \tag{2.15}$$

Абсолютная погрешность измерения

$$dx = \frac{dN}{f'(x)} = \frac{dN \cdot f(x)}{N \cdot f'(x)} = \frac{\delta N}{|\ln f(x)|'}, \tag{2.16}$$

где $\delta N = dN/N$ — относительная погрешность определения потока излучения.

Относительная средняя квадратическая статистическая погрешность определения числа квантов (частиц)

$$\delta N = 1/\sqrt{t_{изм} \cdot \varepsilon \cdot n}, \tag{2.17}$$

где $t_{изм}$ — время измерения;

ε — эффективность регистрации;

n — плотность потока регистрируемого излучения.

Для уменьшения этой погрешности следует использовать детекторы излучения с большим значением ε, увеличивать время измерения или, наконец, увеличивать активность источника излучения (что, конечно, требует дополнительной биологической защиты).

2.2.29. Наряду со статистической существует также и аппаратурная погрешность измерений, связанная с несовершенством измерительного оборудования. Уменьшение этой погрешности дости-

гается за счет выбора совершенных электронных схем, стабилизации источников питания и других мероприятий.

2.2.30. При работе с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений необходимо обеспечить технику безопасности, так как радиационное излучение при воздействии на живой организм ионизирует его ткани, что сопровождается химическими процессами, которые могут вызвать различные поражения организма.

2.2.31. Персонал, выполняющий радиационный контроль материалов и изделий, подвергается в основном внешнему облучению, которое прекращается после удаления работающего из зоны действия источника излучения.

2.2.32. В зависимости от условий работы облучение может быть *общим (всего тела) и местным (отдельных органов).*

2.2.33. При выполнении положений руководящих документов «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений (ОСП-72)» и «Нормы радиационной безопасности (НРБ-69)», которые регламентируют работу с излучениями, биологическое воздействие на обслуживающий персонал сводится к минимуму и проведение радиационного контроля практически безопасно для здоровья.

2.2.34. Используемые в работе источники излучения бывают открытыми и закрытыми: закрытый источник — источник излучения, который исключает попадание радиоактивных веществ в окружающую среду при предвидимых условиях его эксплуатации; открытый источник — источник излучения, при использовании которого возможно попадание радиоактивных веществ в окружающую среду. При радиационном контроле материалов и изделий, как правило, используют закрытые источники излучения.

2.2.35. С закрытыми источниками излучения можно работать без предъявления специальных требований к отделке помещений и оборудования, так как при их нормальной эксплуатации не происходит загрязнения внешней среды. В этом случае предъявляются только требования по защите от излучения.

С открытыми источниками излучения необходимо работать в специально оборудованных лабораториях.

2.2.36. Мощность дозы излучения от переносных, передвижных и стационарных дефектоскопических аппаратов не должна превышать 3 мР/ч на расстоянии 1 м от поверхности блока аппарата с источником. Мощность дозы от приборов технологического контроля не должна превышать 0,3 мбэР/ч на расстоянии 1 м от поверхности блока прибора с источником и 10 мбэР/ч вплотную к его поверхности.

2.2.37. При использовании радиационных измерительных устройств, выпускаемых промышленностью, не требуется разрешения санитарных органов на их приобретение и эксплуатацию. Монтаж и применение таких устройств производят в соответствии с прилагаемыми к ним инструкциями.

2.2.38. Для постоянного контроля за состоянием и использова-

нием устройств радиационного контроля администрация предприятия должна утвердить приказом лицо, ответственное за соблюдение инструкций по их эксплуатации.

2.2.39. К работе с источниками ионизирующих излучений допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр. Работающие с радиоактивными веществами должны подвергаться ежегодному осмотру и проходить проверку знаний правил работы с источниками излучений.

2.2.40. Источники излучений транспортировать в соответствии с «Правилами безопасной перевозки радиоактивных веществ». Перевозка устройств с источниками излучений в общественном транспорте запрещается.

2.2.41. Исходя из возможных последствий влияния ионизирующих излучений на организм, НРБ-69 устанавливает следующие категории облучаемых лиц:

— категория А — персонал (профессиональные работники), т. е. лица, непосредственно работающие с источниками излучений или по роду своей работы могущие подвергнуться облучению;

— категория Б — отдельные лица из населения, т. е. лица, проживающие на территории наблюдаемой зоны, где дозы облучения могут превысить установленные для населения пределы;

— категория В — население в целом (при оценке генетически значимой дозы облучения).

2.2.42. Предельно допустимой дозой (ПДД) облучения при работе с источниками излучений считается наибольшая доза, эффективное действие которой на организм не вызывает в нем необратимых соматических и генетических изменений.

2.2.43. ПДД облучения установлены для четырех групп критических органов и тканей организма. Величины ПДД для персонала и отдельных лиц из населения приведены в табл. 2.12.

2.2.44. При работах с радиоактивными веществами и источниками излучений должен проводиться дозиметрический контроль в целях предупреждения переоблучения. Он включает:

— измерение индивидуальных доз облучения для лиц, непосредственно занятых работой в контролируемой зоне (помещения или территория предприятия, организации, лаборатории, хранилища, где возможно получение свыше 0,3 дозы, допустимой для персонала);

— периодический контроль интенсивности излучения на рабочих местах;

— периодический контроль радиационной обстановки в наблюдаемой зоне.

2.2.45. Объем, характер и периодичность дозиметрического контроля, а также учет и порядок регистрации его результатов определяет администрация учреждения (предприятия) с учетом особенностей работ, проводимых с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений.

Таблица 2.12

Предельно допустимые дозы облучения

Группа	Критические органы или ткани	Предельно допустимая доза облучения персонала, бэР		Предел дозы для отдельных лиц из населения, бэР/год
		за квартал	за год	
I	Все тело, гонады, красный костный мозг	3[а]	5[б]	0,5
II	Любой отдельный орган, кроме гонад, красного костного мозга, костной ткани, щитовидной железы, кожи, а также кистей, предплечий, лодыжек и стоп	8	15	1,5
III	Костная ткань, щитовидная железа, кожный покров всего тела (кроме кожи кистей, предплечий, лодыжек и стоп)	15	30	3[в]
IV	Кисти, предплечья, лодыжки и стопы	40	75	7,5

Примечание. Буквы у цифр обозначают:

а — за исключением женщин в возрасте до 30 лет;

б — дозы внешнего облучения рентгеновским излучением с эффективной энергией 15—25 кэВ не должны превышать: для всего тела и красного костного мозга лиц категории А — 15 Р/год, лиц категории Б — 5 Р/год; для мужских гонад, лиц категории А — 5 Р/год, лиц категории Б — 0,5 Р/год;

в — предел дозы для щитовидной железы детей и подростков моложе 16 лет установлен 1,5 бэР/год.

2.3. Магнитные методы

2.3.1. К магнитным методам контроля и испытаний конструкций относят:

— магнитометрический метод определения параметров армирования;

— магнитоупругий метод определения механических напряжений;

— магнитную дефектоскопию;

— магнитный метод измерения толщины покрытий.

Общая характеристика методов приведена в табл. 2.13, при этом методы, находящиеся в настоящее время в стадии доработки либо имеющие ограниченное практическое применение, не рассматриваются.

Обладая общими достоинствами неразрушающих методов, магнитные методы характеризуются высокой надежностью, простотой, быстродействием, портативностью аппаратуры и сравнительно высокой экономичностью. В связи с этим они находят широкое практическое применение при испытаниях и контроле элементов

Таблица 2.13

Магнитные методы контроля и испытаний

Метод	Определяемые характеристики конструкций	Физические основы метода	Область применения
Магнитометрический	Расположение и диаметр арматуры. Толщина защитного слоя	Изменение магнитного поля на участке с арматурой	Элементы железобетонных конструкций
Магнитоупругий	Величина и характер распределения механических напряжений	Магнитоупругий эффект	Элементы стальных конструкций
Магнитная дефектоскопия	Наличие трещин, включений и других дефектов. Нарушение состава, термообработки, геометрических размеров в сравнении с эталоном	Поля рассеяния магнитных силовых линий. Изменение магнитной индукции	То же
Магнитный метод измерения толщины покрытий	Толщина лакокрасочного покрытия	Изменение силы притяжения магнита	Элементы стальных конструкций с антикоррозионными покрытиями

стальных и железобетонных конструкций, но могут быть использованы только для конструкций, содержащих ферромагнитные материалы.

2.3.2. К числу наиболее распространенных ферромагнитных материалов относят железо и его сплавы (сталь и чугун), а также никель и кобальт. Указанные материалы обладают явно выраженными магнитными свойствами и легко поддаются намагничиванию. В ферромагнитных материалах атомы объединены в мощные группировки — домены, в пределах которых устанавливается общая ориентация магнитных полей. Однако во всем объеме материала единая ориентация отсутствует (рис. 2.14,*а*). Под воздействием внешнего магнитного поля домены разворачиваются в направлении его силовых линий и, преодолевая хаотическое тепловое движение, приобретают единую магнитную ориентацию (рис. 2.14, *б*). Намагниченность характеризуется уровнем магнитной индукции (B), зависящей от напряженности поля (H). Типичная кривая намагничивания представлена на рис. 2.15. Для нее характерно наличие трех участков: начального — пологого, среднего, на котором возрастание величины B наиболее интенсивно, и конечного, соответствующего насыщению. В зависимости от необходимой степени намагниченности (уровня B) определяются способы намагничивания и параметры намагничивающего поля, в частности его напряженность.

Намагниченность ферромагнитных материалов может сохраняться длительное время, а для ее исключения применяют способы, рассмотренные в разд. 4.3.

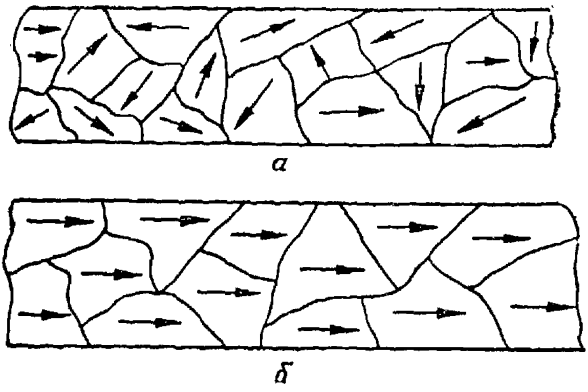


Рис. 2.14. Схематическое изображение доменов: *а* — при отсутствии магнитного поля; *б* — в магнитном поле

2.3.3. Как видно из табл. 2.13, в основу большинства магнитных методов положено различие магнитной проницаемости для разных материалов либо изменение этой характеристики в зависимости от состояния материалов.

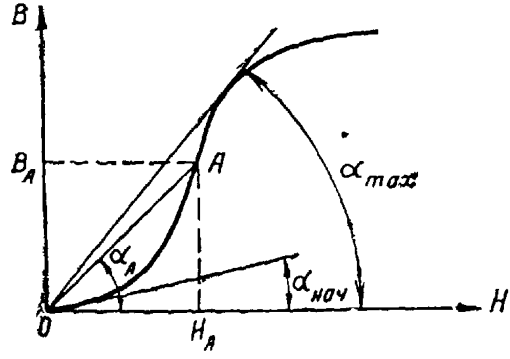


Рис. 2.15. Кривая намагничивания

2.3.4. Магнитная проницаемость является мерой для количественной оценки способности материала пропускать через себя магнитное поле. Магнитная проницаемость

$$\mu = \frac{B}{H}, \qquad (2.18)$$

т. е. определяется отношением магнитной индукции к напряженности поля. Так, для текущего значения μ в точке A (рис. 2.15)

$$\mu_A = \frac{B_A}{H_A} = \operatorname{tg} \alpha_A, \qquad (2.19)$$

где α_A — угол наклона секущей OA к оси абсцисс.

В частных случаях для начального и максимального значений магнитной проницаемости

$$\mu_{нач} = \operatorname{tg} \alpha_{нач}; \quad \mu_{max} = \operatorname{tg} \alpha_{max}. \qquad (2.20)$$

Изменение магнитной проницаемости можно характеризовать отношением

$$\mu_{отн} = \frac{\mu}{\mu_{нач}}. \qquad (2.21)$$

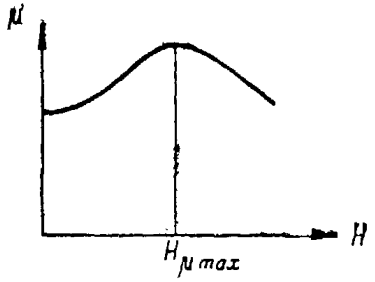


Рис. 2.16. Зависимость магнитной проницаемости от напряженности поля

На рис. 2.16 показана зависимость магнитной проницаемости от напряженности поля. Важным для практического использования является наличие максимума на этой кривой, соответствующего определенному значению напряженности поля.

Дальнейшее увеличение напряженности приводит к уменьшению магнитной проницаемости и оказывается нецелесообразным. Значения магнитной проницаемости для некоторых материалов приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Значения магнитной проницаемости для некоторых материалов

Материал	Магнитная проницаемость μ
Конструкционная сталь	2000—2500
Трансформаторное железо	7000—8000
Пермаллой (40—50% Ni)	15 000—60 000
Воздух	1
Бетон	1

2.3.5. Магнитометрический метод основан на различии магнитных свойств бетона и арматуры. Как видно из табл. 2.14, магнитная проницаемость этих материалов отличается в несколько тысяч раз. Если рассматривать железобетонную конструкцию как магнитопровод, то магнитный поток на участке с арматурой будет во много раз превосходить его значение на участке неармированного бетона при тех же параметрах возбуждающего магнитного поля.

Таким образом, по изменению параметров электромагнитного поля можно судить о наличии арматуры.

2.3.6. Принцип устройства измерительной аппаратуры магнитометрического метода показан на рис. 2.17. На испытуемый объект устанавливают выносной датчик, имеющий сердечник из ферромагнитного материала, на котором размещены две изолированные обмотки. Подключенная к источнику питания обмотка создает электромагнитное поле, замыкающееся через участок контролируемого объекта, на котором находится датчик. В измерительной обмотке индуцируется ток, измеряемый прибором. В положении дат-

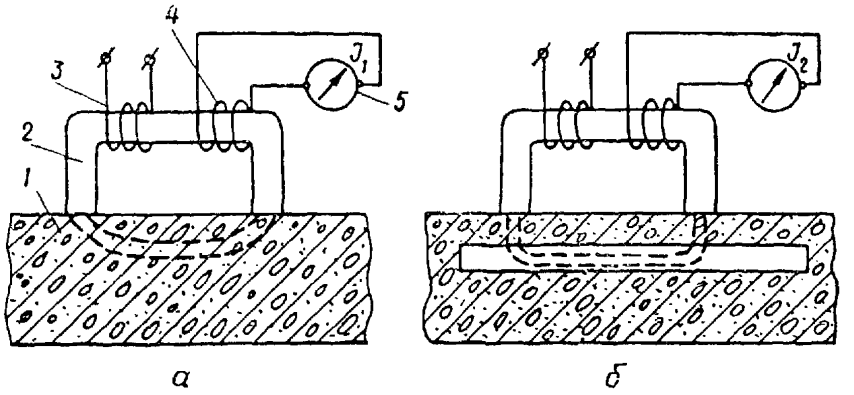


Рис. 2.17. Схема устройства магнитометрической аппаратуры:
1 — испытуемый объект; *2* — сердечник; *3* — обмотка, создающая магнитное поле; *4* — измерительная обмотка; *5* — измерительный прибор

чика (рис. 2.17,*а*) магнитный поток замыкается через бетон. Индуцируемый при этом в измерительной обмотке ток I_1 практически не изменяется вплоть до смещения датчика в положение (рис. 2.17,*б*), когда он попадает на участок с арматурой. Поскольку теперь магнитный поток сердечника замыкается через арматуру ($\mu_{арм} \gg \mu_{бет}$), величина измеряемого тока резко возрастает до значения I_2.

2.3.7. Величина $\Delta I = I_2 - I_1$ изменяется в зависимости от диаметра и глубины залегания арматуры (толщина защитного слоя). Соответствующие зависимости устанавливают для каждого прибора при его тарировке.

2.3.8. В целях повышения чувствительности и точности измерений применяемая на практике аппаратура выполнена по более сложной мостовой схеме при сохранении рассмотренного здесь принципа работы.

Сущность методики определения расположения арматуры, ее диаметра и толщины защитного слоя так же, как и схема применяемой аппаратуры, рассматривается в разд. 3.5.

2.3.9. В основу магнитоупругого метода положен эффект, сущность которого заключается в изменении магнитных свойств материала в зависимости от механических напряжений.

2.3.10. Существует функциональная зависимость, связывающая механические напряжения ферромагнитного материала с его магнитной проницаемостью:

$$\sigma = \pi \frac{\Delta\mu}{\mu_\sigma \mu_0 \lambda}, \qquad (2.22)$$

где σ — механические напряжения материала;

$\Delta\mu = \mu_0 - \mu_\sigma$ — изменение магнитной проницаемости;

μ_0 и μ_σ — значения магнитной проницаемости при отсутствии напряжений и при их величине, равной σ, соответственно;

λ — коэффициент магнитострикции, позволяющий осуществить переход от деформации объекта к параметрам его магнитного поля.

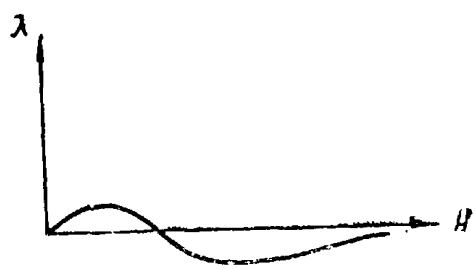


Рис. 2.18. Зависимость коэффициента магнитострикции от напряженности магнитного поля

2.3.11. Коэффициент магнитострикции

$$\lambda = \frac{\Delta l}{l}, \qquad (2.23)$$

где l — длина стержня из данного материала при отсутствии поля;

Δl — изменение длины под действием поля.

Изменение этого коэффициента для железа в зависимости от напряженности поля показано на рис. 2.18. Его значение оценивается величиной $(2—7) \cdot 10^{-6}$.

2.3.12. Принцип устройства аппаратуры для измерения механических напряжений показан на рис. 2.19.

В случае когда нагрузка P равна нулю, механические напряжения отсутствуют, магнитная проницаемость ферромагнитного объекта испытаний равна μ_0, и в измерительной обмотке индуци-

руется ток I_1. При нагрузке, отличной от нуля, развиваются механические напряжения, вследствие чего изменяется магнитная про-

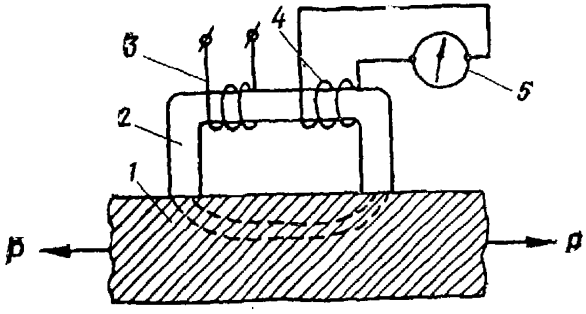


Рис. 2.19. Схема устройства аппаратуры для измерения механических напряжений:

1 — испытуемый объект; *2* — сердечник; *3* — обмотка, создающая магнитное поле; *4* — измерительная обмотка; *5* — измерительный прибор

ницаемость, а ток в измерительной обмотке будет равен I_2. Рассматриваемые параметры взаимосвязаны следующим образом:



(2.24)

где $\Delta\mu$, $\Delta\Phi$ и ΔI — изменения магнитной проницаемости, магнитного потока и индуцируемого тока при механических напряжениях σ.

Таким образом, устанавливается зависимость

$$\Delta I = \varphi(\sigma). \qquad (2.25)$$

После тарировки прибора по величине ΔI можно определять значение механических напряжений.

2.3.13. Практически воспользоваться для определения механических напряжений столь простой схемой невозможно, так как она не обеспечивает ни необходимой чувствительности, ни потребной точности измерений. Кроме того, следует иметь в виду, что в поле механических напряжений материал приобретает свойства магнитной анизотропии. Магнитная проницаемость в основном изменяется в направлении сжимающих усилий, что вызывает поворот вектора магнитной индукции, учет влияния которого существенно важен.

2.3.14. Указанные недостатки можно исключить при раздельном выполнении возбуждающей и измерительной обмоток датчика на самостоятельных сердечниках, расположенных перпендикулярно

друг к другу (рис. 2.20). При усилии, равном нулю, магнитопровод (объект испытания) изотропен и возбуждаемое катушкой магнитное поле замыкается через ее сердечник, не охватывая измерительную обмотку, при этом угол α и выходной сигнал катушки равны нулю. Под действием усилия $P \neq 0$ проявляется магнитная анизотропия, вектор магнитной индукции поворачивается на угол α,

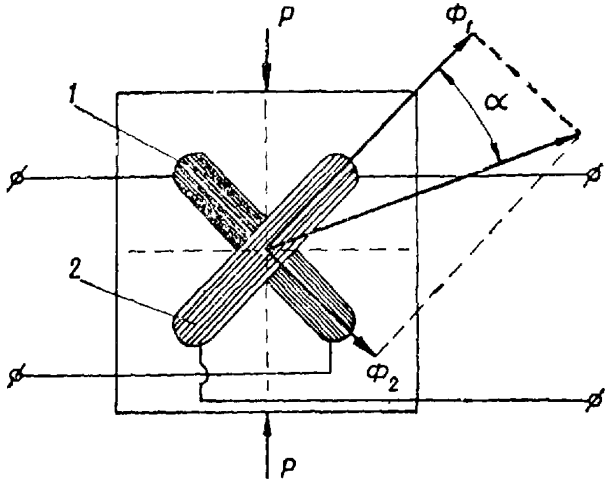


Рис. 2.20. Схема устройства датчика:
1 — катушка возбуждения; *2* — измерительная катушка

появляется составляющая магнитной индукции B_2 и соответствующий ей магнитный поток Φ_2, который пересекает витки измерительной обмотки. В зависимости от величины приложенного усилия, а следовательно, и от уровня развивающихся механических напряжений наводится соответствующая ЭДС в измерительной обмотке.

Структурная схема и методика практического применения аппаратуры приведены в разд. 4.3.

2.3.15. В магнитной дефектоскопии наиболее распространены методы обнаружения полей рассеяния или изменения магнитной индукции в зоне дефектов.

2.3.16. *Причиной возникновения полей рассеяния является* существенное различие в значении магнитной проницаемости ферромагнитного материала контролируемого объекта и имеющихся в нем дефектов.

Трещины и каверны, заполненные воздухом, так же как и шлаковые включения, имеют в тысячи раз меньшую магнитную проницаемость и оказывают большое сопротивление на пути силовых линий магнитного поля. Являясь своеобразной преградой, нарушения сплошности металла заставляют силовые линии изменять свое первоначальное направление и обходить их по материалу конструкции. Если дефекты находятся на поверхности или расположены

вблизи нее (рис. 2.21), то обходящие их силовые линии не только уплотняются, но и выходят наружу, образуя поля рассеяния.

2.3.17. Дефектоскопия по магнитным полям рассеяния содержит три основных этапа:

— намагничивание ферромагнитной контролируемой конструкции;

— выявление полей рассеяния и расшифровка полученных результатов;

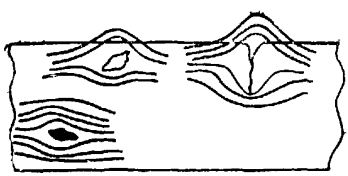


Рис. 2.21. Расположение магнитных силовых линий в зоне дефектов

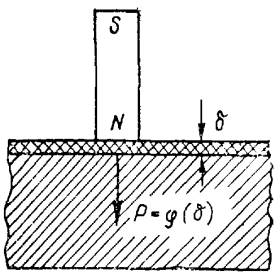


Рис. 2.22. Схема измерения толщины пленки

— размагничивание объекта.

Способы намагничивания и размагничивания зависят от размеров и конфигурации конструкции, а также от видов дефектов. Некоторые практические рекомендации по этим вопросам приведены в разд. 4.3.

2.3.18. К числу основных способов обнаружения полей рассеяния относят:

— порошковый метод, или метод магнитной суспензии;

— магнитографический метод фиксации полей на магнитофонной ленте;

— магнитно-щелевой метод зондирования.

Сущность этих методов и устройство аппаратуры рассмотрены в разд. 4.3.

2.3.19. В дефектоскопии, основанной на изменении магнитной индукции, используется зависимость индуцируемого в катушке тока от характеристик расположенного в ней сердечника. При прочих равных условиях индуцируемый катушкой ток изменяется при изменении состава материала сердечника, его термообработки или наличии трещин.

2.3.20. Для дефектоскопии, основанной на определении изменения магнитной индукции, наиболее широко применяется аппаратура, выполненная по мостовой схеме. В качестве плеч моста используются две одинаковые катушки индуктивности, в которых сердечниками являются испытуемый объект и его эталон. При отличии характеристик сердечников происходит разбаланс моста.

2.3.21. Магнитный метод может быть использован и для определения толщины пленки из немагнитного материала на металле. Наиболее простой, надежный и удобный для практического применения метод определения толщины пленки основан на зависимости усилия притяжения магнита P от толщины пленки (рис. 2.22).

2.3.22. Для определения усилия отрыва постоянного магнита прибора от поверхности покрытия обычно используют пружинные устройства. Показания приборов предварительно тарируют по эталонам (известной толщины) из немагнитных материалов.

ЧАСТЬ II

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ ИСПЫТАНИЯ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ

Глава 3

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА И ИСПЫТАНИЙ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Дефекты бетонных и железобетонных конструкций

3.1.1. Дефектами бетонных и железобетонных конструкций называются пороки, вызывающие снижение надежности, несущей способности и долговечности конструкций.

3.1.2. Дефекты являются следствием погрешностей, допущенных при изготовлении, монтаже и эксплуатации конструкций и сооружений.

3.1.3. К основным видам внешних и внутренних дефектов железобетонных и бетонных конструкций относят:

— отклонения от проектных внешних размеров, допущенные при изготовлении;

— искажения внешней формы конструкций по сравнению с проектной;

— отклонения положений конструкций от проекта, допущенные при монтаже;

— повреждения конструкций в виде отколов бетона, изломов деталей и т. п.;

— наличие раковин по поверхности и в теле бетона; недостаточное его уплотнение;

— несоответствие марки бетона проектному значению;

— расслоение бетона, допущенное при его укладке;

— несоответствие количества продольной, поперечной и косвенной арматуры проектному значению;

— не предусмотренная проектом замена стержней арматуры по классам и диаметрам;

— несоответствие положения арматуры в бетоне по сравнению с проектом;

— отклонение в величине защитного слоя;

— недостаточная анкеровка продольной ненапрягаемой арматуры в опорных сечениях изгибаемых элементов;

— отклонение в величине предварительного напряжения арматуры от заданного значения;

— отклонения в размещении стальных закладных деталей от проекта;

— недостаточная анкеровка закладных деталей в бетоне;

— неполная заделка бетоном стыков и швов конструкций, неполное заполнение каналов при инъектировании раствора.

3.1.4. Внешние дефекты контролируют при приемке конструкций путем визуального осмотра и измерений с использованием необходимых измерительных средств и приборов, внутренние — с помощью неразрушающих методов с использованием комплекса радиоэлектронных приборов и аппаратуры.

3.1.5. Внешними признаками внутренних дефектов несущих железобетонных и бетонных конструкций сооружений являются трещины недопустимого раскрытия и отслоения в бетоне, чрезмерные деформации элементов. Возможны скрытые дефекты, не имеющие видимых признаков, что наиболее опасно, так как они могут привести к внезапному разрушению конструкций.

3.1.6. Величины предельно допустимых внешних и внутренних дефектов, при которых обеспечиваются прочность, жесткость и долговечность конструкций, устанавливаются по рекомендациям и допускам, предусмотренным ГОСТ и нормативными документами, или вычисляются по расчетным зависимостям, приведенным в СНиП.

3.1.7. Основной характеристикой, определяющей качество несущих бетонных конструкций при отсутствии внешних дефектов, является марка бетона.

При контроле марка бетона должна быть не ниже нормативного значения

$$R^{н} = R(1 - 1{,}64v), \qquad (3.1)$$

где R — проектная марка бетона при сжатии или растяжении;

v — вариационный коэффициент, определяющий естественный разброс прочности бетона; при отсутствии данных о его фактической величине принимается равным 0,135 (13,5%).

3.1.8. Качество элементов несущих железобетонных конструкций определяется в основном качеством бетона, наличием и правильным расположением стальной арматуры. При оценке качества необходимо учитывать вид напряженного состояния, возникающего в сечениях железобетонных элементов при воздействии нагрузок.

3.1.9. Прочность железобетонных элементов, работающих под нагрузкой преимущественно на сжатие, обеспечивается главным образом прочностью бетона, марка которого при контроле должна быть не ниже нормативного значения.

Продольная арматура сжатых элементов предупреждает их хрупкое разрушение и частично принимает участие в обеспечении прочности. Соответствие проекту количества продольных стержней и их диаметра устанавливается при контроле.

Поперечная арматура сжатых элементов обеспечивает устойчивость стержней продольной арматуры.

При контроле проверяется расстояние между стержнями поперечной арматуры (хомутами), которое не должно превышать более чем на 10 мм следующие величины:

— для вязаных каркасов $u=15\,d$;

— для сварных каркасов $u=20\,d$,

где u — шаг поперечных стержней;

d — диаметр стержней продольной арматуры, при этом диаметр поперечных стержней должен быть не меньше $0{,}25\,d$.

3.1.10. Прочность элементов, работающих под нагрузкой преимущественно на растяжение (осевое растяжение, растяжение с небольшим эксцентриситетом), обеспечивается арматурой.

При контроле устанавливается наличие проектного количества арматуры, правильность устройства ее стыков и анкеровки концов. Отклонения в ущерб прочности от проектных данных не допускаются. Замена арматуры по классам и по площади поперечного сечения допускается только при согласовании с проектной организацией.

3.1.11. Прочность нормальных (перпендикулярных к оси элемента) сечений железобетонных элементов, работающих на изгиб, а также на внецентренное сжатие и растяжение с большим эксцентриситетом продольной силы, определяется главным образом работой продольной арматуры растянутой зоны и работой бетона в сжатой части сечения (при двойном армировании также и сжатой продольной арматуры).

Соответствие количества продольной арматуры проекту и правильность ее положения в сечении проверяются контролем. Отклонение количества арматуры в меньшую сторону по сравнению с проектом не допускается.

Положение растянутой арматуры в сечении определяет полезную высоту сечения h_0, т. е. расстояние от сжатой кромки сечения до центра тяжести продольной растянутой арматуры. Недопустимое уменьшение полезной высоты сечения возможно за счет погрешностей (допущенных при изготовлении) во внешних размерах сечения и в расположении арматурного каркаса в момент бетонирования (при увеличении толщины защитного слоя). Эти отклонения должны быть в пределах установленных допусков, приведенных в табл. 3.1 и 3.2.

Контролируемая марка бетона в сжатой части сечения должна быть не ниже нормативного значения.

3.1.12. Прочность наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов в зоне действия поперечных сил обеспечивается работой поперечных стержней (хомутов), отогнутых стержней (при их наличии), работой бетона, а также надежной анкеровкой продольной арматуры на опорах.

Диаметр поперечных стержней (хомутов) и их расстановка должны соответствовать проекту. Отклонения в шаге поперечных стержней (хомутов) допускаются в пределах ± 10 мм. При наличии рабочей продольной арматуры в сжатой зоне максимальный шаг хомутов не должен превышать значений, указанных в п. 3.1.9.

Таблица 3.1

Допускаемые отклонения геометрических размеров сборных железобетонных изделий от проектных

Изделия	Допускаемые отклонения по толщине (высоте) сечения, мм
Панели и плиты перекрытий и покрытий, плиты дорожных покрытий, стеновые панели и крупные блоки	± 5
Фермы, балки, ригели, колонны	± 5
Опоры и мачты	± 5
Архитектурные детали (элементы карнизов, балконов, парапетов, лестничные марши)	± 5
Тюбинги для тоннелей	± 2
Панели, плиты и блоки для подземных конструкций	± 5
Фундаментные блоки и плиты	± 8
Арочные панели	+15 — 5
Блоки для обделки вертикальных выработок (с металлоизоляцией)	±10

Примечание. Для монолитных железобетонных конструкций отклонения в меньшую сторону по высоте сечения не допускаются.

Таблица 3.2

Допускаемые отклонения в толщине защитного слоя

Изделия	Допускаемые отклонения, мм
Массивные конструкции толщиной более 1 м	±20
Фундаменты	±10
Колонны, балки, арки	± 5
Плиты и стены толщиной более 100 мм	± 5
Плиты и стены толщиной до 100 мм при толщине защитного слоя 10 мм	± 3

Анкеровка продольной ненапрягаемой арматуры на опорах может осуществляться путем приварки концов арматуры к специальным стальным анкерным деталям или за счет сил сцепления арматуры с бетоном. В первом случае контролируется наличие предусмотренных проектом анкерных деталей и надежность сварки их с концами арматуры, во втором — соответствие длины зоны анкеровки (расстояние, на которое заводятся стержни в бетоне за грань опоры):

— не менее пяти диаметрам арматуры при отсутствии на приопорном участке косых трещин в бетоне, при этом на этой длине

к продольным стержням с гладкой поверхностью должен быть приварен один поперечный анкерующий стержень диаметром не менее 0,5 d;

— не менее 15 диаметрам арматуры при наличии косых трещин в бетоне или не менее 10 d при бетоне марки 200 и выше и арматуре периодического профиля.

На длине анкеровки стержней с гладкой поверхностью в этом случае должно быть приварено не менее двух поперечных анкерующих стержней. Отклонения в меньшую сторону не допускаются.

3.1.13. Долговечность элементов железобетонных конструкций обеспечивается за счет сохранности арматуры от коррозии путем создания защитного слоя бетона достаточной плотности и ограничения раскрытия трещин в окружающем арматуру бетоне. Сохранность напрягаемой арматуры, расположенной в каналах, обеспечивается также инъектированием цементного раствора в полости каналов после напряжения арматуры, что контролируется в ходе выполнения этой операции при изготовлении элементов.

Толщина защитного слоя при расположении арматуры в тяжелом бетоне с объемной массой не менее 1800 кг/м³ и при отсутствии особо агрессивных воздействий должна соответствовать рекомендациям СНиП с отклонениями, приведенными в табл. 3.2. При расположении арматуры в менее плотных бетонах и наличии агрессивных сред толщина защитного слоя устанавливается в результате специальных исследований.

Максимальное раскрытие трещин в обычном железобетоне в соответствии с рекомендациями СНиП в зависимости от условий работы элементов допускается в пределах 0,1—0,3 мм.

Требования в отношении трещиностойкости, предъявляемые к предварительно напряженным железобетонным элементам, зависят от категории по степени трещиностойкости и устанавливаются СНиП.

Причинами, вызывающими уменьшение трещиностойкости, помимо дефектов, вызывающих уменьшение прочности, могут быть:

— отклонения в меньшую сторону заданной величины предварительного напряжения в арматуре; допускаются отклонения в пределах $\pm 10\%$;

— замена продольной арматуры при сохранении ее равнопрочности на арматуру более высоких классов и больших диаметров; в этом случае соблюдение условий трещиностойкости следует проверять расчетом.

3.1.14. Нарушение нормальной эксплуатации за счет превышения допустимых деформаций железобетонных элементов вызывается уменьшением их жесткости, что связано с теми же причинами, которые приводят к уменьшению прочности, а также с отклонением в меньшую сторону величины предварительного напряжения. Рекомендации по контролю возможных дефектов и предельные значения отклонений приведены в пп. 3.1.11, 3.1.12 и 3.1.13.

3.2. Ультразвуковой метод контроля прочности бетона

3.2.1. В основе ультразвукового импульсного метода контроля качества и марки бетона лежит взаимосвязь между акустическими характеристиками бетона и его физико-механическими свойствами.

Применение метода определяется ГОСТ 17624—72 «Бетоны тяжелые и легкие. Ультразвуковой метод определения прочности».

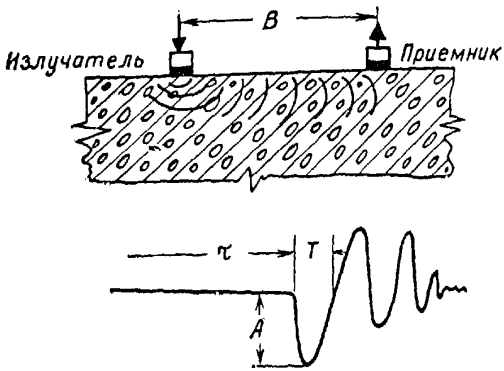


Рис. 3.1. Характеристики акустического сигнала

Указанный метод не распространяется на ячеистые и легкие бетоны, марка которых ниже 200 кгс/см^2.

3.2.2. Акустическими характеристиками являются скорость звука в бетоне, амплитуда входного сигнала, полупериод первого вступления и затухание (рис. 3.1), а основными физико-механическими свойствами бетона, измеряемыми импульсным методом, — прочность (марка) и динамический модуль упругости.

3.2.3. При оценке физико-механических свойств бетона в конструкциях ультразвуковым методом выполняют следующие основные операции:

— осмотр конструкции;
— выбор участков контроля;
— подготовка поверхности;
— проведение измерений;
— определение прочности и модуля упругости.

3.2.4. Перед проведением измерений конструкции, подлежащие контролю, подвергаются внешнему осмотру, в процессе которого намечаются участки контроля и фиксируются участки с явными внешними дефектами.

3.2.5. Контролю подлежат только те участки, на которых отсутствуют видимые трещины, поры диаметром более 2 мм, инородные включения, отслоения и обнаженная арматура.

3.2.6. Поверхности, подлежащие контролю, не должны иметь

неровностей более 1 мм и загрязнений. При наличии затирочного слоя или штукатурки последние удаляются до обнажения основного массива бетона. При наличии неровностей более 1 мм на участках установки излучателя и приемника УЗК поверхности выравниваются путем нанесения тонкого слоя гипсового раствора. Размер площадки для установки искательных головок должен быть не менее 20 см^2.

3.2.7. Для обеспечения акустического контакта между искательными головками и бетоном на подготовленную поверхность наносится слой контактной смазки (технический вазелин, ЦИАТИМ, солидол и др.) толщиной 0,5—1 мм. Качество контакта проверяется *по резкости вступления сигнала* и его амплитуде на экране электронно-лучевой трубки (рис. 3.2): чем круче фронт сигнала, тем выше качество контакта. Измерения следует проводить на бетоне, имеющем однородную плотную структуру.

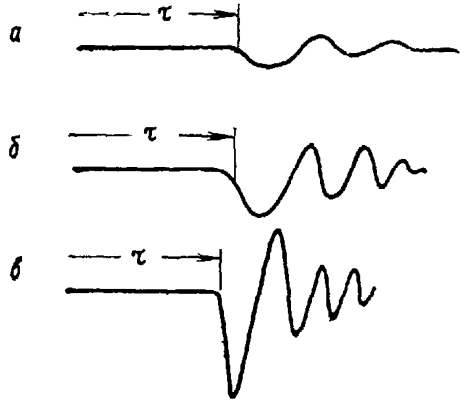


Рис. 3.2. Зависимость формы сигнала от качества акустического контакта: *а* — плохой контакт; *б* — недостаточный контакт; *в* — хороший контакт

3.2.8. Число контрольных участков определяется типом конструкций и задачами контроля. При сплошном контроле сборных железобетонных изделий контролю подлежат участки, где бетон работает на сжатие. Число измерений на одном изделии должно быть не менее двенадцати при шаге измерений 1—1,5 м, при контроле монолитных покрытий дорог и аэродромов — не менее трех на каждые 40 м^2 покрытий, при контроле массивных монолитных железобетонных конструкций — не менее трех на каждом участке максимальных усилий.

3.2.9. Перед проведением измерений на подготовленных участках контроля выбираются база измерений и рабочая частота искательных головок.

3.2.10. База измерений (рис. 3.1) принимается равной 25—40 см и измеряется с точностью ±0,5%. При использовании базы менее 20 см точность измерений уменьшается. Наилучшее значение базы при контроле строительных конструкций, зданий и сооружений равно 30 см, а при контроле покрытий — 40 см.

3.2.11. Искательные головки с частотой 150 и 100 кГц используются при измерениях на базах до 20—25 см, с частотой 60 кГц — на базах 30—40 см и с частотой 25 кГц — на базах более 40 см.

3.2.12. Максимальная база прозвучивания для искательных головок с частотой 25 кГц составляет 500 см, с частотой 60 кГц — 200 см, с частотой 100 и 150 кГц — около 30 — 40 см.

3.2.13. При размещении искательных головок необходимо учитывать расположение арматуры и граней элементов.

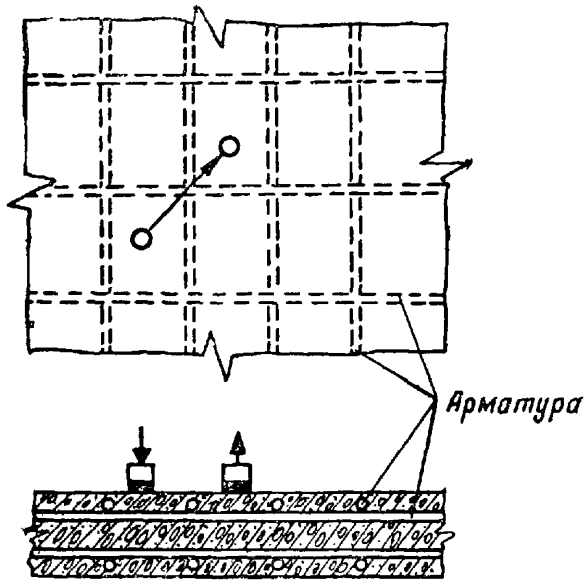


Рис. 3.3. Схема установки искательных головок

Размещение искательных головок над арматурой может привести к получению завышенных показателей прочности бетона, так как скорость звука в арматуре больше, чем в бетоне. Поэтому искательные головки устанавливаются таким образом, чтобы линия базы прозвучивания составляла угол около 45° с направлением арматурных стержней (рис. 3.3).

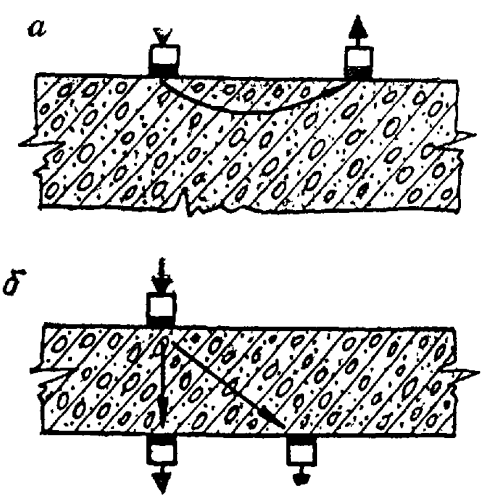


Рис. 3.4. Способы размещения искательных головок:
а — на одной поверхности; *б* — на противоположных поверхностях

3.2.14. Положение арматуры определяется методами, изложенными в разд. 3.5 и 3.6. Если отсутствуют данные о положении арматуры, то направление арматурных стержней принимается параллельным граням элементов и характерным размерам конструкции.

3.2.15. При наличии граней элементов искательные головки располагаются на удалении не менее 5—8 см от них.

3.2.16. В зависимости от типа конструкции и доступа к ней возможны два способа размещения искательных головок

(рис. 3.4.): на взаимно противоположных поверхностях (сквозное прозвучивание) и на одной поверхности при наличии одностороннего доступа к изделию.

Первый способ предпочтительнее, так как позволяет оценить свойства всей толщи бетона, а второй — только на глубине 5—20 см.

3.2.17. После проведения осмотра конструкции, выбора контрольных участков, подготовки и смазки поверхностей для установки искательных головок измеряются время прохождения сигнала и другие акустические параметры. Наиболее распространен контроль прочности бетона по скорости звука.

3.2.18. Для определения скорости звука искательные головки устанавливают на контрольных участках и измеряют время распространения звука на данной базе с точностью ±1%. При этом необходимо обеспечить такой акустический контакт с поверхностью бетона, чтобы амплитуда сигнала на экране прибора при среднем усилении была не менее 10 мм, а крутизна сигнала — достаточной для четкого фиксирования времени прихода переднего фронта упругой волны (рис. 3.2, *в*).

3.2.19. Скорость распространения волны (скорость звука) в бетоне

$$C = \frac{B}{t} \cdot 10^3 \text{ м/с}, \qquad (3.2)$$

где B — база между центрами искательных головок, мм;

t — время по прибору, мкс.

Результаты измерений заносятся в журнал ультразвуковых испытаний по форме, приведенной в табл. 3.3.

3.2.20. Значение амплитуды сигнала фиксируется с указанием степени усиления и ослабления сигнала на приборе. Ввиду сильного влияния контакта между искательными головками и поверхностью бетона на амплитуду сигнала ее величина является условной и позволяет судить о структуре бетона только качественно. Как правило, при контроле бетона низких марок или недостаточно уплотненного амплитуда сигнала резко уменьшается, а крутизна переднего фронта сглаживается (рис. 3.2, *а, б*).

3.2.21. Физико-механические свойства бетона по данным акустических измерений и, прежде всего, по скорости звука определяют следующими способами:

— по эталонным тарировочным кривым для данного объекта испытаний;

— по переходным формулам;

— по обобщенным тарировочным кривым, полученным на других объектах испытаний;

— по модулю упругости.

3.2.22. Наиболее точным способом оценки прочности бетона в конструкции является импульсный метод контроля по тарировочным кривым, полученным для данного проектного состава бетона. Его погрешность не более ±10%.

Таблица 3.3

Журнал ультразвуковых испытаний элемента конструкции

Тип сооружения _____

Тип конструкций _____

Проектная марка бетона _____

Время бетонирования _____

Температура воздуха _____

Тип контактной смазки _____

Тип прибора (марка) _____

Эскиз элемента с указанием точек измерений

№ точек измерений	База, мм	Время, мкс	Скорость, м/с	Амплитуда, мм	Ослабление (усиление), дБ	Объемная масса, г/см³	Модуль упругости, кгс/см²	Прочность бетона, кгс/см²	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Примечания: 1. В графу 6 записываются данные по прибору.
2. Модуль упругости оценивается в соответствии с пп. 3.2.34 и 4.2.35.
3. В графе 10 указываются результаты внешнего осмотра (поры, дефекты и т. д.).

3.2.23. Сущность способа заключается в том, что путем ультразвуковых и механических испытаний контрольных образцов каждого состава в одном возрасте получают данные для построения

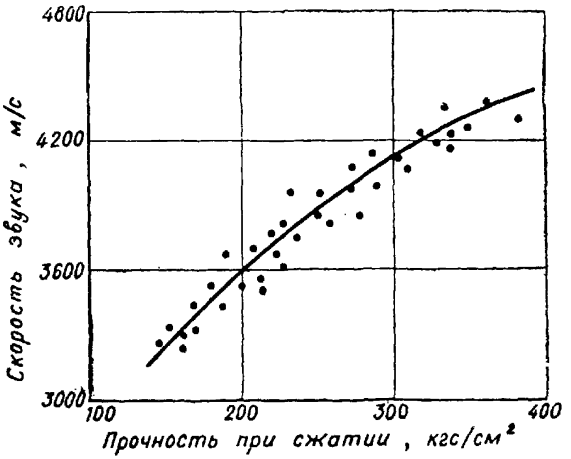


Рис. 3.5. Эмпирическая кривая «скорость звука — прочность»

эмпирической кривой «скорость звука — прочность» (рис. 3.5), затем измеряют скорость звука в конструкции и по тарировочной эмпирической кривой для каждого значения измеренной скорости определяют прочность бетона на сжатие.

3.2.24. Для проведения ультразвуковых и механических испытаний используют контрольные образцы — кубы размером 20×20×20 см (не менее 45 шт.), изготовленные из данного проектного состава бетона в соответствии с ГОСТ 10180—67. При использовании образцов размером 10×10×10 см число их должно быть не менее 60.

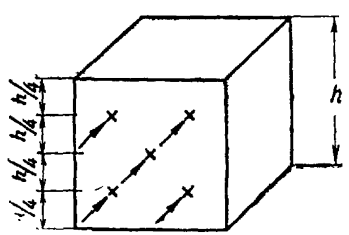


Рис. 3.6. Схема измерения скорости звука на бетонных образцах

3.2.25. Каждый образец прозвучивается с использованием искательных головок с частотой 150 кГц. Скорость звука измеряется на трех уровнях по высоте в соответствии с рис. 3.6. Если скорости звука, измеренные в разных точках образца, отличаются более чем на 5%, то образец бракуется из-за неоднородной структуры.

3.2.26. Образцы, на которых проведено измерение скорости звука, в дальнейшем подвергаются механическим испытаниям для получения значений прочности на сжатие. Результаты ультразвуковых и механических испытаний заносятся в журнал по форме, приведенной в табл. 3.4.

3.2.27. На основании результатов ультразвуковых и механических испытаний строится тарировочный график «скорость звука — прочность», который используется для оценки прочности бетона в конструкции по скорости звука.

Зависимость «скорость звука — прочность» может быть использована только в том случае, если средняя квадратическая погрешность

$$S=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{i=n}\left(\frac{R_i}{R_{ci}}-1\right)^2}\cdot 100\%\leqslant 12\%, \qquad (3.3)$$

где n — число образцов;

R_i и R_{ci} — прочность по данным механических испытаний и по зависимости «скорость — прочность» соответственно.

3.2.28. Прочность бетона в конструкции по переходным формулам контролируется только в случае, если количество контрольных образцов или кернов (5—10 шт.) недостаточно для построения тарировочной кривой.

3.2.29. Контрольные образцы или керны прозвучиваются в целях определения скорости звука, а затем испытываются на прессе для оценки прочности на сжатие.

3.2.30. Прочность бетона в конструкции

$$R_{\text{констр}}=R_{\text{куб}}\left(\frac{C_{\text{констр}}}{C_{\text{куб}}}\right)^4\cdot\left(\frac{\rho_{\text{констр}}}{\rho_{\text{куб}}}\right)^2, \qquad (3.4)$$

где $R_{\text{куб}}$ — средняя прочность контрольных образцов, кгс/см²;

$C_{\text{куб}}$, $C_{\text{констр}}$ — средняя скорость звука в контрольных образцах и в конструкции, м/с;

$\rho_{\text{куб}}$, $\rho_{\text{констр}}$ — средняя объемная масса бетона в контрольных образцах и в конструкции, г/см³.

3.2.31. Если объемная масса бетона в образцах или кернах незначительно отличается от объемной массы бетона в конструкции (менее 5%), то прочность бетона в конструкции

$$R_{\text{констр}}=R_{\text{куб}}\left(\frac{C_{\text{констр}}}{C_{\text{куб}}}\right)^4. \qquad (3.5)$$

При проектной марке бетона 500 и выше прочность бетона в конструкции

$$R_{\text{констр}}=R_{\text{куб}}\left(\frac{C_{\text{констр}}}{C_{\text{куб}}}\right)^5. \qquad (3.6)$$

3.2.32. Прочность бетона в конструкции контролируется ультразвуковым методом по обобщенным тарировочным кривым, по-

Таблица 3.4

Журнал испытаний контрольных бетонных образцов

Дата испытаний	Марка образца	Номер образца	Возраст образцов, сутки	Масса, кг	Рабочая площадь, см²	Результаты ультразвуковых испытаний					Результаты механических испытаний	
						номер точки прозвучивания	база, мм	время, мкс	скорость звука, м/с	средняя скорость, м/с	разрушающая нагрузка, кгс	прочность, кгс/см²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
21.01.74 г.		*1*	*28*	*18,8*	*400*	*1*	*200,5*	*48,2*	*4150*	*4178*	*122 000*	*305*
						2	*200,5*	*48,0*	*4180*			
						3	*201,0*	*49,2*	*4090*			
						4	*199,0*	*47,2*	*4210*			
						5	*199,0*	*46,7*	*4260*			

Примечание. В графе 2 приводится состав бетона, марка, гип заполнителя и марка цемента.

лученным на других объектах испытаний, только в том случае, если отсутствуют контрольные образцы или керны для данного состава бетона. Возможная ошибка определения прочности в зависимости от опыта оператора может составлять от 15 до 50%. Для

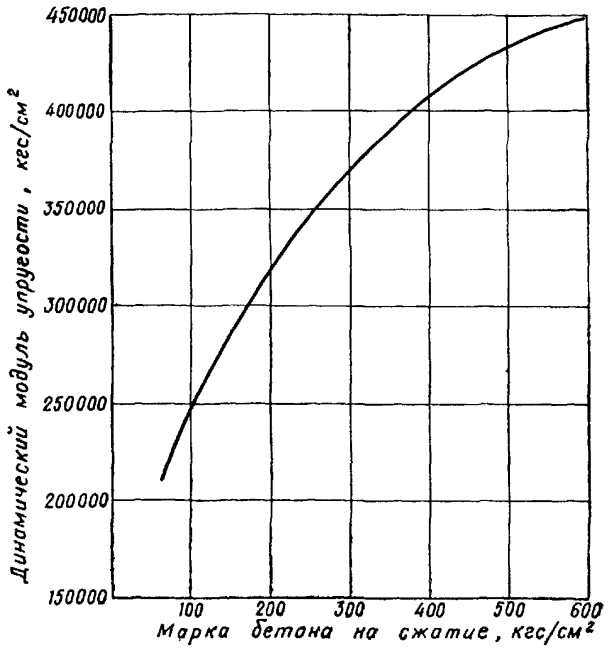


Рис. 3.7. Эмпирическая зависимость динамического модуля упругости от марки бетона

уменьшения ошибки необходимо правильно выбирать тарировочный график и учитывать факторы, влияющие на скорость звука.

3.2.33. В качестве обобщенных тарировочных кривых для приближенной оценки прочности бетонов марки 200—400 на гранитном заполнителе используются эмпирические зависимости (см. п. 3.2.1).

3.2.34. Прочность бетона в конструкции по модулю упругости контролируется в случае, указанном в п. 3.2.32, и оценивается путем определения динамического модуля упругости

$$E = 8{,}5 \cdot 10^3 \rho C^2, \qquad (3.7)$$

где ρ — объемная масса бетона, г/см³;

C — скорость звука в бетоне конструкции, км/с.

Объемная масса бетона в конструкции определяется радиационным методом в соответствии с указаниями разд. 3.7. При отсут-

ствии данных радиометрических испытаний для бетона нормального уплотнения объемная масса принимается равной 2,4 г/см^3, и по эмпирической кривой (рис. 3.7) определяется марка бетона.

3.2.35. Кроме физико-механических свойств бетона (модуль упругости, прочность, плотность) на скорость звука в нем оказывают влияние:

— возраст бетона;

— водоцементное отношение;

— тип крупного заполнителя и соотношение количеств крупного заполнителя и цемента;

— наличие арматуры;

— влажность;

— нарушения сплошности.

3.2.36. С увеличением возраста бетона скорость звука в нем возрастает, это позволяет контролировать прочность в процессе твердения бетона.

3.2.37. Увеличение водоцементного отношения приводит к увеличению объема пор, снижению прочности и, следовательно, к уменьшению скорости звука.

3.2.38. Скорость звука изменяется в пределах 4—5% при изменении типа крупного заполнителя и его процентного содержания в бетоне.

3.2.39. Наличие арматуры, которое оказывает существенное влияние на скорость звука, учитывается в соответствии с п. 3.2.13.

3.2.40. Увеличение влажности бетона до полного насыщения вызывает увеличение скорости звука на 3%.

3.2.41. Наличие микро- и макротрещин приводит к резкому уменьшению скорости звука. Это явление используется для контроля размеров трещин (разд. 3.4). При наличии трещин прочность бетона контролируется прозвучиванием вдоль трещин.

3.3. Склерометрический метод оценки поверхностной прочности бетона

3.3.1. Склерометрический метод испытания прочности бетона регламентирован ГОСТ 10180—74 и предназначен для определения прочности (твердости) поверхностного слоя бетона.

3.3.2. К склерометрическим методам испытания прочности бетона относят:

— метод упругого отскока;

— метод пластических деформаций.

3.3.3. Метод упругого отскока заключается в том, что специальный боек определенной массы с помощью пружины с заданными жесткостью и предварительным натяжением ударяет по концу металлического стержня (ударника), прижатого другим концом к поверхности испытываемого бетона. В результате удара боек отскакивает от ударника, при этом величина отскока зависит от упругих свойств бетона, а следовательно, и от его прочности. Величина отскока фиксируется по шкале прибора с помощью спе-

циального указателя. Зависимость между величиной отскока и прочностью бетона устанавливается опытным путем на эталонах, по которым строятся тарировочные графики.

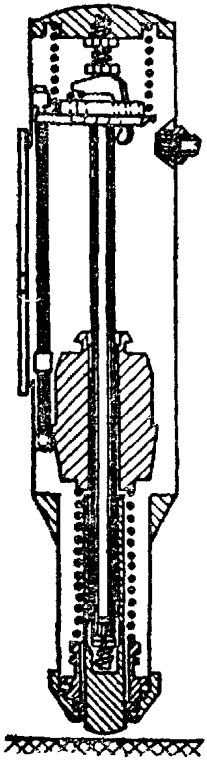


Рис. 3.8. Склерометр

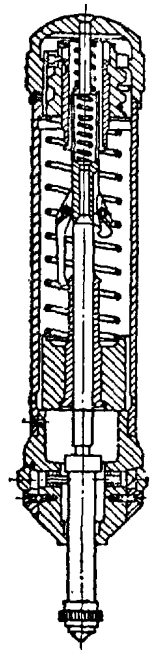


Рис. 3.9. Ударный молоток с эталонным стержнем

3.3.4. Метод пластических деформаций состоит в том, что о прочности бетона судят по величине пластических деформаций (отпечатков), полученных от вдавливания в поверхность бетона стальных шариков, дисков или штампов, а также по отношению величин отпечатков на его поверхности и эталоне или непосредственно по величине отпечатка или вмятины на поверхности бетона. Во всех случаях строятся тарировочные графики.

3.3.5. Испытание методом упругого отскока осуществляется приборами — склерометрами. Общий вид склерометра показан на рис. 3.8, а применяемые на практике приборы приведены в табл. 3.5.

Для испытания методом пластических деформаций используются приборы трех типов:

— ударные молотки с эталонным стержнем (рис. 3.9) — эталонные молотки («молотки, сравнивающие диаметры вдавливаний»);

Таблица 3.5

Приборы склерометрических методов испытания

Метод		Прибор
Упругого отскока		Молоток Шмидта Прибор В. В. Царицына Прибор КИСИ Прибор ЦНИИСК
Пластических деформаций	Динамического действия	Молоток И. А. Физделя Прибор ЛИСИ Прибор ДПГ-4 (прибор А. М. Губбера) Прибор ХПС стандарт ДИН-4240 Молоток К. П. Кашкарова Прибор Польди-Вайцмана Прибор Васильева Прибор ДОРНИИ
	Статического действия	Прибор Г. К. Хайдукова Прибор М. А. Новгородского

— ударные молотки с заданной массой и энергией удара — шариковые молотки и маятниковые приборы («молотки, измеряющие вдавливание»);

— гидравлические штампы (рис. 3.10).

3.3.6. Оценка поверхностной прочности (твердости) бетона склерометрическими методами включает:

— построение тарировочных графиков;

— выбор контрольных участков;

— подготовку поверхности;

— проведение измерений;

— оценку прочности (твердости) по тарировочным графикам.

3.3.7. Тарировочные графики представляют собой зависимости между прочностью (твердостью) бетона и соответствующими склерометрическими характеристиками, устанавливаемыми опытным путем.

3.3.8. Для построения тарировочного графика используются результаты параллельных испытаний бетонных образцов разрушающими и неразрушающими (склерометрическими) методами, при этом для нанесения на график экспериментальных точек берутся значения средней прочности бетона (как среднее арифметическое пределов прочности отдельных образцов одной серии) и соответствующие им средние показатели склерометрических испытаний. Тарировочная кривая пригодна для использования, если частные значения прочности, нанесенные точками на график, в 95% слу-

чаев не будут отклоняться от средней прочности, характеризуемой кривой, более чем на ±15%.

3.3.9. Для построения тарировочного графика используются результаты испытания не менее 36 бетонных образцов размером 20×20×20 см или 15×15×15 см, изготовленных из трех замесов бетонной смеси одинакового состава на одних и тех же материалах и твердевших в таких же условиях, что и бетон в конструк-

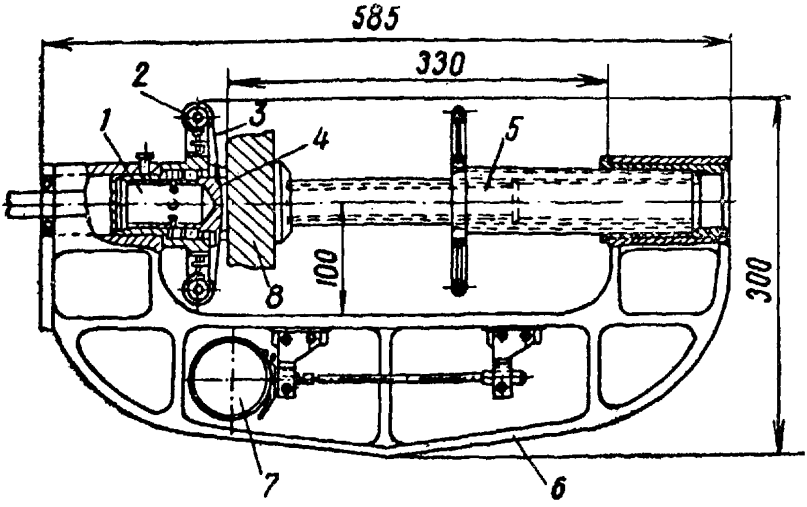


Рис. 3.10. Гидравлический штамп:

1 — гидравлический домкрат; *2* — кассета; *3* — бумага (белая или копировальная); *4* — штамп; *5* — опорный винт; *6* — силовая скоба; *7* — индикатор усилия; *8* — бетон изделия

ции. Для каждого состава бетона строится свой тарировочный график. Испытания образцов-близнецов каждой серии производятся в возрасте 3, 7, 28 и 90 суток — по три образца в каждый срок.

3.3.10. Перед механическим испытанием на сжатие образец подвергается склерометрическому испытанию. Для этой цели образцы зажимают между опорными плитами пресса или фиксируют их положение специальным приспособлением так, чтобы при испытании образец не мог сместиться. На выбранную для испытания грань образца наносят не менее пяти ударов или оттисков для получения примерно равноценных результатов измерений. При необходимости дополнительных измерений удары (оттиски) наносят на противоположную грань образца. Удары (оттиски) наносят в центре грани образца и по окружности не ближе 20 мм от центра и 50 мм от краев образца.

3.3.11. Для построения тарировочной кривой на график наносятся точки, соответствующие средней прочности бетона, вычисленной по результатам испытания на сжатие в заданном возрасте серии не менее чем из трех образцов, и соответствующий ей средний

показатель склерометрического испытания тех же образцов; нанесенные точки соединяются плавной кривой.

Примеры тарировочных графиков представлены на рис. 3.11—3.14.

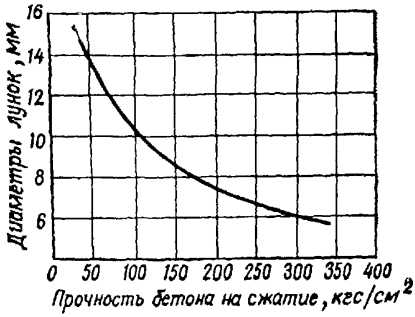


Рис. 3.11. Тарировочный график, построенный по испытаниям молотком И. А. Физделя

3.3.12. При проведении склерометрических испытаний на объекте, для которого нет тарировочной кривой, ориентировочное значение прочности бетона в конструкции можно определить, используя

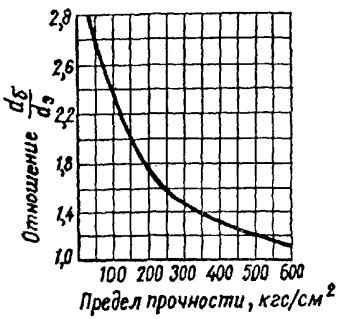


Рис. 3.12. Тарировочный график, построенный по испытаниям молотком К. П. Кашкарова

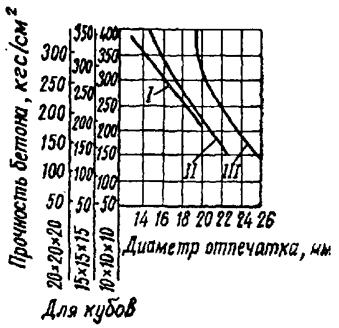


Рис. 3.13. Тарировочный график, построенный по испытаниям прибором Г. К. Хайдукова

универсальные тарировочные графики, приведенные в инструкциях по определению прочности бетона прибором данного типа, при этом должно быть проведено параллельное испытание не менее пяти контрольных образцов неразрушающими и разрушающими методами для привязки к универсальной тарировочной кривой при последующих неразрушающих испытаниях.

Если на объекте не сохранились контрольные образцы или их количество недостаточно, то они должны быть вырезаны из конструкции. Если вырезать образцы невозможно и нет образцов, изготовленных во время возведения сооружения, но известен состав бетона и имеются материалы, использованные на объекте для при-

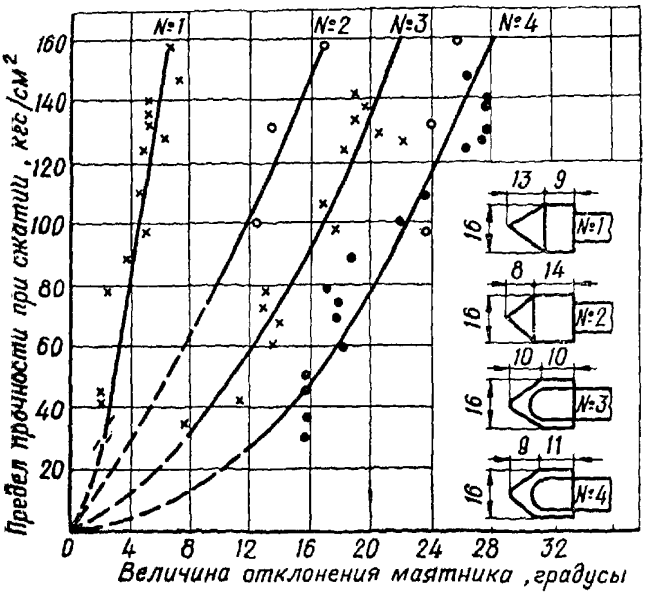


Рис. 3.14. Тарировочный график, построенный по испытаниям прибором В. В. Царицына

готовления бетонной смеси, то можно использовать результаты, полученные при испытании в 28-дневном и более позднем возрасте специально приготовленных для этой цели образцов из бетона принятого состава.

3.3.13. Прибор следует чистить и контролировать не реже одного раза в месяц или после 2000 ударов. При контроле установить отсутствие трещин и деформации на шариках и ударниках. При обнаружении неисправности использовать прибор не разрешается.

Для пружинных приборов, у которых усталость пружины влияет на результаты испытаний, следует проверять их постоянные по энергии удара с помощью эталонов, имеющихся в комплекте каждого прибора, перед каждой серией испытаний. Если изменение величины постоянных достигает ±5%, то результаты измерений, полученные после последней проверки прибора, использовать нельзя, а сам прибор при невозможности устранения неисправности должен быть забракован.

3.3.14. Перед проведением склерометрических испытаний необходимо выбрать и соответствующим образом подготовить участки контроля. Количество участков для каждой конструкции или изделия в зависимости от их ответственности и размеров должно быть не менее двенадцати, причем 2/3 из них должны быть в наиболее нагруженных зонах конструкции. Остальные участки должны располагаться равномерно по всей поверхности конструкции, особенно в местах, где бетон по внешнему виду кажется наименее прочным.

3.3.15. Если поверхность испытываемого бетона имеет слои затирки, штукатурки, облицовки и т. п., необходимо расчистить участки контроля, сняв закрывающие слои до чистого бетона.

3.3.16. При выборе участков контроля следует использовать в первую очередь боковые поверхности конструкции, соприкасавшиеся при бетонировании со стенками формы или опалубки. Не следует выбирать участки у стыков досок опалубки, гнезд скопления крупного заполнителя, пористых и других дефектных мест поверхности конструкции. Мелкие неровности, образовавшиеся из-за применения нестроганой деревянной опалубки, а также твердый поверхностный слой бетонов, возраст которых превышает 1 год, следует удалять на толщину 3—5 мм шлифовальным камнем. При испытании верхней горизонтальной поверхности удалить с нее слой затвердевшего цементного камня.

3.3.17. Нормальным для склерометрических испытаний следует считать воздушно-сухое состояние поверхности бетона. Поэтому, как правило, испытывать бетон сразу после распалубки, пропаривания или обильного увлажнения нельзя. Перед проведением испытаний бетон необходимо подсушить на открытом воздухе не менее 48 ч. При необходимости допускается ускоренное подсушивание поверхности бетона на выбранных для испытания участках с помощью калориферов, инфракрасных лучей и т. д.

3.3.18. При склерометрических испытаниях бетонов, находящихся во влажном состоянии, следует пользоваться тарировочными кривыми, построенными по результатам испытания образцов бетона, твердеющих в тех же условиях, что и бетон в конструкции, и имеющих примерно одинаковую влажность.

3.3.19. Поверхность испытываемого бетона должна быть аналогичной поверхности бетонных образцов, использованных для построения тарировочной кривой.

3.3.20. Если поверхностный слой бетона разрушен вследствие замораживания или коррозии и легко расчищается с помощью металлических щеток или пескоструйного аппарата, этот слой следует предварительно удалить.

3.3.21. Каждый участок испытания должен иметь площадь не менее 100 см^2, с тем чтобы можно было провести 5—10 измерений по цементному камню без прикосновения к большим зернам крупного заполнителя.

3.3.22. При выборочном контроле поврежденного бетона (замораживание, химическое воздействие и т. п.) количество и расположение участков испытаний устанавливаются программой обсле-

Таблица 3.6

Журнал склерометрических испытаний бетона

Объект _____ Дата _____

Сооружение _____ Время _____ Кто проводит _____

Тип прибора	Участок измерения		Визуальная характеристика участка испытаний	Результаты испытаний		Прочность по графику, кгс/см²	Примечание
	№ участков	№ точек		размер отпечатка, мм	среднее значение, мм		

Подпись _____

дования конструкций и сооружений. Участки испытания должны охватывать как наиболее, так и наименее поврежденные места конструкций.

3.3.23. Испытания проводятся путем нанесения серии ударов или вдавливаний штампа в поверхность бетона на выбранных участках конструкции, изделия или сооружения в соответствии с инструкцией, прилагаемой к данному прибору.

3.3.24. После каждого удара или вдавливания определяются диаметр сферической лунки и размер отпечатка диска. Диаметр лунки измеряется в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью до 0,1 мм, при этом за расчетную принимается средняя величина диаметра. Отпечатки на бетоне, получаемые в результате падения диска, а также отпечатки на эталонном стержне измеряются в направлении большой оси.

3.3.25. Для облегчения отсчетов рекомендуется на участках измерений класть на поверхность бетона копировальную или тонкую белую бумагу. Это облегчает обработку результатов измерений и служит документальным подтверждением проведения испытаний.

3.3.26. Для измерения величины отпечатков рекомендуется пользоваться увеличителем со шкалой. Погрешность измерения не должна превышать $\pm 0{,}01$ мм. Допускается использование углового масштаба.

3.3.27. При использовании эталонных молотков диаметр лунки, образовавшейся на поверхности бетона, необходимо сравнивать с диаметром отпечатка, полученным на эталоне, для установления показателя твердости поверхностного слоя

$$T = H_m \frac{d^2}{D^2}, \qquad (3.8)$$

где H_m — твердость эталона по Майеру, кгс/мм^2 (дан/мм^2);

d — диаметр вдавливания в эталоне, мм;

D — диаметр вдавливания в бетоне, мм.

Примечание. Значения величин d и D измерять согласно п. 3.3.24.

3.3.28. Фактическая прочность бетона определяется по тарировочному графику типа «$T - R$», «$\frac{D}{d} - R$», «диаметр отпечатка — прочность кубов».

3.3.29. Результаты контроля заносятся в журнал испытаний по форме табл. 3.6.

3.4. Ультразвуковой метод контроля размеров трещин и обнаружения поверхностных повреждений

3.4.1. В основе ультразвукового метода контроля размеров трещин в бетоне конструкций лежит явление «непроницаемости» для ультразвука мест разрыва сплошности бетона (трещин) и огибание их волнами ультразвукового импульса по соседним участкам бетона с ненарушенной структурой. При огибании трещины путь

импульса, а соответственно и время его распространения удлиняются: чем больше трещина, расположенная на пути распространения импульса, тем больше регистрируемое время его распространения по кратчайшему пути. По увеличению времени и могут быть вычислены размеры трещины, при этом скорость ультразвука в бетоне, не имеющем трещин, считается неизменной.

3.4.2. Ультразвуковым методом выявляются трещины как в глубине бетонного массива, так и на его поверхности при условии, что поверхность разрыва бетона составляет с направлением распространения импульса угол не менее 20—25°, а сама трещина не заполнена цементным раствором, водой, льдом и т. п. и не пересекается арматурными стержнями и другими проводниками ультразвука в зоне измерений.

3.4.3. При применении ультразвукового метода обнаружения поверхностных повреждений бетона и оценки глубины распространения повреждений бетона используется явление снижения скорости распространения импульса и уменьшения его амплитуды. Это связано с поверхностным разрушением бетона при коррозионных процессах, воздействии агрессивных факторов, сильном нагревании, многократном замерзании, оттаивании и т. п. В перечисленных случаях преломленная волна ультразвука в нижележащем неразрушенном массиве обгоняет волну в верхнем слое и может быть зарегистрирована (метод преломленных волн).

3.4.4. Применение метода ограничено случаями, когда имеется непосредственный доступ к поверхности бетона на участке, размеры которого в 10 и более раз превышают глубину поврежденного слоя, когда может быть надежно измерена скорость ультразвука в нем, а снижение скорости в бетоне из-за повреждений составляет не менее 10—15%.

3.4.5. Размеры трещин, выходящих на поверхность конструкции и перпендикулярных к ней, измеряются следующим образом:

— на участке измерения глубины трещины перпендикулярно к ее направлению на поверхности конструкции разбивается база измерений l_0 длиной 1—2,5 предполагаемой глубины $h_т$ трещины (рис. 3.15);

— на расстоянии l' от трещины на линии базы устанавливается излучатель ультразвука, с другой стороны на расстоянии $l_0 - l'$ — приемник ультразвука; излучатель и приемник можно устанавливать на одинаковом удалении от трещины в соответствии с условием

$$l' = 0{,}5 l_0; \tag{3.9}$$

— ультразвуковым прибором измеряется время распространения импульса в обход трещины по кратчайшему расстоянию на участке $l_1 + l_2$ (рис. 3.15, *б*);

— на соседнем участке без трещины измеряется время рас-

пространения ультразвука на такой же базе l_0 и вычисляется глубина трещины

$$h_т = \sqrt{\frac{1}{4}\left[l_0 \frac{t_1}{t_0} - (l_0 - 2l') \frac{t_0}{t_1}\right]^2 - (l')^2}, \qquad (3.10)$$

где l_0 — база измерений (расстояние между излучателем и приемником);

l' — расстояние вдоль базы от излучателя до трещины;

t_0, t_1 — измеренное время прохождения импульса между излучателем и приемником при отсутствии и при наличии трещины.

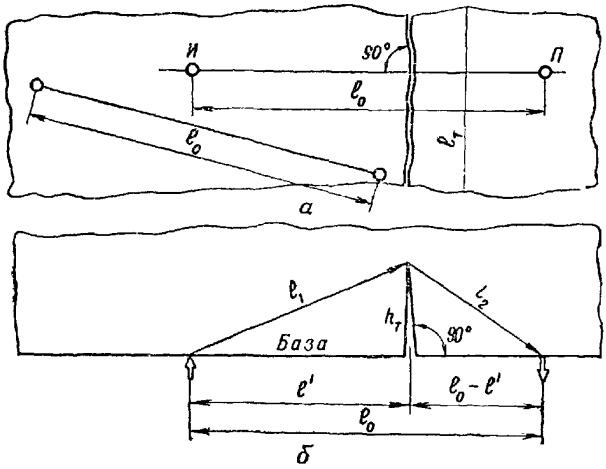


Рис. 3.15. Установка датчиков для измерения размеров трещин в бетоне:
а — вид сверху; *б* — вид сбоку

Размер трещины на поверхности конструкции $l_т$ может быть измерен непосредственно метром, рулеткой и т. п.

3.4.6. Для измерения времени t_0 выбирается (рис. 3.15) участок той же конструкции, не имеющий трещин («привязочные» измерения), причем по своим характеристикам он не должен отличаться от участка с трещиной.

Время определяется по формуле

$$t_0 = \frac{l_0}{C_0}, \qquad (3.11)$$

используемой для вычисления скорости распространения импульса C_0 на участке без трещины (приблизительно одинаковой со скоростью импульса в бетоне в районе трещины).

3.4.7. Если по условиям измерений база не равна l_0, то по времени $t_{пр}$ привязочных измерений, зафиксированному на базе $l_{пр}$, вычисляют скорость

$$C_0 = \frac{l_{пр}}{t_{пр}}. \qquad (3.12)$$

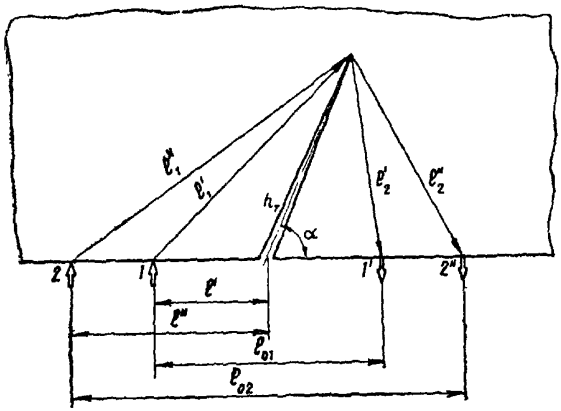


Рис. 3.16. Схема измерения глубины наклонных трещин

3.4.8. При расположении излучателя и приемника на одинаковом расстоянии от трещины глубина ее

$$h_т = \frac{l_0}{2t_0}\sqrt{t_1^2 - t_0^2} = \frac{C_0}{2}\sqrt{t_1^2 - t_0^2}. \qquad (3.13)$$

3.4.9. Если трещина наклонена к поверхности конструкции под углом α (рис. 3.16) и этот угол можно измерить непосредственно (например, трещина проходит по балке и видна на ее боковой поверхности), то действительная глубина трещины

$$h_т = \frac{l_0}{2}\frac{t_1}{t_0}\sqrt{\frac{t_1^2 - t_0^2}{t_1^2 - t_0^2\cos^2\alpha}} = \frac{C_0 t_1}{2}\sqrt{\frac{t_1^2 - t_0^2}{t_1^2 - t_0^2\cos^2\alpha}}. \qquad (3.14)$$

Время t_1 измеряется при расположении излучателя и приемника на одинаковом удалении от выхода трещины на поверхность конструкции, т. е. в соответствии с условием (3.9), другие величины — в соответствии с пп. 3.4.5—3.4.7.

3.4.10. Если непосредственно измерить угол α невозможно, то он определяется путем двукратных импульсных измерений, как показано на рис. 3.16. При первом измерении излучатель и приемник располагаются в точках *1* и *1'* и измеряется время t_1; при втором измерении — в точках *2* и *2'* и измеряется время t_2.

При этих измерениях следует соблюдать условие (3.9), а каждый датчик должен находиться от трещины в пределах одной-двух ее предполагаемых глубин.

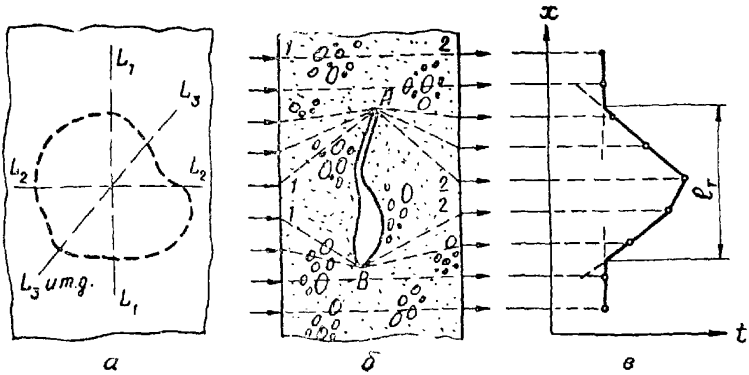


Рис. 3.17. Схема определения размеров внутренних трещин:
а — вид сверху; *б* — вид сбоку; *в* — форма годографа

3.4.11. Глубина наклонной трещины

$$h_т = \frac{l_{01}}{2}\tau_1 \sqrt{\frac{(\tau_1^2 - 1) - (\tau_2^2 - 1)\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2}{\tau_1^2 - \tau_2^2}}, \qquad (3.15)$$

где $\tau_1 = \frac{t_1}{t_{01}}$, $\tau_2 = \frac{t_2}{t_{02}}$, $t_{01} = \frac{l_{01}}{C_0}$, $t_{02} = \frac{l_{02}}{C_0}$;

l_{01} — база первого измерения;
l_{02} — база второго измерения;
C_0 — скорость, определяемая из «привязочных» измерений по формуле (3.12).

3.4.12. Угол наклона трещины к поверхности конструкции определяется из формулы

$$\cos\alpha = \sqrt{\frac{k_1\tau_2^2 - k_2\tau_1^2}{k_1 - k_2}}, \qquad (3.16)$$

где $k_1 = (\tau_1^2 - 1)t_1^2$, $k_2 = (\tau_2^2 - 1)t_2^2$,

или

$$\cos\alpha = \tau_1 \sqrt{1 - \frac{l_{01}^2}{4h_т^2}(\tau_1^2 - 1)}, \qquad (3.17)$$

где $h_т$ определяется по формуле (3.15).

3.4.13. Локальная трещина, или пустота, в теле бетонной конструкции выявляется методом сквозного прозвучивания при наличии свободного доступа к противоположным поверхностям конструкции (рис. 3.17).

На противоположных сторонах конструкции строго друг против друга разбиваются линии измерений L_1—L_1, L_2—L_2 и т. д. (рис. 3.17, *а*).

Измерения проводят вдоль каждой линии, приемник и излучатель с постоянным шагом от 5 до 15 см переставляют в новое положение друг против друга; в точках *1* и *2* (рис. 3.17, *б*) каждый раз измеряют время распространения импульса ультразвука, которое откладывается в определенном масштабе на графике (годографе) в координатах x—t.

Годограф (рис. 3.17, *в*) дает время распространения импульса по кратчайшим расстояниям *1—2* либо *1—А—2*, *1—В—2* (рис. 3.17, *б*). Размер трещины (пустоты) в направлении линии измерений фиксируется на участке между изломами линии годографа ($l_т$ на рис. 3.17, *в*). Для определения размеров трещины (пустоты) в других направлениях проводят измерения и соответствующие построения годографов по другим направлениям (L_2—L_2, L_3—L_3 и т. д.). Если трещина расположена под некоторым углом к внешним плоскостям конструкции, то можно получить лишь размеры проекции ее поверхности на эти плоскости.

3.4.14. Для оценки поверхностных повреждений бетона конструкции необходимо:

— на поверхность конструкции нанести направление измерений (прямая линия);

— в точке начала измерений установить излучатель (рис. 3.18, *а*) и по направлению измерений последовательно в точки *1*, *2*, *3*,..., n — приемник импульсов; расстояние между точками (с округлением до целых сантиметров)

$$\Delta l = \frac{C_2 T}{2}, \qquad (3.18)$$

где C_2 — ориентировочная скорость импульса в неповрежденном бетоне;

T — видимый период колебания, принятого приемником;

— каждый раз измеряя время распространения импульса t_1, t_2, ..., t_n на базах l_1, l_2, ..., l_n соответственно, построить годограф (рис. 3.18, *б*) в координатах время — база;

— по параметрам годографа определить глубину поверхностных повреждений

$$a = \frac{l_0}{2}\sqrt{\frac{C_2 - C_1}{C_2 + C_1}}, \qquad (3.19)$$

где l_0 — расстояние по горизонтальной оси годографа от излучателя до точки прихода преломленной волны со скоростью C_2 из неповрежденного бетона, определяемое на пересечении в точке A продолжений двух прямолинейных участков годографа;

C_1 — скорость импульса в поврежденном слое бетона.

3.4.15. Скорости импульса в поврежденном и неповрежденном бетоне определяются по годографу, как показано на рис. 3.18, *б*, по формулам:

$$C_1 = \operatorname{tg}\alpha = \left(\frac{\Delta l}{\Delta t}\right)_1; \tag{3.20}$$

$$C_2 = \operatorname{tg}\beta = \left(\frac{\Delta l}{\Delta t}\right)_{II}. \tag{3.21}$$

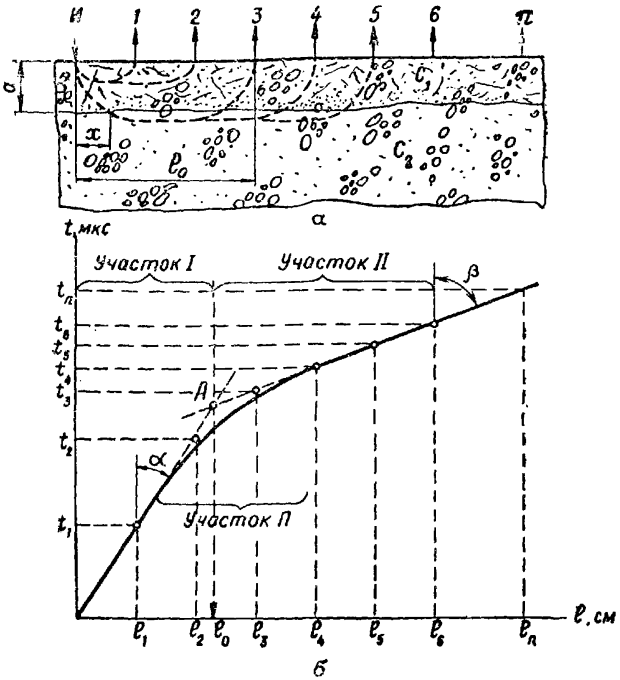


Рис. 3.18. Схема регистрации поверхностных повреждений методом годографа

Для повышения точности вычислений целесообразно брать на прямолинейных участках I и II годографа значения Δl и Δt возможно большей величины.

3.4.16. *Показателями степени повреждения бетона* являются глубина a и снижение скорости распространения ультразвука

$$\delta C = \frac{C_2 - C_1}{C_2} \cdot 100\%. \tag{3.22}$$

3.4.17. По снижению скорости можно ориентировочно оценить прочность бетона (см. разд. 3.2). Поскольку обычно нет резкой

границы между поврежденным и неповрежденным бетоном, величина a носит несколько условный характер. Переходный слой от неповрежденного к поврежденному бетону изображается криволинейным участком годографа (участок $П$ на рис. 3.18).

3.5. Магнитный метод контроля параметров армирования

3.5.1. Магнитный метод контроля параметров армирования, физические основы которого изложены в разд. 2.3, применяется для определения толщины защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях, диаметра и положения арматуры, а также мест отгиба или обрыва стержней.

3.5.2. Магнитный метод используется при толщине защитного слоя не более 60 мм и при диаметре арматуры 6 мм и более. В остальных случаях параметры армирования оцениваются радиационным методом в соответствии с разд. 3.6.

3.5.3. Точность оценки толщины защитного слоя составляет $\pm 5\%$, диаметра арматуры — $\pm 10\%$ и мест расположения торцов арматурных стержней — ± 20 мм.

3.5.4. Перед проведением измерений необходимо проверить балансировку и тарировку прибора.

3.5.5. Балансировка прибора проверяется при отсутствии металлических предметов в радиусе не менее 400 мм от прибора.

3.5.6. Тарировка прибора проводится с помощью эталонов диаметром 6, 12, 18 или 24 мм и длиной 350—400 мм путем изменения расстояния между датчиком и эталонным стержнем. Разброс точек тарировочного графика не должен превышать 5% средней толщины защитного слоя.

3.5.7. Количество контролируемых точек определяется задачей контроля и требованиями к изделию. Как правило, контролируются участки железобетонных конструкций в местах максимальных усилий (изгибающих моментов, поперечных и продольных сил) и на участках отгиба или обрыва стержней.

3.5.8. Перед проведением измерений проверяется чувствительность прибора, для чего датчик прибора размещают на расстоянии 20—60 мм от металлического изделия (эталона), при этом стрелка прибора должна смещаться в соответствии с приближением или удалением прибора от металлического изделия.

3.5.9. Поверхность железобетонного изделия должна быть гладкой (неровности не должны превышать 1—2 мм).

3.5.10. Для определения фактического положения арматурных стержней датчик перемещают по поверхности бетона до максимального (в некоторых приборах минимального) отклонения стрелки прибора. В этом случае продольная ось датчика примерно совпадает с направлением арматурного стержня. Точного совпадения добиваются плавными перемещениями датчика влево и вправо от оси арматуры и поворотом его на угол 5—10° относительно вертикальной оси.

Таким образом определяются положения отдельных стержней, которые фиксируются нанесением линий на поверхность бетона. Полученные данные заносятся в журнал в виде схемы армирования.

3.5.11. Точки обрыва стержней определяются перемещением датчика над арматурой до момента отклонения стрелки прибора в исходное положение, соответствующее отсутствию металлических предметов вблизи датчика.

3.5.12. Для определения толщины защитного слоя бетона при известном диаметре арматуры датчик устанавливается вдоль оси обнаруженного арматурного стержня и снимаются показания прибора. По тарировочному графику или шкале прибора, соответствующим известному диаметру стержня, и определяют толщину защитного слоя.

3.5.13. Для определения диаметра арматурных стержней по показанию прибора находят толщины защитного слоя для нескольких значений диаметров арматурных стержней, используя соответствующие шкалы прибора или тарировочные графики. Затем между поверхностью бетона и датчиком прибора устанавливают неметаллическую пластину толщиной 10 мм и вновь проводят замер. Это показание прибора позволяет получить ряд новых значений толщины защитного слоя для тех же диаметров арматуры Искомый диаметр арматурного стержня соответствует тому значению диаметра, для которого величина защитного слоя при повторном измерении превышает значение толщины защитного слоя при первом измерении на 10 мм (толщину прокладки).

3.6. Радиационный метод контроля параметров армирования

3.6.1. Наряду с магнитным методом контроля параметров армирования толщина защитного слоя, размеры и расположение арматуры могут быть определены и радиационным методом.

Радиационный метод более трудоемок и дорог, но эти недостатки окупаются большей точностью и возможностью контроля не только расположения арматуры, но и качества ее сварки. Кроме того, в отличие от магнитного метода радиационный позволяет контролировать арматуру, расположенную в большой толще бетона. Следует учитывать также, что в процессе контроля параметров армирования могут быть выявлены и другие дефекты, например пустоты в обследуемых конструкциях.

3.6.2. Радиационный метод контроля параметров армирования регламентирован ГОСТ 17625—72 «Конструкции и изделия железобетонные. Методы определения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры просвечиванием ионизирующими излучениями», распространяемым на сборные и монолитные железобетонные конструкции и изделия из тяжелых, легких и ячеистых бетонов с предварительно напрягаемой или ненапрягаемой арматурой и устанавливающим методы определения толщины за-

щитного слоя бетона, размеров (диаметра и длины) и расположения арматуры.

Применение этого метода, а также нормируемые значения параметров армирования должны предусматриваться в стандартах

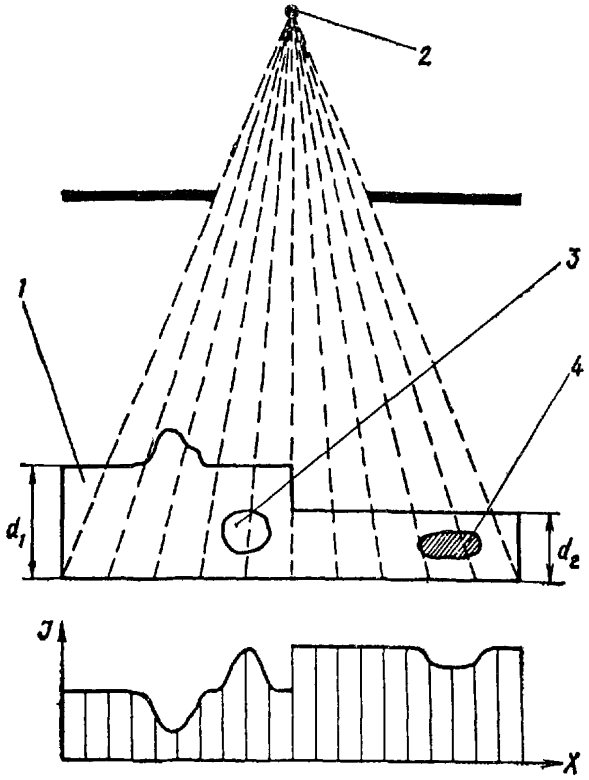


Рис. 3.19. Схема радиационного контроля параметров армирования:

1 — контролируемый объект; *2* — источник излучения; *3* — включения с пониженной плотностью; *4* — включения с повышенной плотностью

или технических условиях на железобетонные конструкции и изделия.

3.6.3. При контроле параметров армирования железобетонных изделий используется метод прошедшего излучения (теневой), схема которого показана на рис. 3.19.

На контролируемый объект падает поток рентгеновского или гамма-излучения от источника. За объектом образуется некоторое радиационное поле, примерный вид которого показан в нижней части рисунка. На участках с дефектами (включения с пониженной плотностью, пустоты или включения с повышенной плотностью) плотность потока (интенсивность) излучения соответствен-

но возрастает или уменьшается. Плотность потока излучения изменяется и при изменении толщины объекта. Следовательно, радиационное поле за просвечиваемым объектом несет информацию о толщине и плотности материала, а также о наличии в его структуре инородных включений (в том числе и арматуры) и пустот.

Теневое изображение объекта может быть зарегистрировано с помощью рентгеновской пленки (метод радиографии) или счетчиков того или иного типа (метод радиометрии) и затем проанализировано.

3.6.4. В качестве детектора излучения при контроле параметров армирования используются рентгеновские пленки, марки которых и технические характеристики приведены в табл. 2.9. Наряду с рентгеновскими пленками допускается применение и других детекторов, например ксерорадиографических пластин, обеспечивающих определение параметров армирования с требуемой точностью.

3.6.5. Железобетонные конструкции радиационным методом контролируются с помощью переносных или стационарных рентгеновских аппаратов, бетатронов и гамма-аппаратов, технические характеристики которых приведены в табл. 2.5, 2.6 и 2.8.

3.6.6. Для контроля железобетонных конструкций необходимо:

— подготовить конструкцию;

— выбрать источник излучения, фотоматериалы и способ зарядки кассет;

— подобрать фокусное расстояние и экспозицию;

— зарядить кассеты и закрепить их на контролируемой конструкции;

— установить источник излучения и провести съемку;

— провести химическую обработку пленок;

— расшифровать результаты контроля.

3.6.7. Подготовка конструкции заключается в удалении с обеих ее поверхностей посторонних предметов, разметке и маркировке контролируемых участков. Количество и расположение контролируемых участков должны быть указаны в рабочих чертежах конструкций и изделий в зависимости от их вида, назначения и предъявляемых к ним технических требований. Маркировка производится с помощью свинцовых знаков и должна быть воспроизведена на снимке.

3.6.8. Источник излучения выбирается с учетом толщины контролируемой конструкции, объемной массы бетона и требуемой производительности контроля. Ориентировочные данные для выбора источника излучения при контроле тяжелого бетона приведены в табл. 3.7.

При контроле изделий из легкого и ячеистого бетонов значения толщины слоя бетона, приведенные в табл. 3.7, следует увеличивать пропорционально отношению объемной массы тяжелого и контролируемого бетона.

3.6.9. При съемке используются кассеты из светонепроницаемого материала (черная бумага, дерматин), в которые заряжается пленка по одной из схем (рис. 3.20). Размеры радиографических

Таблица 3.7

Данные для выбора источника излучения

Толщина просвечиваемого слоя бетона, мм	Рекомендуемые типы аппаратов		
	гамма-аппараты	рентгеновские аппараты	бетатроны
До 60	«Бетон» РИД-21М	РУП-120-5-1	—
60—200	«Бетон» РИД-21М	РУП-200-5-1 РУП-400-5-1	ПМБ-3
200—500	РИД-22	—	ПМБ-3 ПМБ-6
500—1000	—	—	ПМБ-6
1000—1800	—	—	Б-15, Б-30

пленок, усиливающих экранов, кассет и маркировочных знаков определены ГОСТ 15843—70 «Принадлежности для промышленной радиографии. Основные размеры».

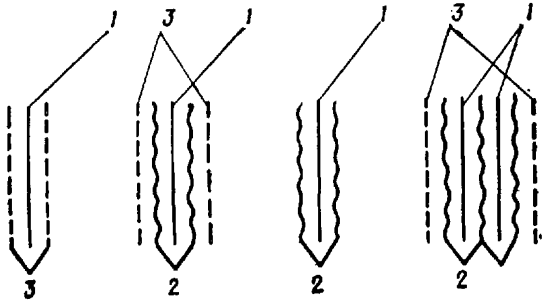


Рис. 3.20. Схема зарядки кассет:
1 — пленка; *2* — флуоресцирующий экран; *3* — металлический экран

Заряженные кассеты размещаются на той поверхности конструкции, ближе к которой находятся арматурные стержни, и неподвижно закрепляются на контролируемом изделии в соответствии с разметкой контролируемых участков.

При просвечивании заряженная кассета должна быть защищена от рассеянного излучения, для чего с тыльной стороны ее закрывают слоем материала, хорошо поглощающего применяемое излучение, например свинцом.

3.6.10. Для оценки качества снимка используются эталоны чувствительности, которые изготавливают из стальной проволоки диаметром 3 мм и закрепляют на просвечиваемом участке конструкции со стороны, обращенной к источнику излучения, с помощью пластилина или резиновой ленты. Если закрепить эталон таким образом невозможно, то разрешается его устанавливать между

конструкцией и кассетой, в этом случае диаметр проволоки должен быть не более 1 мм.

3.6.11. Источник излучения располагается со стороны, противоположной той, на которой установлена кассета, при этом ось пучка излучения должна проходить через центр пленки.

Для выбора оптимального режима просвечивания делается несколько пробных снимков с различными экспозициями.

3.6.12. После экспонирования пленку подвергают обработке. Процесс фотообработки пленки включает:

— проявление;

— промежуточную промывку;

— фиксирование изображения;

— окончательную промывку;

— сушку.

Химические реактивы, необходимые для фотообработки пленки, и оптимальные режимы этого процесса описаны в руководствах по радиографии.

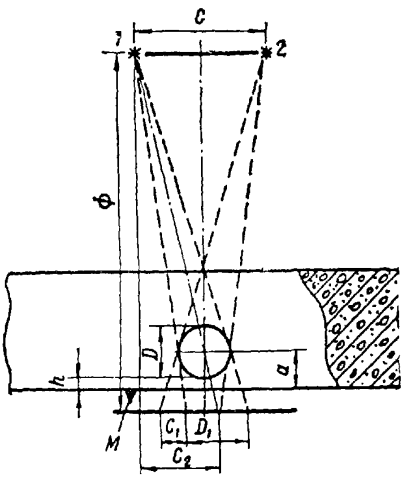


Рис. 3.21. Схема метода двойного просвечивания

3.6.13. Для определения толщины защитного слоя бетона, размеров и расположения арматуры используется метод двойного просвечивания со смещением источника излучения (рис. 3.21). Установив источник в положение *1*, просвечивают изделие, затем источник смещают на расстояние *C* (положение 2), под изделие подкладывают другую пленку и просвечивают его вторично. После этого оба изображения совмещают, ориентируясь на метку *M*, специально нанесенную на поверхность изделия, обращенную к пленке.

Диаметр арматурного стержня *D* и толщину защитного слоя *h* вычисляют по формулам:

$$D = D_1 \Phi \frac{C}{(C + C_1)\sqrt{\Phi^2 + C_2^2}}, \qquad (3.23)$$

$$h = \frac{\Phi C_1}{C + C_1} - \frac{D}{2}, \qquad (3.24)$$

где D_1 — проекция арматурного стержня на пленке;

Φ — фокусное расстояние;

C — расстояние между двумя положениями источника;

C_1 — смещение проекции арматурного стержня на пленке;

C_2 — расстояние от оси проекции стержня до прямой, проведенной через источник перпендикулярно к поверхности пленки.

Просвечивать изделие из обоих положений можно на одну и ту же пленку.

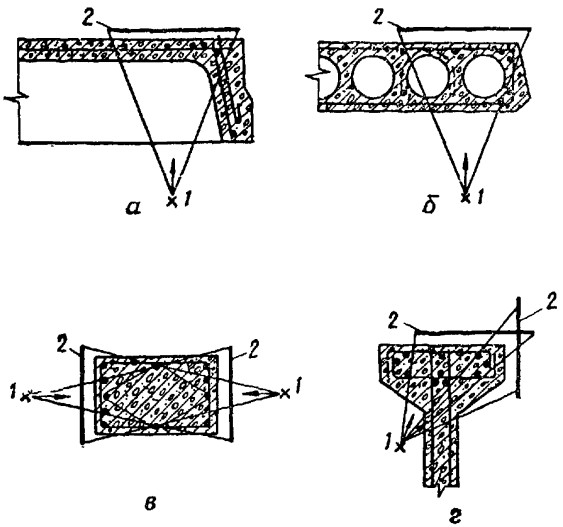


Рис. 3.22. Схемы просвечивания железобетонных конструкций: *а* — ребристый настил; *б* — многопустотный настил; *в* — колонна; *г* — односкатная балка; *1* — источник излучения; *2* — кассета с пленкой

Примерные схемы просвечивания железобетонных конструкций показаны на рис. 3.22.

3.6.14. Полученные снимки должны:

— содержать изображение всего контролируемого участка конструкции;

— иметь четкие изображения маркировочных знаков и эталона чувствительности;

— не иметь пятен, полос и повреждений эмульсионного слоя пленки, затрудняющих определение параметров армирования;

— иметь потемнение не менее 1,2 единиц оптической плотности.

3.6.15. Толщина защитного слоя бетона, размеры и расположение арматуры определяются по полученным снимкам путем измерения размеров и расположения проекций арматурных стержней с помощью стандартного измерительного инструмента, обеспечивающего точность измерений 1 мм.

Таблица 3.8

Журнал для записи результатов контроля

Наименование и паспортные данные конструкции	Расположение и маркировка просвечиваемых участков	Маркировка снимков	Тип прибора для просвечивания	Условия просвечивания	Результаты контроля			Заключение по результатам контроля	Фамилия и подпись оператора, дата проведения контроля
					толщина защитного слоя бетона, мм	диаметр арматуры, мм	расположение арматуры		

3.6.16. Полученные снимки могут быть использованы и для дефектоскопии, т. е. контроля наличия и качества сварки арматурных стержней и закладных деталей, а также для обнаружения пустот в бетоне.

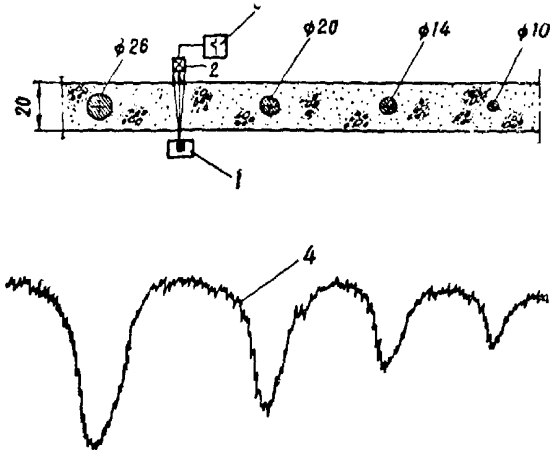


Рис. 3.23. Схема радиометрического контроля параметров армирования (железобетонная плита толщиной 20 см с арматурными стержнями разных диаметров):

1 — источник излучения; *2* — детектор излучения; *3* — регистрирующий прибор; *4* — диаграмма записи

3.6.17. Размеры и расположение арматуры и закладных деталей могут контролироваться и радиометрическим методом (рис. 3.23), который оперативнее радиографического и менее трудоемок.

При пересечении пучком излучения арматурного стержня плотность потока прошедшего излучения и показания регистрирующего прибора изменяются. Предварительная калибровка прибора дает возможность судить по его показаниям о диаметре арматурных стержней, а положение системы «источник — детектор излучения» в момент максимального изменения показания прибора — о расположении арматурного стержня.

3.6.18. Результаты контроля параметров армирования заносят в Журнал по форме табл. 3.8.

3.7. Радиационный метод контроля объемной массы и дефектоскопии бетона

3.7.1. Объемная масса (плотность) является одной из важнейших физико-механических характеристик бетона, от которой зависят прочность, водонепроницаемость, теплопроводность и некоторые другие свойства бетона.

Измерение объемной массы бетонной смеси позволяет судить о степени ее уплотнения в процессе бетонирования. Контроль объемной массы бетона в готовой конструкции дает информацию о фактических свойствах бетона в различных сечениях.

Поэтому задача оперативного контроля объемной массы и сплошности бетона является актуальной как при производстве сборного железобетона, так и при строительстве и эксплуатации

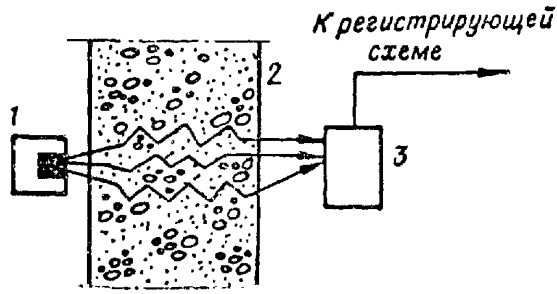


Рис. 3.24. Схема теневого метода контроля объемной массы бетона:
1 — источник излучения; *2* — контролируемый объект; *3* — детектор излучения

монолитных железобетонных сооружений. Применение радиационной дефектоскопии дает возможность находить такие дефекты железобетонных элементов, как трещины и пустоты, а также успешно контролировать качество заделки швов и стыков.

3.7.2. Радиационный метод определения плотности бетона регламентирован ГОСТ 17623—72 «Бетоны тяжелые, легкие и ячеистые. Радиоизотопные методы определения объемной массы».

Показатели объемной массы бетонов должны предусматриваться в стандартах или технических условиях на бетоны, а также на бетонные и железобетонные изделия и конструкции.

Данные об объемной массе, полученные радиационным методом, сравниваются с показателями, установленными соответствующими стандартами или техническими условиями.

3.7.3. При определении объемной массы используются методы прошедшего излучения (теневой) и рассеянного излучения. Первый может быть реализован при наличии доступа к контролируемой конструкции с двух сторон, а второй — при наличии доступа к контролируемому изделию только с одной стороны.

Теневой метод позволяет контролировать большую толщу бетона (до 2 м при использовании бетатрона), но применим далеко не ко всем конструкциям. Метод рассеяния более технологичен, но дает информацию об ограниченной толщине бетона (см. ниже).

3.7.4. Сущность теневого метода поясняется рис. 3.24.

В отсутствие поглотителя (контролируемого изделия) плотность потока гамма-квантов на расстоянии R от точечного источника излучения

$$n_0 = \frac{Q \cdot n_\gamma}{4\pi R^2}, \qquad (3.25)$$

где Q — активность источника, $с^{-1}$;

n_γ — среднее число квантов на 1 распад.

При наличии поглотителя плотность потока

$$n = n_0 B \exp(-\mu d), \tag{3.26}$$

где d — толщина поглотителя;

μ — линейный коэффициент ослабления потока излучения; его численное значение обратно толщине слоя вещества, по прохождении которого плотность потока гамма-квантов уменьшается в e раз;

B — фактор накопления рассеянного излучения,

или

$$n = n_0 B \exp(-\mu_m \cdot \rho d), \tag{3.27}$$

где μ_m — массовый коэффициент ослабления потока излучения;

ρ — объемная масса (плотность) вещества;

ρd — массовая толщина ($кг \cdot м^{-2}$), т. е. масса поглотителя в объеме с площадью 1 $м^2$ и толщиной d.

Массовый коэффициент ослабления потока излучения является основной характеристикой поглощающих свойств вещества и зависит от атомного номера поглотителя Z и энергии излучения E.

Фактор накопления B зависит от Z и E, а также от ρd. Кроме того, B существенно зависит от условий измерения, а именно от доли рассеянных квантов, которая регистрируется в конкретных условиях измерения. Если рассеянное излучение не регистрируется, то $B=1$. В этом случае реализуется «хорошая» геометрия, или геометрия узкого пучка. Такие условия измерения получаются на практике за счет коллимирования источника и детектора излучения или путем использования электронных схем, «отбирающих» акты регистрации, соответствующие начальной энергии излучения.

Из формулы (3.27) при $B=1$ можно получить, что

$$\rho d = \frac{1}{\mu_m} \ln \frac{n_0}{n}. \tag{3.28}$$

Значение μ_m определяется по справочным данным, если известны энергия излучения и химический состав контролируемого вещества. Величина n_0 вычисляется по формуле (3.25) или измеряется в отсутствие поглотителя. Следовательно, измерив n, можно при известной толщине поглотителя определить его объемную массу.

Сложнее решается задача, когда $B>1$. В этом случае лучше всего устанавливать соответствие между ρ и n экспериментально, используя образцы с известной объемной массой.

Описанный метод может быть использован и для дефектоскопии конструкций и изделий. Если перемещать контролируемое изделие относительно системы «источник — детектор излучения», то при наличии пустот плотность потока излучения будет возрастать, а при пересечении участков с повышенной объемной массой — уменьшаться. По изменению скорости счета квантов можно, та-

ким образом, судить о наличии и размерах внутренних дефектов железобетонных изделий.

3.7.5. При взаимодействии гамма-излучения с веществом помимо поглощения происходит рассеяние квантов, т. е. изменение направления их движения с одновременной потерей энергии.

В результате одного или нескольких актов рассеяния направление движения квантов может измениться на противоположное. Такие кванты могут быть зарегистрированы на той же поверхности изделия, где установлен источник излучения.

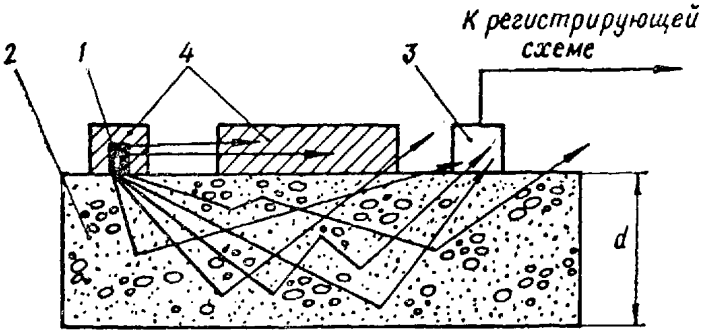


Рис. 3.25. Схема контроля объемной массы бетона по методу рассеяния:
1 — источник излучения; *2* — контролируемый объект; *3* — детектор излучения; *4* — защитный экран

Процесс рассеяния является основным процессом взаимодействия гамма-излучения с веществом при $E_0 > 0{,}15$ МэВ. В этом случае рассеяние зависит от химического состава вещества через параметр Z/A (A — атомный вес), который для большинства химических элементов, входящих в состав строительных материалов, равен 0,5. Поэтому при $E_0 > 0{,}15$ МэВ можно с достаточной точностью считать, что рассеяние не зависит от химического состава контролируемого вещества, а определяется только его плотностью. Исключение составляет водород, для которого $Z/A = 1$, поэтому при определении объемной массы сред, содержащих водород и воду, необходимо делать поправку, учитывающую влияние водорода.

3.7.6. Сущность метода рассеяния поясняется рис. 3.25. Гамма-излучение от источника взаимодействует с контролируемой средой, при этом некоторая доля гамма-квантов в результате одного или нескольких актов рассеяния отклоняется на большой угол и регистрируется детектором. Для исключения попадания на детектор прямого излучения источника имеется защитный экран из материала (свинец, вольфрам), хорошо поглощающего гамма-кванты. Как правило, источник и детектор излучения, а также защитный экран, обеспечивающий одновременно биологическую защиту, объединены в один узел, называемый выносным элементом, или датчиком прибора. Датчик с помощью кабеля соединен с реги-

стрирующей частью прибора, обычно состоящей из усилителя и нормализатора импульсов, счетного прибора и источника электрического питания.

3.7.7. Плотность потока рассеянного излучения зависит от энергии излучения, базы датчика $в$ (расстояния между центрами источника и детектора излучения), угла входа излучения в среду и угла,

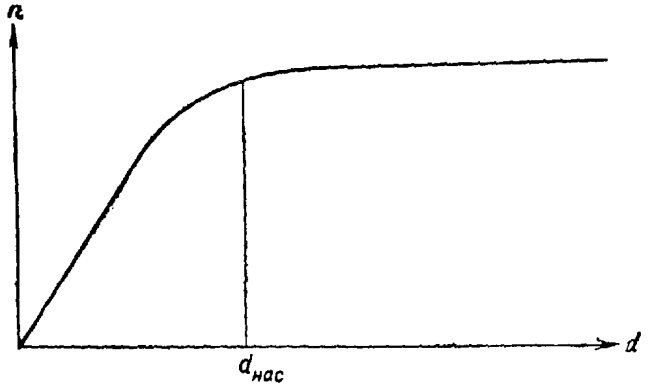


Рис. 3.26. Зависимость скорости счета радиоизотопного плотномера от толщины изделия

под которым оно регистрируется, толщины и плотности контролируемого вещества. При фиксированных параметрах датчика показания прибора будут зависеть только от толщины и плотности слоя вещества.

Зависимость показаний прибора от толщины изделия показана на рис. 3.26. Из рисунка видно, что при увеличении толщины слоя скорость счета растет, а затем наступает насыщение. Толщина поглотителя, при которой наблюдается значительное замедление роста n, называется толщиной насыщения. Для тяжелого бетона толщина насыщения $d_{нас}=15—20$ см.

Если $d>d_{нас}$, то показания прибора будут определяться только плотностью вещества. При увеличении объемной массы вещества возрастает и объемная концентрация электронов, что приводит к усилению процесса рассеяния, но с другой стороны, при увеличении объемной массы уменьшается пробег квантов. Поэтому зависимость $n_{расс}=f(\rho, в)$ имеет вид, изображенный на рис. 3.27. Каждая характеристика имеет восходящий и нисходящий участок. Подавляющее большинство поверхностных и скважинных плотномеров работает на нисходящем участке характеристики, так как для контроля материалов с $\rho>1500$ кг/м^3 реализовать восходящий участок затруднительно, ибо при малой базе невозможно конструктивно обеспечить защиту детектора от прямого излучения.

3.7.8. В качестве гамма-излучателей в радиационных плотномерах, как правило, используются закрытые источники на основе изотопов Cs-137 и Co-60.

3.7.9. Плотномеры должны обеспечивать:

— определение объемной массы бетонной смеси или бетона в пределах от 400 до 2800 кг/м^3; основная погрешность определения не должна превышать 2%;

— продолжительность единичного замера не более 1 мин для приборов, контролирующих объемную массу бетонной смеси, и не более 3 мин для приборов, контролирующих объемную массу бетона в готовых изделиях и конструкциях;

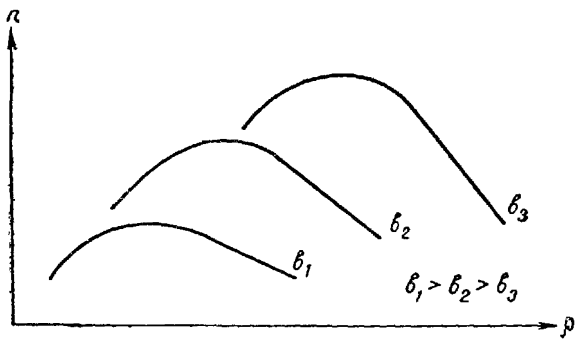


Рис. 3.27. Зависимость скорости счета плотномера от объемной массы вещества и базы прибора

— нормальную работу при температуре окружающей среды от —10 до +40° С, относительной влажности до 90% и колебаниях сетевого напряжения в пределах (—15— +10) %;

— радиационную безопасность обслуживающего персонала в соответствии с требованиями «Основных санитарных правил работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений» (ОСП-72).

3.7.10. Датчики для определения объемной массы уплотненной бетонной смеси могут быть:

— типа «вилка» (рис. 3.28, *а*) для послойного определения объемной массы;

— типа Г- и Т-образных зондов (рис. 3.28, *б, в*) для определения усредненного значения объемной массы по высоте контролируемого слоя;

— типа глубинного зонда (рис. 3.28, *г*) для определения объемной массы в различных по высоте зонах при изготовлении массивных изделий или монолитных конструкций;

— поверхностного типа (рис. 3.28, *д*) для измерений при невозможности погружения датчика в бетонную смесь, а также при одностороннем доступе к формуемому изделию.

3.7.11. Датчики для определения объемной массы бетона в готовых конструкциях и изделиях могут быть:

— поверхностного типа (рис. 3.29, *а*) для контроля конструкций толщиной более 500 мм или при одностороннем доступе к изделию;

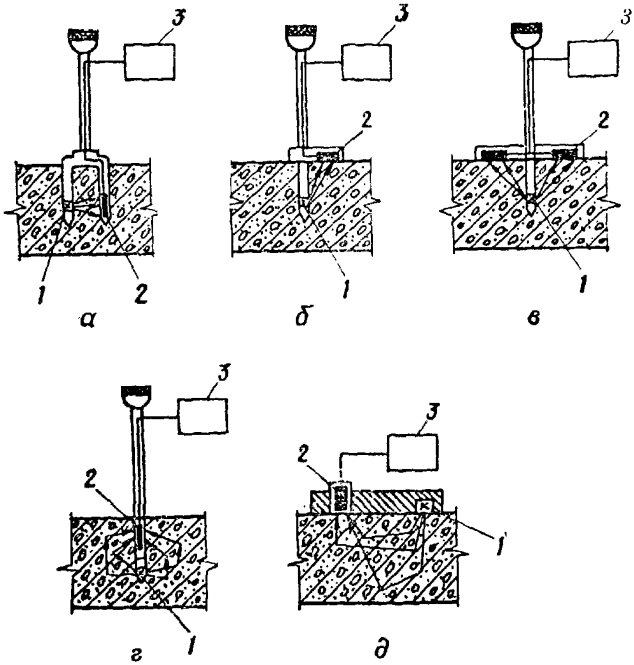


Рис. 3.28. *Схема датчиков для определения объемной массы уплотненной бетонной смеси:*

а — типа «вилка»; *б* — Г-образный зонд; *в* — Т-образный зонд; *г* — глубинный зонд; *д* — поверхностного типа; *1* — источник излучения; *2* — детектор излучения; *3* — регистрирующий прибор

— П-образного типа (рис. 3.29, *б*) для контроля конструкций толщиной до 500 мм.

При контроле массивных конструкций допускается применение датчиков Г- и Т-образного типа, устанавливаемых в специально пробуренные отверстия (рис. 3.29, *в*).

3.7.12. Технические характеристики используемых для измерений радиоизотопных плотномеров должны удовлетворять требованиям п. 3.7.9.

3.7.13. Значения объемной массы при измерениях радиационными методами определяются по градуировочным графикам или непосредственно по шкале прибора, проградуированной в единицах объемной массы.

3.7.14. Построение градуировочных графиков и градуировку шкалы плотномера выполнять в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора перед началом и в конце измерений, а также во всех случаях, когда правильность показаний прибора вызывает сомнения.

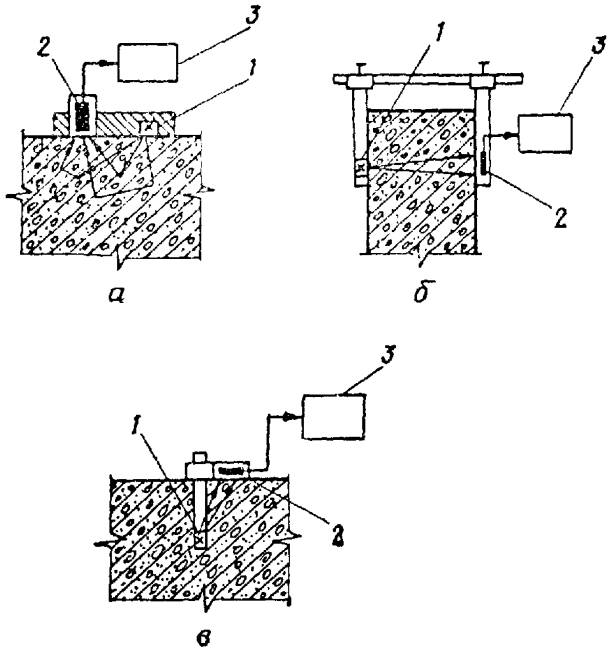


Рис. 3.29. Схемы датчиков для определения объемной массы бетона в готовых конструкциях и изделиях:
а — поверхностного типа; *б* — П-образный; *в* — Г-образный; *1* — источник излучения; *2* — детектор излучения; *3* — регистрирующий прибор

3.7.15. Для градуировки используются контрольные образцы из уплотненной бетонной смеси или из затвердевшего бетона, при этом влажность контрольных образцов не должна отличаться от влажности контролируемого бетона более чем на $\pm 5\%$.

Значения объемной массы бетона в контрольных образцах определяются с относительной погрешностью не более 1% путем взвешивания и измерения размеров образцов. Количество контрольных образцов с различными значениями объемной массы должно быть таким, чтобы на интервал 200 кг/м^3 приходилось не менее одного образца при общем количестве образцов не менее двух.

3.7.16. При градуировке прибора, а также при измерении объемной массы для исключения влияния граничного эффекта необходимо выбирать размеры контрольных образцов и устанавливать датчики в процессе измерений следующим образом:

— датчики зондового типа так, чтобы ось, соединяющая центры источника и детектора излучения, находилась на расстоянии не менее 100 мм от края образца, конструкции, борта формы, заклад-

ных металлических деталей или арматуры диаметром 8 мм и более;

— датчики поверхностного типа так, чтобы минимальные расстояния от края контрольного образца, конструкции, борта формы, закладных металлических деталей и арматуры диаметром 8 мм и более составляли 60 мм при $\rho<1800$ кг/м^3 и 40 мм при $\rho>1800$ кг/м^3 в направлении оси датчика со стороны источника, 90 мм при $\rho<1800$ кг/м^3 и 60 мм при $\rho>1800$ кг/м^3 в направлении оси датчика со стороны детектора, 120 мм при $\rho<1800$ кг/м^3 и 80 мм при $\rho>1800$ кг/м^3 в направлении, перпендикулярном оси датчика, при этом толщина слоя бетонной смеси должна быть не менее 350 мм при $\rho<1000$ кг/м^3, 250 мм при $\rho<1800$ кг/м^3 и 150 мм при $\rho<2500$ кг/м^3.

3.7.17. Градуировочный график или градуировку шкалы плотномера проверять путем сравнения значений объемной массы в контрольных образцах с результатами измерения объемной массы радиационным методом. Если эти значения различаются более чем на 2%, необходима настройка плотномера.

3.7.18. Объемная масса бетонной смеси определяется в процессе вибрирования или в свежеотформованных конструкциях.

3.7.19. Количество и расположение участков, на которых определяется величина объемной массы, должны указываться в рабочих чертежах конструкций и изделий в зависимости от их вида, назначения и предъявляемых к ним технических требований.

3.7.20. При контроле должны быть выдержаны условия, исключающие влияние граничного эффекта (п. 3.7.16). Следует помнить, что зазоры между датчиком и контролируемой средой вносят существенные погрешности в результаты измерений, поэтому поверхность бетонной смеси на контролируемом участке должна быть ровной. Датчики поверхностного, Г- и Т-образного типа в процессе измерения должны быть плотно прижаты к поверхности бетонной смеси или погружены в нее на 1—3 мм.

3.7.21. Объемная масса бетона определяется при его естественной влажности.

3.7.22. Количество и расположение участков, на которых контролируется объемная масса бетона, устанавливаются в зависимости от типоразмера и назначения конструкций изделий, при этом желательно выполнять измерения на тех участках, на которых измеряется скорость звука.

3.7.23. При контроле должны быть выдержаны условия, определенные в п. 3.7.16, датчик следует устанавливать на ровном участке конструкции и плотно прижимать к бетону.

3.7.24. Объемная масса определяется на участках конструкций и изделий, свободных от фактурного слоя и облицовочного покрытия. Допускается определять объемную массу бетона через облицовочную керамическую плитку, уложенную непосредственно на бетон, при этом наличие плитки необходимо учитывать при градуировке прибора.

3.7.25. Величину объемной массы по градуировочному графику или по шкале прибора определять с округлением до 10 кг/м^3.

3.7.26. Степень однородности бетона в конструкции определяется по результатам измерений объемной массы радиационным методом на различных участках конструкции, при этом объем конструкции должен быть равномерно охвачен измерениями из расчета не менее четырех измерений на 1 м^2 площади изделия.

3.7.27. Коэффициент вариации объемной массы бетона в изделиях

$$C_{v_\rho} = \sigma_\rho / \rho_{ср}, \tag{3.29}$$

где σ_ρ — среднее квадратическое отклонение результатов определения объемной массы на отдельных участках (ρ_i) от их среднего значения ($\rho_{ср}$), кг/м^3;

$\rho_{ср}$ — среднее значение объемной массы бетона в конструкции, кг/м^3.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_\rho = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\rho_i - \rho_{ср})^2}{n-1}}, \tag{3.30}$$

где n — количество контролируемых участков.

3.7.28. Результаты испытаний фиксируются в журнале по форме табл. 3.9.

Таблица 3.9

Журнал для записи результатов испытаний

Наименование и паспортные данные конструкции	Состав бетонной смеси или бетона	Номера и расположение контролируемых участков конструкции	Тип используемого плотномера	Показания регистрирующего прибора в делениях шкалы или импульсах	Величина объемной массы по градуировочному графику или шкале прибора	Коэффициент вариации объемной массы бетона в конструкции	Фамилия и подпись оператора, дата проведения испытаний

3.7.29. В процессе строительства и эксплуатации железобетонных сооружений возникает необходимость определения объемной

массы бетона при отсутствии непосредственного доступа к его поверхности или когда не выполнены условия, указанные в п. 3.7.16. Первый случай имеет место при контроле бетона, находящегося за слоем другого материала (например, бетона в опалубке или бетона, облицованного металлом и другими материалами), а второй — при контроле объемной массы бетона в среднеармированных и сильноармированных конструкциях.

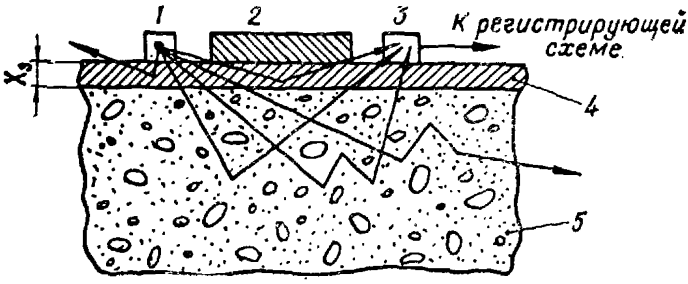


Рис. 3.30. Схема измерения объемной массы бетона, находящегося за экраном:
1 — источник излучения; *2* — защита детектора от прямого излучения; *3* — детектор излучения; *4* — экран, препятствующий доступу к поверхности бетона; *5* — контролируемый бетон

Обычные методы измерений в подобных случаях дают большую погрешность или вообще неприменимы.

3.7.30. Схема измерений объемной массы бетона, находящегося за экраном из другого материала, показана на рис. 3.30.

В зависимости от параметров экрана и бетона скорость счета

$$n = n_0 + (n_б - n_0) \exp\left[-(\mu_э + \mu_{рас.э}) x_э \rho_э\right], \qquad (3.31)$$

где n_0 — скорость счета на материале экрана при его толщине, превышающей толщину насыщения;

$n_б$ — скорость счета на бетоне соответствующей плотности при отсутствии экрана;

$\mu_э$ — массовый коэффициент ослабления первичного излучения источника материалом экрана;

$\mu_{рас.э}$ — массовый коэффициент ослабления рассеянного излучения материалом экрана;

$x_э$ — толщина экрана;

$\rho_э$ — объемный вес (плотность) материала экрана.

В выражении (3.31) искомой величиной является $n_б$, вычислив которую, по градуировочному графику плотномера (рис. 3.31) можно найти плотность бетона.

3.7.31. Для измерения объемной массы бетона, находящегося за экраном из другого материала, необходимо:

а) найти значения n_0 и $\mu_{ср} = \mu_э + \mu_{рас.э}$, входящие в формулу

(3.31), путем измерений на калибровочных бетонных образцах с известной объемной массой, для чего:

— определить по градуировочному графику плотномера n_0 и $n_{бк}$ (скорость счета, соответствующая плотности калибровочного образца), зная объемный вес материала экрана и бетона контрольного образца (более точно эти величины можно получить прямым измерением на контрольном образце и на слое материала экрана, превышающем толщину насыщения);

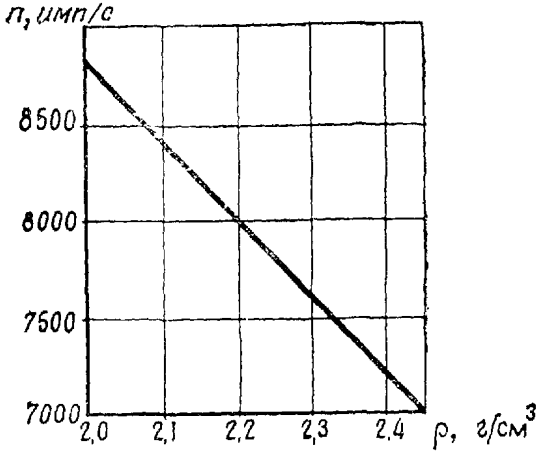


Рис. 3.31. Градуировочный график плотномера

— установить датчик на экран известной толщины, находящийся на калибровочном образце, и измерить скорость счета n;

— по формуле (3.31) вычислить $\mu_{ср}$, зная n_0, $n_{бк}$ и n;

б) определить скорость счета n в контролируемых точках конструкции и по формуле (3.31) вычислить $n_б$;

в) пользуясь градуировочным графиком плотномера, по полученным значениям $n_б$ определить объемную массу бетона.

3.7.32. Если плотность материала экрана значительно превышает плотность бетона (например, бетон за металлоизоляцией), то $n_0 \ll n \ll n_б$ и формула (3.31) примет вид

$$n_б = n \exp(\mu_{ср} x_э \rho_э). \qquad (3.32)$$

Из формулы (3.32) видно, что при $x_э = \text{const}$ измеренная n и искомая $n_б$ скорости счета связаны постоянным множителем. В этом случае для заданной толщины экрана прибор может быть отградуирован непосредственно в единицах объемной массы бетона.

3.7.33. Выпускаемые промышленностью плотномеры не могут быть использованы для измерений за металлическими экранами. В связи с этим в ВИКИ им. А. Ф. Можайского разработан сцин-

тилляционный гамма-плотномер (СГП), общий вид которого показан на рис. 3.32.

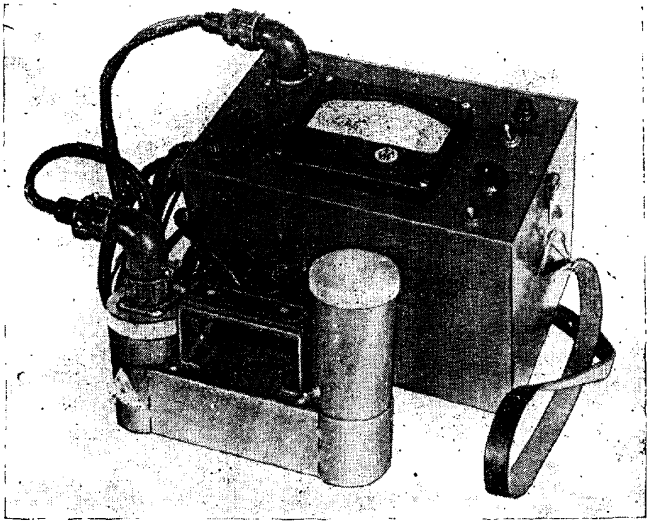


Рис. 3.32. Плотномер СГП

Прибор имеет следующие основные технические характеристики:

Источник излучения	Cs-137 с мощностью экспозиционной дозы $0{,}82 \cdot 10^{-6}$ Р/с на расстоянии 1 м (3,5 мг-экв. Ra)
Детектор излучения	Кристалл NaI(Tl) 30×30 мм, ФЭУ-35
База прибора	19 см
Диапазон измерений плотности	1800—2600 кг/м³
Погрешность измерения	Не более 50 кг/м³
Масса датчика	7,5 кг
Масса пульта	5 кг
Потребляемая мощность	3 Вт
Напряжение питания	12 В

Шкала прибора проградуирована непосредственно в единицах плотности, кроме того, имеется шкала отсчета в импульсах в секунду.

Переключатель режима работы позволяет измерять плотность непосредственно с поверхности бетона и через стальную облицов-

ку толщиной 8 и 12 мм (возможна регулировка прибора и на другие фиксированные толщины стали).

Прибор питается от аккумуляторной батареи, вмонтированной в его корпус.

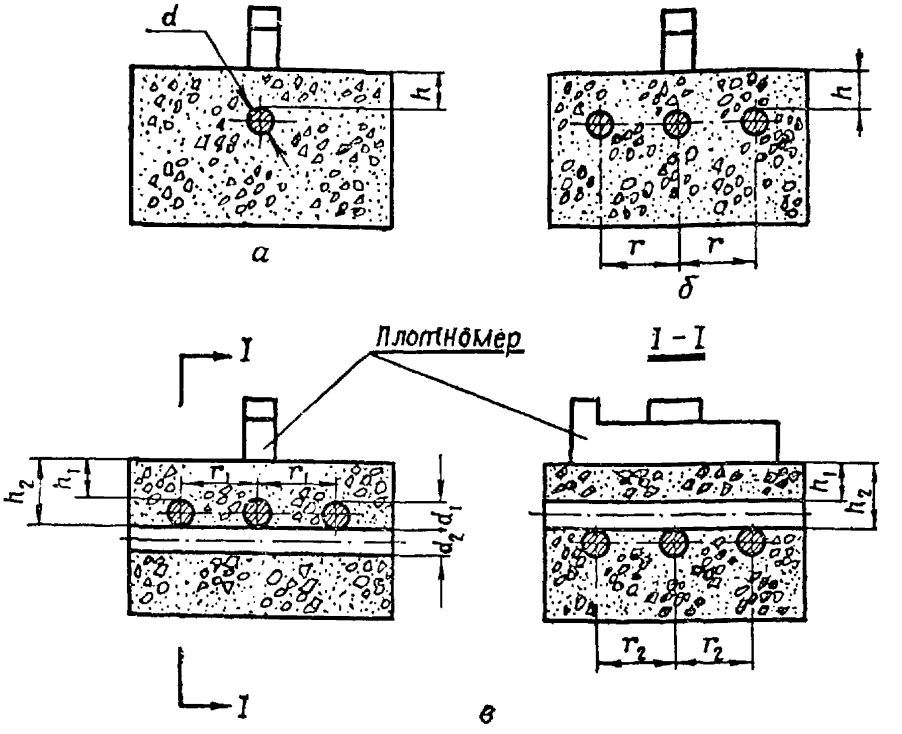


Рис. 3.33. Схемы измерений объемной массы бетона в армированных конструкциях:
а — отдельный стержень; *б* — однорядное армирование; *в* — армирование каркасами

3.7.34. Схемы измерений объемной массы бетона в армированных конструкциях показаны на рис. 3.33. Скорость счета при наличии арматуры зависит не только от плотности бетона, но и от толщины защитного слоя h, диаметра d и шага r арматурных стержней, а также от положения датчика относительно стержней.

3.7.35. При измерениях по схеме (рис. 3.33, *а*) выполняется следующее соотношение:

$$y = 1 - k \exp(-0{,}47h), \qquad (3.33)$$

где y — относительная скорость счета, т. е. отношение скорости счета n при наличии арматуры к скорости счета на неармированном бетоне с той же объемной массой;

h — толщина защитного слоя, см;

k — коэффициент, зависящий от диаметра арматурного стержня; определяется по графику (рис. 3.34).

При характеристиках датчика, отличающихся от описанных в п. 3.7.33, для повышения точности целесообразно экспериментально построить кривую $k=f(d)$.

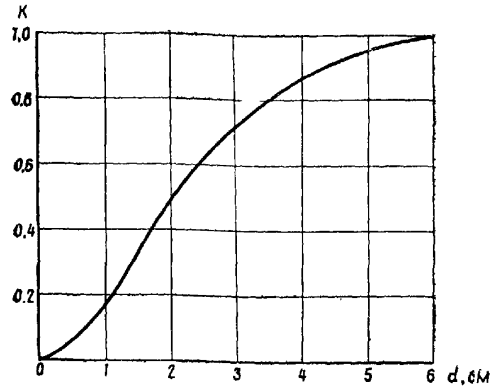


Рис. 3.34. Зависимость коэффициента k от диаметра арматурного стержня

3.7.36. При однорядном армировании (рис. 3.33, *б*) справедливо соотношение

$$y = 1 - (k + 1{,}44dh/r^2)\exp(-0{,}47h), \qquad (3.34)$$

где r — шаг стержней, см.

3.7.37. При армировании каркасами (рис. 3.33, *в*) влияние продольного и поперечного набора стержней учитывается отдельно, т. е. по формуле (3.34) вычисляются значения $y_1=f(d_1, r_1, h_1)$ и $y_2=f(d_2, r_2, h_2)$, а затем определяется относительная скорость счета

$$y = 1 - (1 - y_1) - (1 - y_2). \qquad (3.35)$$

3.7.38. Для определения объемной массы бетона в армированных конструкциях необходимо:

— найти толщину защитного слоя, диаметр и расположение арматуры с помощью магнитного или радиационного метода;

— зная схему и параметры армирования, вычислить значение y;

— установить датчик прибора так, чтобы его ось находилась над осью арматурного стержня, и измерить скорость счета n;

— вычислить $n_б=n/y$;

— по полученному значению $n_б$ с помощью градуировочного графика плотномера найти значение объемной массы бетона.

3.7.39. Дефектоскопия железобетонных конструкций может быть осуществлена по методу прошедшего или рассеянного излучения.

3.7.40. Дефектоскопия железобетонных изделий по методу прошедшего излучения описана в пп. 3.6.16 и 3.6.17.

3.7.41. Метод рассеянного излучения обычно применяется для контроля качества укладки бетона за металлическую облицовку (металлоизоляцию).

3.7.42. Основные закономерности, связывающие скорость счета с размерами дефектов, получены на экспериментальной установке, изображенной на рис. 3.35. Путем перемещения в отверстии бетон-

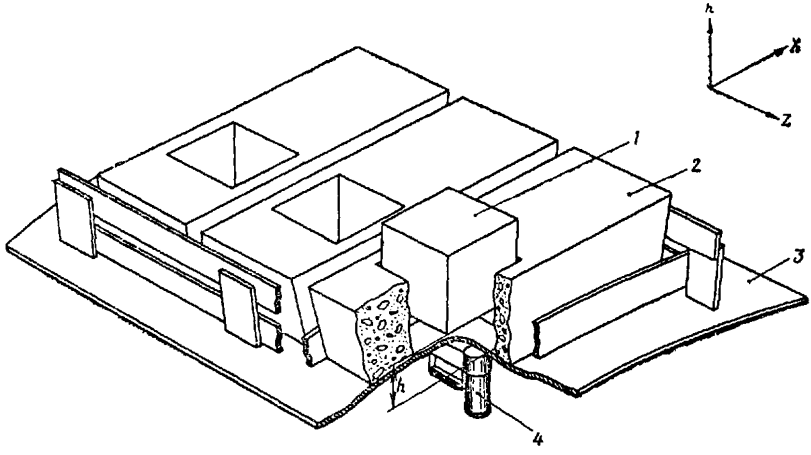


Рис. 3.35. Экспериментальная установка:
1 — бетонный куб (балочка); *2* — бетонный образец; *3* — фрагмент металлической облицовки; *4* — датчик плотномера

ного образца бетонных кубов и балочек можно имитировать дефекты бетонирования ограниченного размера в плане и по глубине. При изменении зазора h между всем образцом и облицовкой имитируются дефекты большой («бесконечной») протяженности.

Измерения, результаты которых изложены в последующих пунктах, выполнены прибором СГП.

3.7.43. Зависимость скорости счета от величины зазора между бетонным образцом и стальной облицовкой толщиной 8 мм (кривая *1*) и 12 мм (кривая *2*) показана на рис. 3.36. Как видно из рисунка, одинаковая скорость счета достигается при двух существенно отличных величинах h. Поэтому во избежание грубых ошибок при определении величины зазора необходимо использовать дополнительные данные (см. ниже).

3.7.44. Выполненные измерения позволили установить, что показания прибора зависят не только от величины зазора, но и от протяженности дефекта.

Если перемещать датчик вдоль окружности фрагмента, сохраняя его ось параллельной образующей облицовки, то, когда ось датчика будет в 4—5 см от границы дефекта, скорость счета начнет возрастать и достигнет максимального значения в момент

совпадения оси датчика и дефекта, затем будет уменьшаться, возвращаясь к исходному значению, если плотность бетона до и после дефекта одинакова. Такой характер имеет зависимость скорости счета от координаты датчика (начало координат находится на оси дефекта), если протяженность дефектного участка $\Delta X \leqslant 15$ см (рис. 3.37, 3.38).

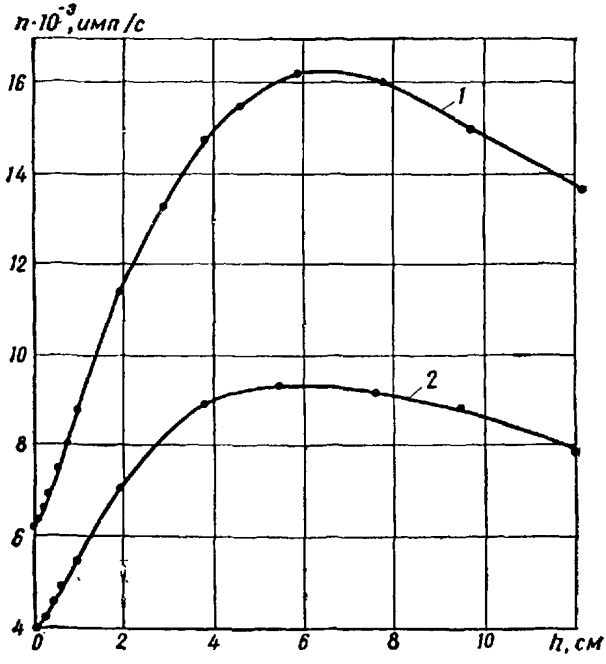


Рис. 3.36. Зависимость скорости счета от величины зазора между образцом и облицовкой:
1 — толщина экрана 8 мм; *2* — толщина экрана 12 мм

3.7.45. При $\Delta X > 15$ см кривые (рис. 3.39) имеют два максимума (на рисунке показана только половина кривой до оси дефекта), при этом скорость счета на оси дефекта такая же, как и при «бесконечном» в плане дефекте с тем же значением h (рис. 3.36).

3.7.46. Для того чтобы правильно определить глубину дефекта h, т. е. определить, на каком участке (восходящем или нисходящем) кривых (рис. 3.36) проводятся измерения, необходимо следить за изменением показаний прибора при перемещении датчика вдоль дефекта: многократные изменения скорости счета свидетельствуют о переходе на нисходящий участок кривой.

Эта задача может быть решена также путем анализа темпа нарастания скорости счета в районе дефекта. На рис. 3.37 пунктиром показана кривая *3* для дефекта с $\Delta X = 5$ см и $h = 3$ см. Видно, что скорости счета на оси дефекта с $h = \infty$ (кривая *4*) и дефекта

глубиной 3 см одинаковы, но ширина кривой, соответствующей меньшему дефекту, больше за счет дополнительного рассеяния гамма-квантов «потолком» дефекта.

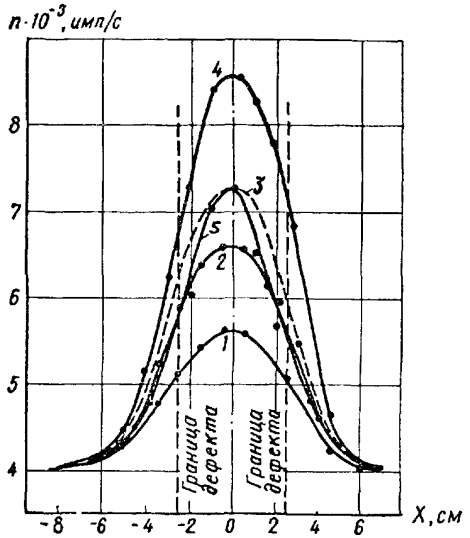


Рис. 3.37. Зависимость скорости счета от координаты датчика при ширине дефекта 5 см:
1 — глубина дефекта $h=1$ см; *2* — $h=2$ см; *3* — $h=3$ см; *4* — $h=7$ см; *5* — $h=\infty$

3.7.47. При использовании плотномеров, характеристики которых отличаются от характеристик прибора СГП, численные значения n будут другими, но приведенные закономерности сохранят свою силу.

3.7.48. Для контроля качества укладки бетона за металлическую облицовку необходимо:

— провести калибровку плотномера в целях получения кривых, аналогичных приведенным на рис. 3.36—3.39, для конкретных условий измерения;

— разметить контролируемую конструкцию;

— перемещая датчик по контролируемой конструкции, найти участки, скорость счета на которых резко изменяется, и определить протяженность дефектных участков исходя из того, что скорость счета начинает изменяться за 4—5 см от начала дефекта;

— при протяженности дефекта $\Delta X > 15$ см, пользуясь кривой $n=f(h)$ (аналогичной рис. 3.36) для данного x_0, определить h;

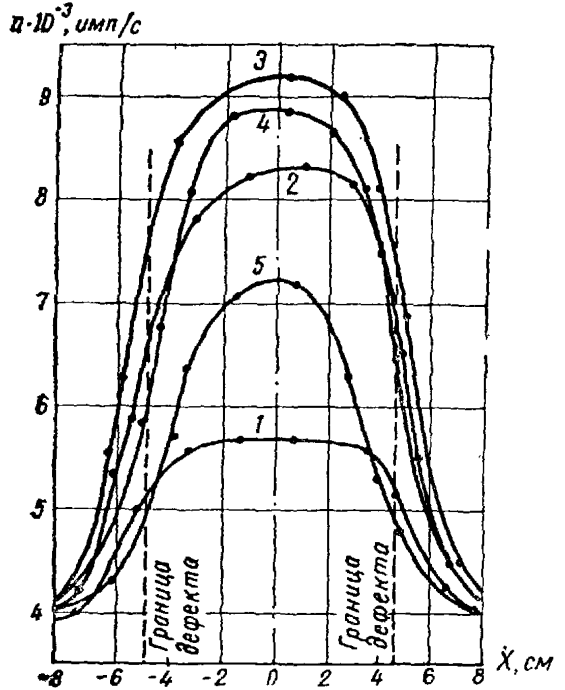


Рис. 3.38. Зависимость скорости счета от координаты датчика при ширине дефекта 9,2 см:
1 — глубина дефекта $h = 1$ см; *2* — $h = 4$ см; *3* — $h = 6$ см; *4* — $h = 13$ см; *5* — $h = \infty$

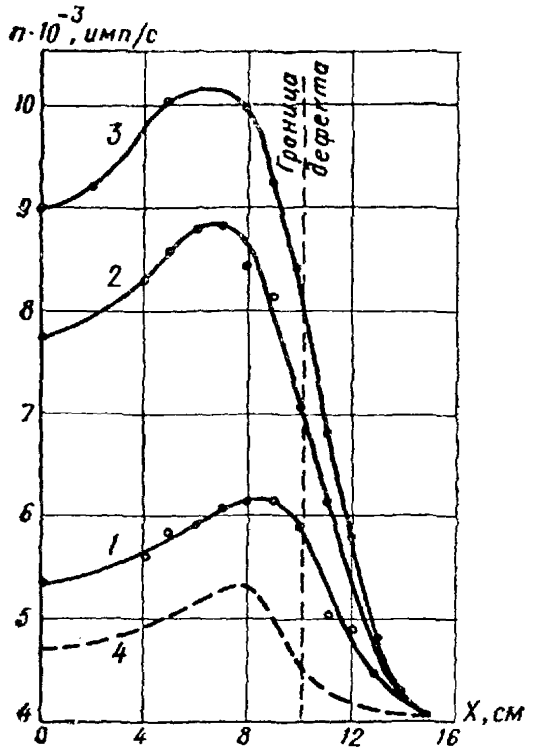


Рис. 3.39. Зависимость скорости счета от координаты датчика при ширине дефекта более 15 см:
1 — глубина дефекта $h = 1$ см; *2* — $h = 3$ см; *3* — $h = 6$ см; *4* — $h = \infty$

— при $\Delta X \angle 15$ см для определения h использовать кривые $n=f(h)$ для данного $x_э$ и ΔX (аналогичные рис. 3.37 и 3.38) с учетом изложенного в п. 3.7.44;

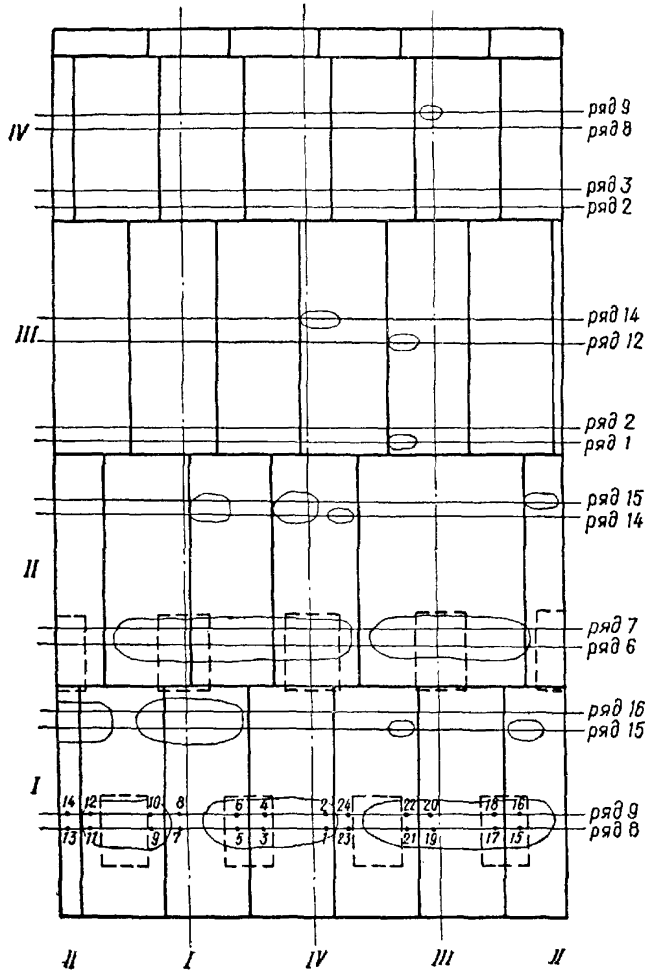
— дефектные участки оконтурить на конструкции, а их параметры занести в журнал по форме табл. 3.10.

Пример разметки сооружения 1 заказа 114 и результатов его контроля показан на рис. 3.40.

Таблица 3.10

Журнал для записи результатов испытаний

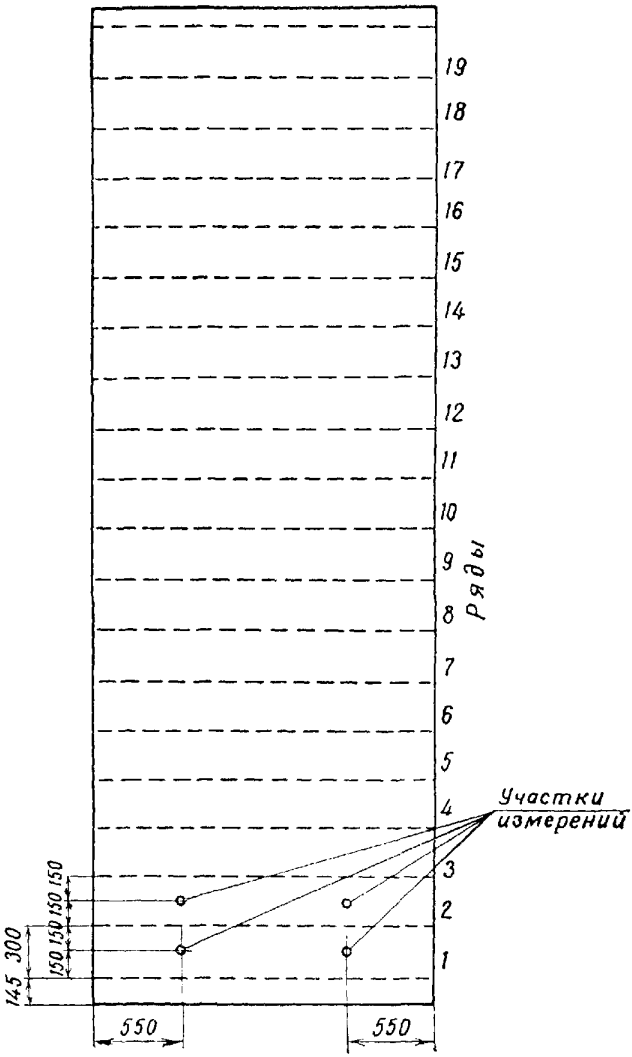
Наименование конструкции	Маркировка контролируемого участка	Показания регистрирующего прибора	Параметры дефектного участка				Фамилия и подпись оператора, дата проведения испытаний
			протяженность, см	ширина, см	глубина, см	объем, см³	



дефектные участки

Рис. 3.40. Разметка сооружения 1

сооружения 1 площадки



и результаты его контроля

Глава 4

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Дефекты металлических конструкций

4.1.1. Основными дефектами металлических конструкций являются:

— отклонения геометрических размеров от проектных;
— дефекты подготовки деталей и элементов под сварку;
— нарушения герметичности;
— дефекты сварных швов;
— остаточные напряжения;
— коррозионные поражения;
— дефекты антикоррозионной изоляции.

4.1.2. Оценка отклонений геометрических размеров от проектных и контроль подготовки деталей под сварку осуществляются внешним осмотром и измерением фактических размеров, зазоров и смещений.

4.1.3. Герметичность проверяется с помощью керосина, аммиака, а также вакуум-методом, течеискателями, гидравлическим или воздушным давлением в соответствии с требованиями на изделие, техническими правилами и ГОСТ 3242—69.

Прочность сварных швов контролируется путем механических испытаний по ГОСТ 6996—66.

4.1.4. Дефекты сварных швов, антикоррозионная изоляция, остаточные напряжения и коррозионные поражения проверяются неразрушающими методами контроля и внешним осмотром.

4.1.5. В данном Руководстве рассматриваются только наиболее широко применяемые неразрушающие методы контроля металлических конструкций, к которым относят:

— акустический ультразвуковой;
— радиационный;
— магнитный.

4.1.6. Акустический ультразвуковой метод применяется для контроля качества сварных швов, толщины металла, коррозионных поражений и внутренних дефектов в элементах конструкций.

4.1.7. Радиационный метод используется для контроля качества сварных швов и внутренних дефектов в элементах конструкций.

4.1.8. Магнитный метод контроля применяется для контроля сварных швов, остаточных напряжений и качества антикоррозионной изоляции.

4.1.9. Дефекты сварных швов разделяются на следующие основные группы:

— дефекты подготовки и сборки изделий под сварку;

— дефекты формы швов;

— наружные и внутренние макроскопические дефекты;

— остаточные сварочные напряжения.

4.1.10. Дефекты подготовки и сборки изделий под сварку и дефекты формы швов оцениваются внешним осмотром и измерением геометрических размеров, при этом проверяется качество подготовки кромок под сварку, форма шва и смещение кромок.

4.1.11. Основными видами наружных и внутренних макроскопических дефектов являются (рис. 4.1):

— неправильное уширение или усиление шва;

— наплывы и натеки;

— подрезы;

— мениски;

— кратеры;

— прожоги;

— газовые поры;

— шлаковые включения;

— непровары;

— трещины.

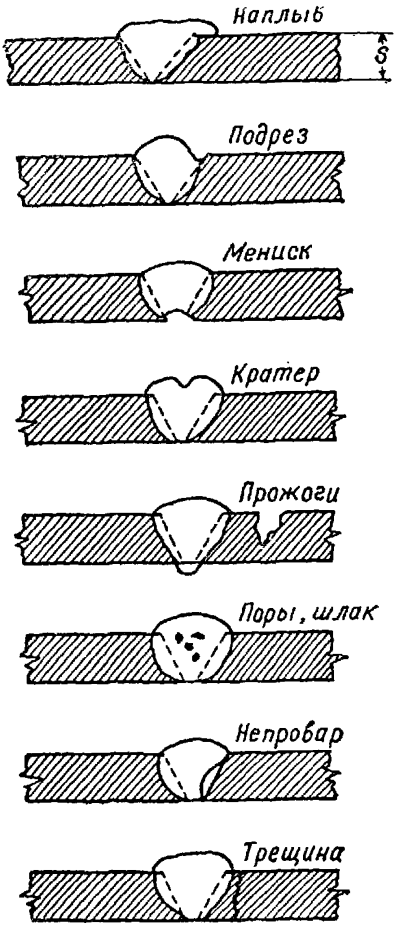


Рис. 4.1. Основные виды наружных и внутренних макроскопических дефектов сварных швов

4.1.12. Уширение и усиление шва контролируются путем геометрических измерений и сравнения фактических размеров с проектными.

4.1.13. Наплывы и натеки образуются в результате стекания расплавленного металла на основной металл. Причинами образования наплывов являются нарушения в режиме сварки, большая сила тока при длинной дуге и повышенная скорость сварки.

4.1.14. Подрезы представляют углубления в основном металле вследствие повышенной силы тока и напряжения.

4.1.15. Мениски возникают из-за незаполнения шва расплавленным металлом.

4.1.16. Кратеры образуются в результате зажигания и отрыва дуги.

4.1.17. Прожоги являются следствием высокой погонной энергии дуги, неравномерной скорости сварки и остановки источника плавления; как правило, они образуются при сварке металла малой толщины и при наложении первого слоя в многослойных швах.

4.1.18. Газовые поры возникают в результате перенасыщения расплавленного металла газами из-за загрязненности кромок, длинной дуги, влажной обмазки, высокой скорости охлаждения расплавленного металла.

4.1.19. Шлаковые включения образуются в результате влажной обмазки электродов, плохой очистки кромок или плохой очистки от шлака предыдущего слоя в многослойных швах.

4.1.20. Непровары представляют собой несплавление основного металла с расплавленным или незаполнение металлом расчетного сечения шва (см. п. 4.1.15); они образуются при загрязнении кромок, неправильной подготовке кромок под сварку и неустойчивом режиме сварки.

4.1.21. Трещины возникают в результате неправильного выбора электродов, нарушения режима сварки, чрезмерной наплавки металла, жесткого крепления свариваемых элементов и большой скорости охлаждения шва. Основными причинами образования трещин являются охрупчивание металла, концентрация напряжений и остаточные сварочные напряжения (см. пп. 4.1.24—4.1.28).

4.1.22. Допускаемые размеры и протяженность дефектов регламентируются проектом, маршрутным паспортом и техническими условиями на данное изделие.

Трещины, как наиболее опасный вид дефекта, шлаковые включения и поры, образующие сплошную линию вдоль шва, для всех типов металлических конструкций не допускаются. Мениски, кратеры и прожоги должны быть заварены, а наплывы и натеки сточены до получения проектных размеров шва.

При отсутствии специальных указаний для металлических конструкций допускаются следующие дефекты сварных швов:

— подрезы основного металла глубиной не более 0,5 мм при толщине стали до 10 мм и не более 1 мм при толщине стали более 10 мм; протяженность подрезов не должна превышать 100 мм или 20% всей длины шва;

— отдельные шлаковые включения и поры размером не более 10% толщины свариваемого металла при толщине до 20 мм и не более 3 мм при толщине более 20 мм;

— цепочки шлаковых включений и пор при их суммарной длине, не превышающей 200 мм на 1 м шва;

— скопления шлаковых включений и пор на отдельных участках шва не более 5 шт. на 1 см^2 площади шва;

— непровары по сечению швов в соединениях, доступных для сварки с двух сторон, глубиной до 5% толщины свариваемого металла, но не более 2 мм при длине непровара не более 50 мм и общей длине участков непровара не более 200 мм на 1 м шва;

— непровары в корне шва в соединениях без подкладок, доступных сварке только с одной стороны, глубиной до 15% толщины свариваемого металла, если она не превышает 20 мм, и не свыше 3 мм при толщине более 20 мм;

— суммарная величина непровара, шлаковых включений и пор, расположенных отдельно или цепочкой, не превышающая в рассматриваемом сечении при двухсторонней сварке 10% толщины металла, но не более 2 мм, и при односторонней сварке без подкладок — 15%, но не свыше 3 мм.

4.1.23. Дефекты по пп. 4.1.12—4.1.17 могут быть выявлены при внешнем осмотре, дефекты по пп. 4.1.18—4.1.21 — путем использования неразрушающих методов контроля в соответствии с указаниями разд. 4.2, 4.3 и 4.4 настоящего Руководства.

4.1.24. При изготовлении сварных конструкций вследствие воздействия концентрированного источника тепла в них возникают механические напряжения, которые называются остаточными или сварочными.

4.1.25. Остаточные (сварочные) напряжения могут привести к самопроизвольному образованию трещин, короблению или разрушению сварных конструкций.

4.1.26. Основными причинами образования сварочных напряжений являются:

— неправильный выбор электродов;

— нарушения в режиме сварки;

— чрезмерная единовременная наплавка металла;

— низкая температура воздуха;

— жесткое крепление свариваемых элементов;

— нарушения в порядке и очередности наложения швов.

4.1.27. Возникновение больших остаточных напряжений наиболее вероятно:

— у пересечения сварных швов;

— на участках с избыточно наплавленным металлом;

— в местах чрезмерного уширения и усиления шва;

— при параллельных швах, если расстояние между ними менее 100 мм;

— в зоне сварки разнородных сталей;

— в районе швов накладок, если размер последних менее 300 мм, или кольцевых швов.

4.1.28. Остаточные напряжения контролируются магнитоупругим методом в соответствии с разд. 4.3. Максимальная величина сварочных напряжений не должна превышать 1500 кгс/см^2.

4.1.29. Коррозионные поражения образуются вследствие электрохимического взаимодействия металла с окружающей средой.

4.1.30. В зависимости от характера среды и марки стали может возникать поверхностная или межкристаллитная коррозия; поверхностная коррозия может быть сплошной или точечной.

4.1.31. Поверхностные коррозионные поражения контролируются визуально или ультразвуковыми методами путем измерения толщины металла (разд. 4.2), межкристаллитная коррозия — по скорости и затуханию ультразвука (разд. 4.2) и путем механических испытаний. Поверхностная коррозия допускается на глубину не более 10% толщины металла, межкристаллитная коррозия не допускается.

4.1.32. К дефектам антикоррозионной изоляции относят:

— несоответствие толщины изоляции проекту;

— отслоения изоляции;

— повреждения изоляции.

4.1.33. Качество антикоррозионной изоляции контролируется визуально и с помощью магнитных методов (разд. 4.3).

4.2. Ультразвуковой метод контроля сварных швов и коррозионных поражений

4.2.1. Ультразвуковой метод контроля, физические основы которого изложены в разд. 2.1, позволяет определять внутренние макроскопические дефекты сварки, литья и поковок, а также оценивать структурные изменения в металлах и коррозионные поражения. Применение ультразвукового метода контроля регламентируется ГОСТ 3242—69 «Швы сварных соединений. Методы контроля качества» и ГОСТ 14782—69 «Швы сварных соединений. Методы ультразвуковой дефектоскопии».

Толщина стали при ультразвуковой дефектоскопии сварных швов должна быть не менее 6 мм, а при контроле коррозионных поражений — не менее 2 мм.

4.2.2. Наибольшее практическое применение нашли два метода ультразвукового контроля:

— эхо-метод с использованием нормальных искательных головок (рис. 4.2);

— эхо-метод с использованием призматических (наклонных) искательных головок (рис. 4.3).

4.2.3. В основе ультразвукового эхо-метода с использованием нормальных искательных головок лежит измерение времени от посылки продольной волны в изделие до момента приема отраженного (донного) импульса (рис. 4.2). При наличии дефекта (рис. 4.2, *в*) на экране электронно-лучевой трубки между зондирующим и донным импульсом появляется дополнительный импульс от дефекта. Данный метод применяется в основном при контроле отливок, поковок и оценке толщины металла при одностороннем доступе к изделию.

4.2.4. Ультразвуковой эхо-метод контроля с использованием призматических (наклонных) искательных головок основан на излучении поперечной волны в исследуемое изделие и приеме отра-

женного от дефекта сигнала (рис. 4.3). Данный метод является основным при контроле качества сварных швов.

4.2.5. Рабочая частота искательных головок в зависимости от задач контроля может быть равна 0,8; 1,8; 2,5; 5,0 МГц. При контроле изделий с мелкозернистой структурой и качественной поверхностью (не ниже 4-го класса чистоты) рабочая частота равна

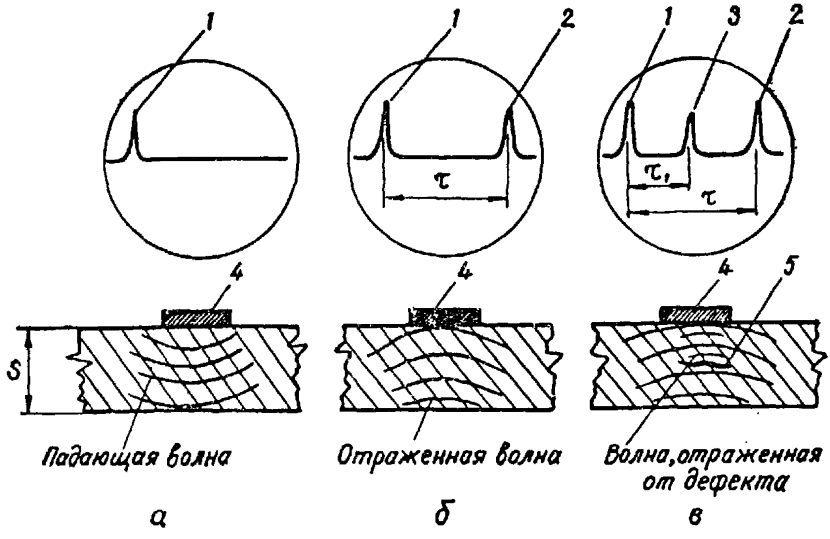


Рис. 4.2. Схема ультразвукового эхо-метода с использованием нормальных искательных головок:

а — посылка зондирующего импульса; *б* — прием донного сигнала; *в* — прием сигнала от дефекта; *1* — зондирующий импульс; *2* — донный импульс; *3* — импульс от дефекта; *4* — пьезоэлемент; *5* — дефект

2,5 и 5,0 МГц, для изделий с крупнозернистой структурой или шероховатой поверхностью — 1,8 или 0,8 МГц (при этом чувствительность контроля снижается, а мертвая зона увеличивается), при контроле сварных соединений изделий из прокатного металла — 2,5 МГц.

4.2.6. Ультразвуковой контроль разрешается проводить при температуре окружающего воздуха и изделия от 0 до +35° С.

4.2.7. Ультразвуковой контроль качества сварных швов должны выполнять операторы и инспекторы, прошедшие специальную подготовку и имеющие удостоверение на право контроля.

4.2.8. Знания операторов проверяются не реже одного раза в год или в случае перерыва в работе более 6 месяцев. Результаты проверки знаний и производственной пробы фиксируются в рабочем журнале. Качество работы операторов проверяется на эталонах, тест-образцах и непосредственно при контроле сварных швов.

4.2.9. К основным операциям при ультразвуковом контроле относят:

— подготовительные работы;

— оценку параметров контроля;
— контроль сварных швов;
— обработку и оформление результатов контроля.

4.2.10. Для проведения ультразвукового контроля оборудуется специальный участок, который оснащается ультразвуковой аппаратурой, эталонами и другими вспомогательными приспособлениями и материалами.

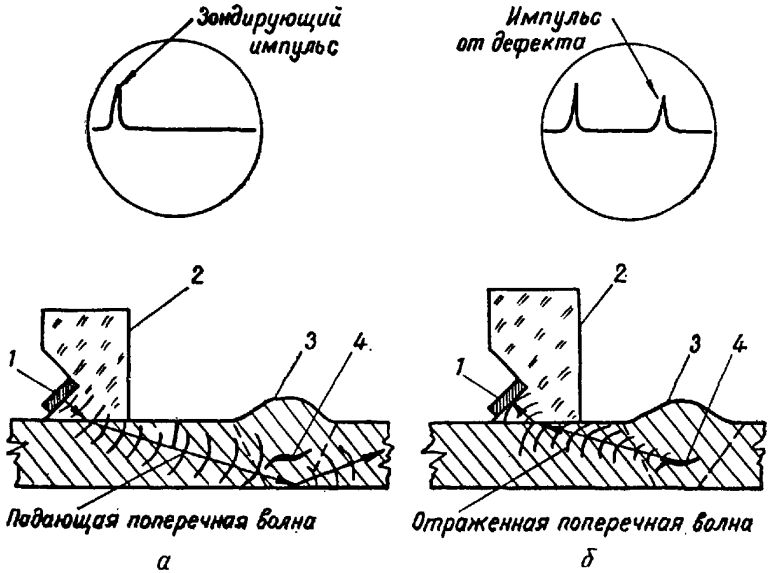


Рис. 4.3. Схема ультразвукового эхо-метода с использованием призматических (наклонных) искательных головок:
а — излучение поперечной волны; *б* — прием сигнала от дефекта; *1* — пьезоэлемент; *2* — призматическая головка; *3* — сварной шов; *4* — дефект

4.2.11. Перед проведением контроля изучается проектная документация и проводится осмотр конструкции, в процессе которого намечаются участки контроля сварных швов, не имеющие внешних дефектов и доступные для контроля.

4.2.12. Поверхности в зоне контроля должны быть очищены от грязи, ржавчины и от брызг металла на ширину 100 мм с обеих сторон сварного шва. Качество обработки поверхности должно соответствовать тест-образцам и быть не ниже 4-го класса чистоты.

4.2.13. Непосредственно перед началом ультразвукового контроля поверхности, подлежащие контролю, покрываются тонким слоем смазки (трансформаторное масло ГОСТ 982—68, дизельные масла ГОСТ 5304—54, глицерин ГОСТ 6824—54, ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267—59, солидол ГОСТ 4366—64 и др.), обеспечивающей

акустический контакт искателя и изделия; при температуре окружающего воздуха и изделия выше +25° С или при контроле на вертикальных поверхностях применяются солидол и ЦИАТИМ.

4.2.14. Основными параметрами ультразвукового контроля являются:

— частота ультразвуковых колебаний;

— стрела искателя и точка ввода луча;

— угол ввода ультразвукового луча;

— мертвая зона;

— размер преобразователя в искателе;

— условная и предельная чувствительности;

— разрешающая способность;

— точность работы глубиномера.

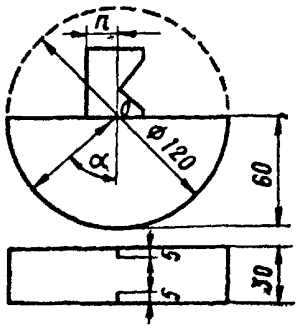


Рис. 4.4. Эталон № 3

4.2.15. Оптимальная частота ультразвуковых колебаний при контроле сварных швов из Ст. 3 равна 2,5 МГц.

4.2.16. Стрела искателя *n* и точка ввода ультразвукового луча *O* оцениваются на эталоне № 3 (рис. 4.4), изготовленном из мало-

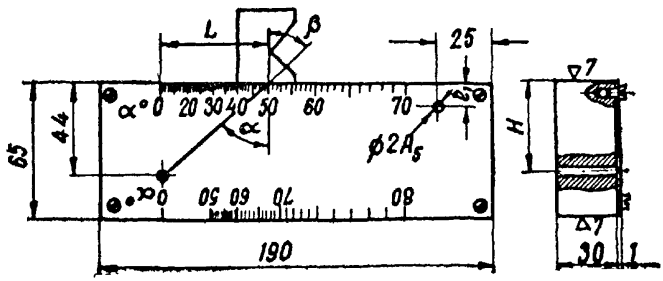


Рис. 4.5. Эталон № 2

углеродистой стали по ГОСТ 380—60. Эталон на боковых и рабочей поверхностях имеет выгравированные риски, фиксирующие центр полуокружности.

Искатель перемещают по рабочей поверхности, покрытой слоем смазки, до момента появления максимального отраженного сигнала на экране электронно-лучевой трубки. Данное положение искателя фиксируют и на его боковую поверхность наносят риску, совпадающую с риской центра полуокружности.

4.2.17. Угол ввода ультразвукового луча определяется на эталоне № 2 (рис. 4.5), изготовленном из той же марки стали, что и контролируемое изделие.

Перемещая искатель по поверхности, добиваются четкого отраженного сигнала от сквозного отверстия и измеряют расстояние L, затем определяют угол ввода α из уравнения

$$H \cdot \operatorname{tg} \alpha = L \qquad (4.1)$$

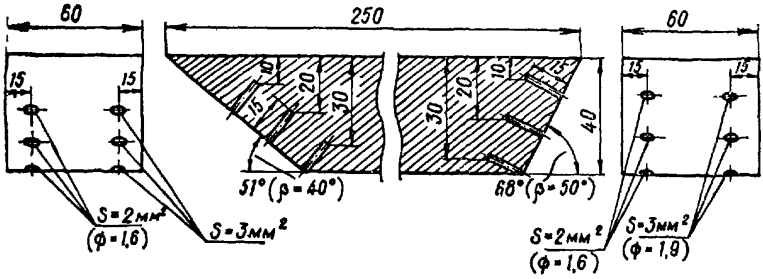


Рис. 4.6. Тест-образец № 5

или отсчитывают по верхней шкале, построенной на основании приведенного уравнения (H=44 мм).

4.2.18. Мертвая зона определяется как минимальное расстояние от поверхности до дефекта (отверстие диаметром 2 мм) на эталоне № 2 или тест-образце № 5 (рис. 4.6), при котором можно отличить отраженный импульс от зондирующего. При использовании тест-образца искатель перемещают влево до такого положения, когда на экране электронно-лучевой трубки совместятся зондирующий и отраженный импульсы. Величина мертвой зоны при контроле сварных соединений должна быть не более 3 мм.

4.2.19. Размеры преобразователя в искателе определяют угол раскрытия ультразвукового луча, т. е. качество фокусировки (разд. 2.1): чем больше размер преобразователя и частота, тем более направленно ультразвуковое излучение.

4.2.20. Условная чувствительность — это максимальная глубина расположения цилиндрического отражателя, которая уверенно фиксируется на экране дефектоскопа. Определяется с помощью эталона № 1 (рис. 4.7), изготовленного из органического стекла (искатель в положении A).

4.2.21. Предельная чувствительность определяется наименьшей площадью отверстия с плоским дном, ориентированным перпендикулярно акустической оси искателя, и оценивается с помощью тест-образца № 5 (рис. 4.6), изготовленного из той же марки стали, что и контролируемое изделие.

4.2.22. Разрешающая способность в направлении прозвучивания характеризуется наименьшим временем между отраженными

сигналами от двух поверхностей, расположенных по направлению акустической оси. При контроле сварных швов разрешающая способность должна быть не более 2—4 мкс, что позволяет отличать отдельные дефекты от скоплений и отделять эхо-сигналы де-

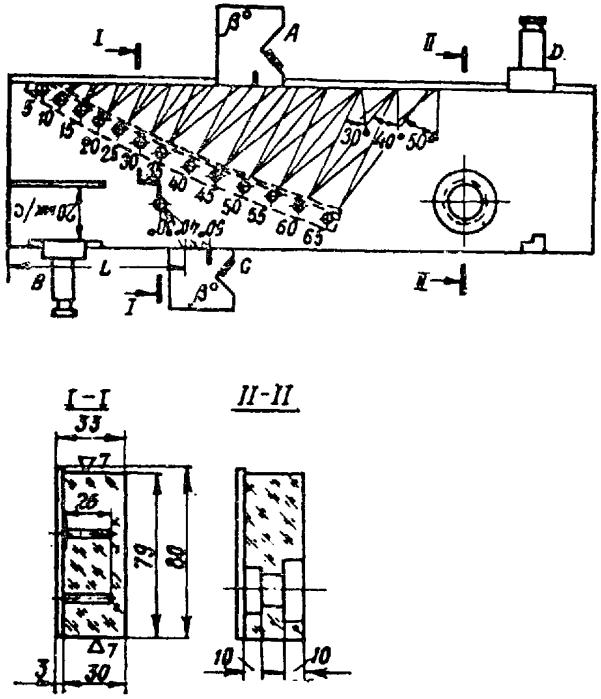


Рис. 4.7. Эталон № 1

фектов от эхо-сигналов, вызванных неровностями сварного шва. Разрешающая способность оценивается на эталоне № 1 (искатель в положении *D*).

4.2.23. Точность работы глубиномера проверяется на эталоне № 1 (искатель в положении *B*).

4.2.24. Угол падения луча искателя β определяется на эталоне № 1 (искатель в положении *C*).

4.2.25. Для настройки чувствительности при контроле сварных соединений толщиной до 12 мм применяется тест-образец № 4 (рис. 4.8), имеющий зарубки № 1—4 с отражающей поверхностью 2×2 мм.

4.2.26. Прозвучивание сварного шва осуществляется, как правило, продольно-поперечным сканированием искателя (рис. 4.9) с обеих сторон шва; шаг сканирования равен 2—4 мм с одновременным вращением искателя на угол 10—15° от положения, при котором ось луча перпендикулярна к продольной оси шва.

4.2.27. Минимальное и максимальное удаления искателя от сварного шва зависят от толщины металла и угла призмы или угла ввода луча, при этом контроль возможен прямым (рис. 4.10, *а*), однократно (рис. 4.10, *б*) или двукратно (рис. 4.10, *в*) отраженным лучом.

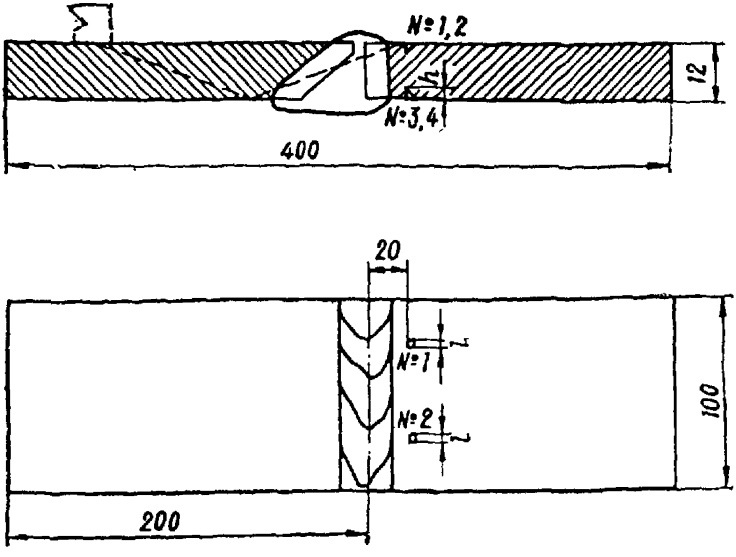


Рис. 4.8. Тест-образец № 4

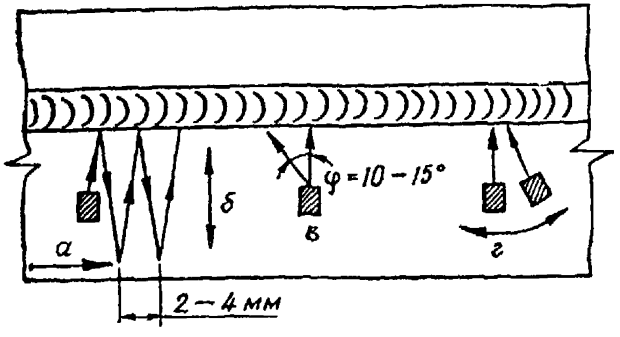


Рис. 4.9. Схемы перемещения искательной головки при контроле сварного шва:
а — продольное; *б* — поперечное; *в* — вращение; *г* — вращение со смещением

4.2.28. Расстояния от оси шва до точки ввода луча определяются уравнениями:

$$l_2 = S \cdot \operatorname{tg}\alpha; \tag{4.2}$$

$$l_3 = 2S \cdot \operatorname{tg}\alpha - b/2; \tag{4.3}$$

$$l_4 = l_5 = 2S \cdot \operatorname{tg}\alpha + b/2; \tag{4.4}$$

$$l_6 = 3S \cdot \operatorname{tg}\alpha. \tag{4.5}$$

4.2.29. Сварные швы при толщине стали 10—25 мм контролируются искателем с $\beta=50°$, при этом верхняя часть шва прозвучивается однократно отраженным лучом (рис. 4.10, *б*), нижняя

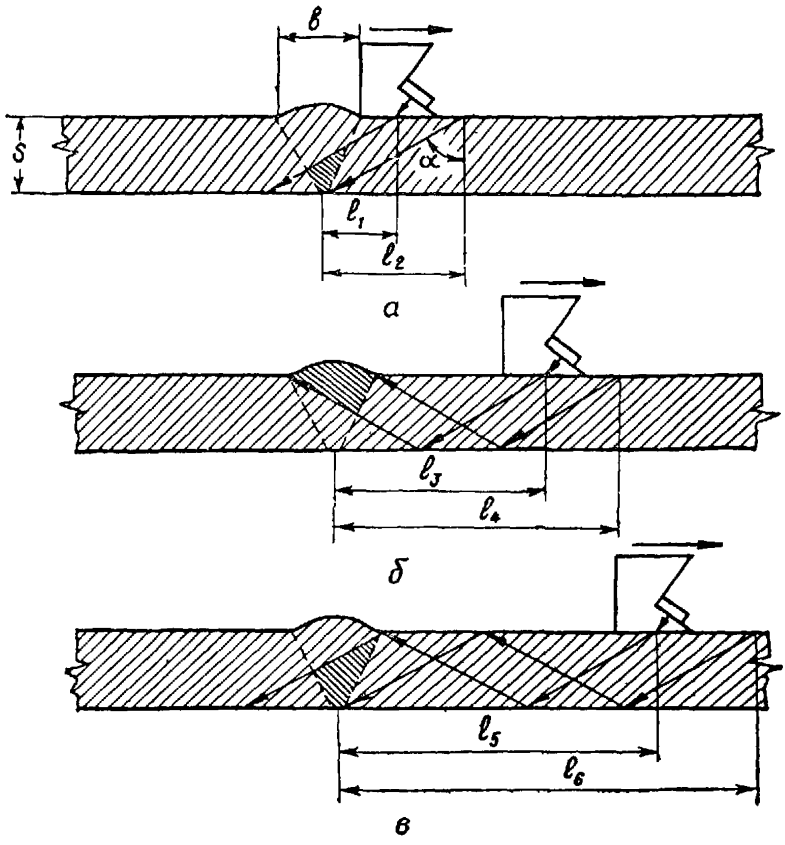


Рис. 4.10. Контроль сварных швов лучами с разной кратностью отражения:
а — прямой луч; *б* — однократно отраженный луч; *в* — двукратно отраженный луч

часть шва при толщине менее 20 мм — двукратно отраженным лучом (рис. 4.10, *в*), а при бо́льших толщинах — прямым лучом (рис. 4.10, *а*).

4.2.30. Сварные швы при толщине стали более 25 мм контролируются искателями с $\beta=50°$ и $\beta=40°$, при этом верхняя часть шва прозвучивается однократно отраженным лучом (рис. 4.10, *б*) искателем с $\beta=40°$, а нижняя часть шва — прямым лучом (рис. 4.10, *а*) искателем с $\beta=50°$.

Во всех рассмотренных случаях контроль осуществляется сканированием шва с обеих сторон.

4.2.31. Схемы прозвучивания сварных швов уточняются в соответствии с формой швов и условиями доступа к изделию. Примеры

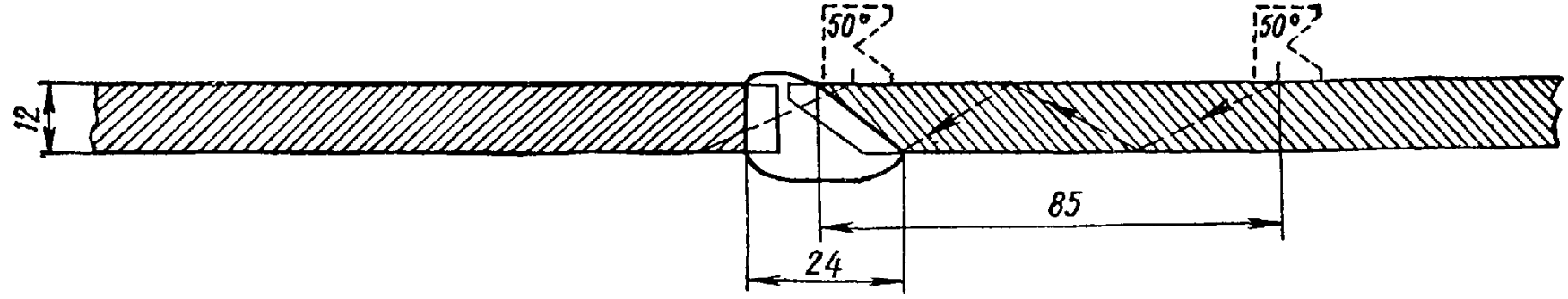


Рис. 4.11. Схема контроля стыкового сварного шва в стали толщиной 12 мм

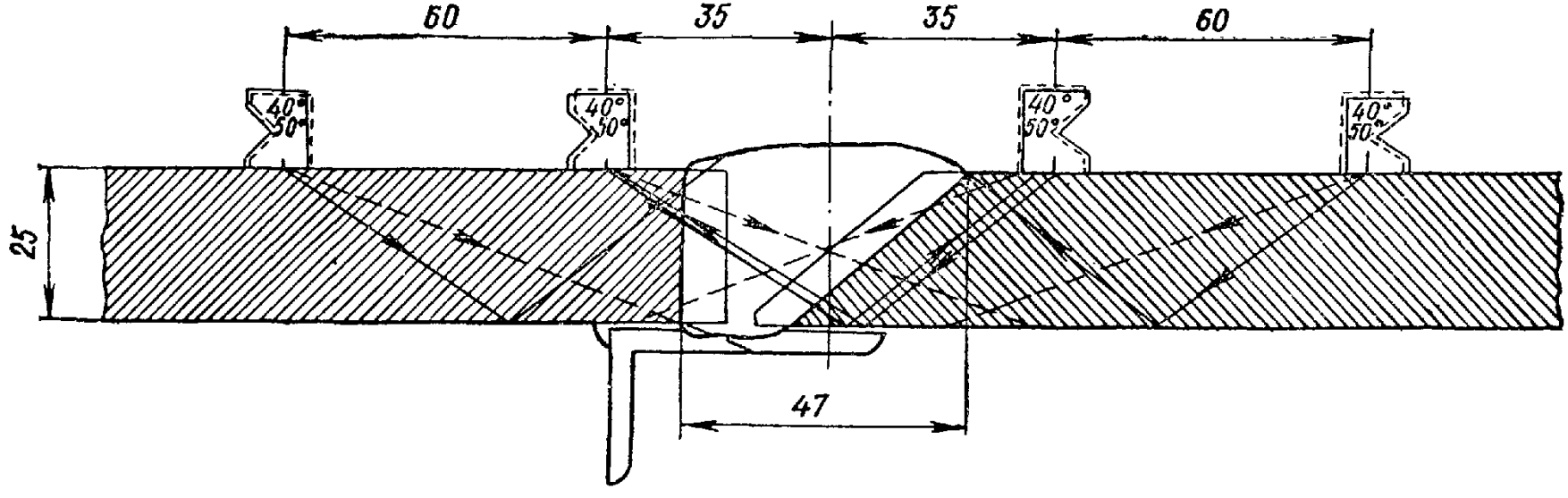


Рис. 4.12. Схема контроля стыкового сварного шва в стали толщиной 25 мм

прозвучивания сварных стыковых швов при толщине стали 12 и 25 мм показаны на рис. 4.11 и 4.12.

4.2.32. Тавровые и нахлесточные сварные соединения контролируются в соответствии с рис. 4.13.

4.2.33. В процессе контроля периодически, через один час работы, проверяется чувствительность на тест-образце № 4 или № 5. При отклонении чувствительности от заданной все сварные швы, проконтролированные при пониженной или повышенной чувствительности, контролируются повторно.

4.2.34. Результаты ультразвукового контроля при заданной чувствительности оцениваются по следующим основным характеристикам дефектов:

— амплитуде эхо-сигнала;

— условной протяженности дефекта;

— условному наименьшему расстоянию между дефектами;

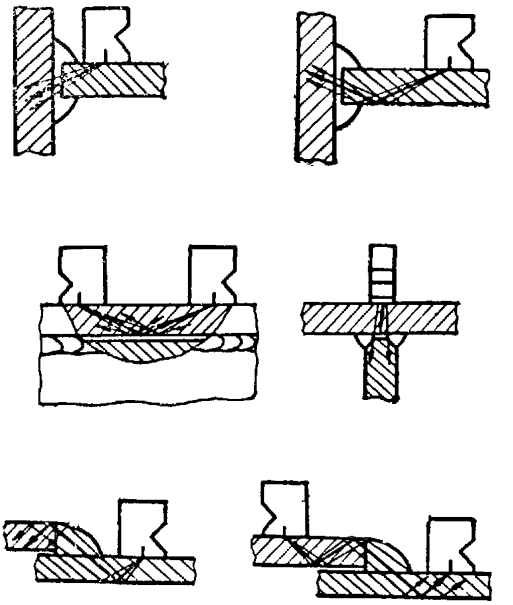


Рис. 4.13. Схемы контроля тавровых и нахлесточных сварных соединений

— количеству дефектов по длине шва;

— расположению дефекта по длине, высоте и ширине шва.

4.2.35. При оценке качества сварных швов учитываются только те дефекты, амплитуда отраженного сигнала от. которых равна или больше амплитуды эхо-сигнала, отраженного от отверстия с плоским дном и эквивалентной поверхностью 2 мм^2 при толщине металла 25 мм и более (тест-образец № 5) или от зарубки с площадью 2 мм^2 при толщине металла до 12 мм (тест-образец № 4).

4.2.36. Качество сварных швов оценивается в соответствии с табл. 4.1, а результаты контроля фиксируются в журнале по форме табл. 4.2.

4.2.37. Ультразвуковой метод контроля коррозионных поражений наиболее эффективен и позволяет обнаруживать коррозию при одностороннем доступе к изделию.

4.2.38. В основе метода лежит измерение толщины металла путем использования продольных волн (рис. 4.2).

4.2.39. Требования к подготовке поверхности металла для контроля приведены в пп. 4.2.12 и 4.2.13, при этом антикоррозионное покрытие, имеющее хорошее сцепление с металлом, не удаляется, а только покрывается слоем контактной смазки.

Таблица 4.1

Оценка качества сварных швов

Балл 1, если имеются	Балл 2, если имеются	Балл 3, если отсутствуют
Трещины Протяженные дефекты Одиночные дефекты (более двух) с площадью 2 мм² на 100 мм сварного шва Одиночные дефекты с площадью более 2 мм²	Дефекты с эквивалентной площадью 2 мм² каждый не более двух на 100 мм сварного шва	Одиночные дефекты с эквивалентной площадью более 2 мм² Протяженные дефекты

Примечания: 1. Одиночным дефектом считается дефект, условная протяженность которого не превышает условной протяженности искусственных дефектов при настройке чувствительности дефектоскопа на тест-образцах № 4 и 5.

2. Протяженным дефектом называется такой дефект, условная протяженность которого превышает условную протяженность одиночного дефекта.

3. Условная протяженность дефекта измеряется длиной зоны перемещения искателя вдоль шва, в пределах которой фиксируется эхо-сигнал или выявленный дефект при заданной чувствительности дефектоскопа. Условная протяженность менее 5 мм не измеряется.

4.2.40. Качество контакта считается хорошим, если на экране дефектоскопа имеется четкий эхо-сигнал или группа эхо-сигналов от донной поверхности. При применении ультразвуковых толщиномеров типа «Кварц-6» со стрелочной индикацией качество контакта считается нормальным, если при каждом измерении положение стрелки прибора относительно шкалы четко фиксируется.

4.2.41. Перед проведением измерений с помощью эталонов заданной толщины прибор настраивается на данный диапазон.

Эталоны изготавливаются из той же марки стали, что и контролируемое изделие; площадь эталона должна быть не меньше площади излучателя (искателя), а толщина на 25—30% больше, чем толщина металла контролируемого изделия. Так, толщина металла, из которого изготовлен эталон, при контроле изделий с толщиной металла 4, 8, 12, 15, 25 и 30 мм должна быть 6, 10, 20, 30 и 36 мм соответственно.

4.2.42. Толщина металла измеряется с точностью 1,5%, при этом в каждой точке проводятся три измерения и вычисляется среднее значение толщины металла, которое сравнивается с проектным. Разность между проектной и измеренной толщиной составляет глубину поверхностной коррозии.

4.2.43. Межкристаллитная коррозия оценивается по затуханию ультразвукового сигнала на частоте 5 МГц. Чистота поверхности для контроля должна быть не ниже 7-го класса. Наличие коррозии определяется сравнением затухания (амплитуд эхо-сигналов) на эталоне и контролируемом изделии.

Таблица 4.2

Журнал регистрации результатов контроля

№ по пор.	Дата	Шов сварного соединения		Толщина изделия, мм	Клеймо сварщика	Номер и тип дефектоскопа	Частота, МГц	Угол призмы, град	Схема проконтролированного участка сварного соединения	Оценка качества	Фамилия и подпись оператора	Примечание
		условное обозначение	индекс									

Примечание. Результаты дефектоскопии записываются в соответствии с ГОСТ 14782—69.

4.3. Магнитный метод контроля

4.3.1. Магнитный метод контроля металлических конструкций позволяет.

— контролировать механические напряжения;

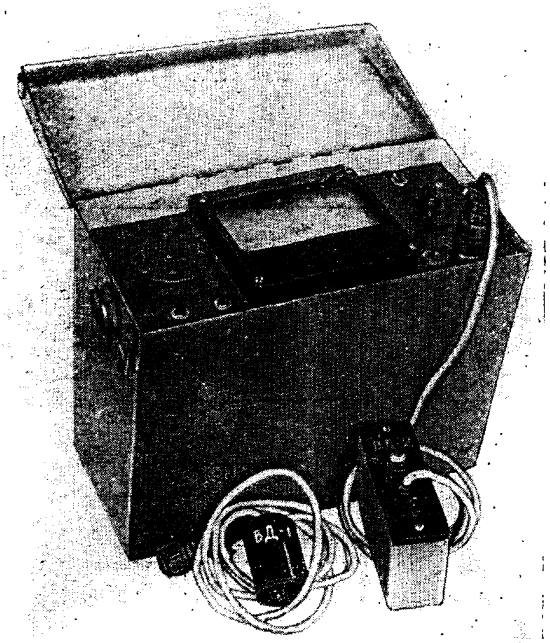


Рис. 4.14. Прибор ИНТ-М2

— осуществлять дефектоскопию изделий;

— измерять толщину диэлектрических покрытий на металле.

4.3.2. После сварки, термической или механической обработки в металлических конструкциях могут возникать остаточные напряжения, причиной которых являются объемные изменения. В дальнейшем при эксплуатации конструкции развивающиеся в ней напряжения могут суммироваться с остаточными и превосходить уровень расчетных.

В связи с этим обнаружение остаточных напряжений на участках, примыкающих к сварным швам, является одной из первостепенных задач контроля.

4.3.3. Непосредственному измерению напряжений должны

предшествовать осмотр и подготовка поверхности контролируемой конструкции.

4.3.4. Внешний осмотр служит для выявления участков, имеющих явные дефекты, измерение напряжений на этих участках целесообразно лишь после их устранения.

4.3.5. Подготовка поверхности конструкции (очистка от загрязнений, ржавчины, окалины) должна обеспечивать электромагнитный контакт датчика прибора с конструкцией на контролируемом участке.

4.3.6. При необходимости определения не только величины, но и характера распределения напряжений на поверхность обследуемой конструкции наносится сетка квадратов, узлы которой являются точками замеров; расстояние между точками должно быть 5—12 см.

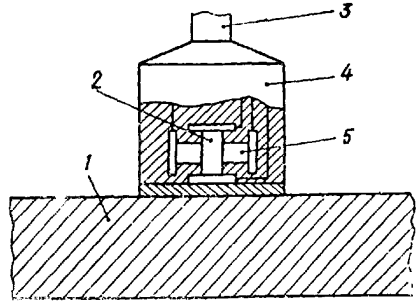


Рис. 4.15. Выносной датчик ВД-1:
1 — контролируемое изделие; *2* — измерительная обмотка L_2; *3* — соединительный кабель; *4* — корпус датчика; *5* — обмотка возбуждения L_1

4.3.7. Для контроля напряжений используются различные магнитные приборы, основанные на общем для них принципе зависимости магнитных свойств материала конструкций от их напряженного состояния: измеритель магнитной проницаемости (ИМП), измеритель напряжений и трещин (ИНТ-М2) и др.

4.3.8. Прибор ИНТ-М2 (рис. 4.14) предназначен для измерения механических напряжений и обнаружения трещин в ферромагнитных материалах и состоит из измерительной части, смонтированной в корпусе, и двух выносных датчиков ВД-1 и ВД-2. На верхней панели размещены ручки настройки и контроля работы прибора. В корпусе помещены батарея автономного питания и все элементы схемы прибора, за исключением датчиков. Датчик ВД-1 служит для определения напряжений, а датчик ВД-2 — для обнаружения трещин.

4.3.9. Выносной датчик ВД-1 (рис. 4.15) представляет собой электромагнитную систему, состоящую из обмотки возбуждения L_1 и измерительной обмотки L_2. Сердечники катушек имеют П-образную форму, открытая сторона которых в процессе работы замыкается материалом контролируемого участка конструкции. Геометрические оси катушек перпендикулярны. Электромагнитная система датчика размещена в цилиндрическом пластмассовом корпусе и залита эпоксидным компаундом. С измерительной частью прибора датчик соединяется кабелем.

4.3.10. Принцип работы прибора заключается в следующем. Посылаемые генератором импульсы через усилитель поступают в обмотку L_1 (рис. 4.16) датчика и возбуждают в контролируемой

конструкции электромагнитное поле. При отсутствии механических напряжений материал слабо проявляет свойства магнитной анизотропии, и весь поток замыкается через сердечник катушки с обмоткой L_1. В измерительную катушку, расположенную перпендикулярно, магнитный поток не поступает, и электрический сигнал в ней не возникает. При наличии механических напряжений изменяется проницаемость материала, усиливается магнитная анизотропия, и поток силовых линий отклоняется от исходного направления, при этом часть потока попадает на обмотку L_2 измерительной катушки. Появляющийся в ней электрический сигнал пропорционален величине механических напряжений. После усиления сигнал с обмотки L_2 измерительной катушки попадает на диаго-

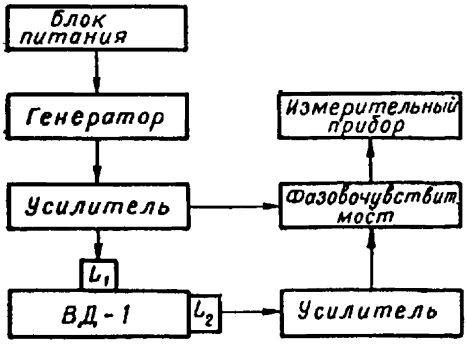


Рис. 4.16. Структурная схема прибора ИНТ-М2

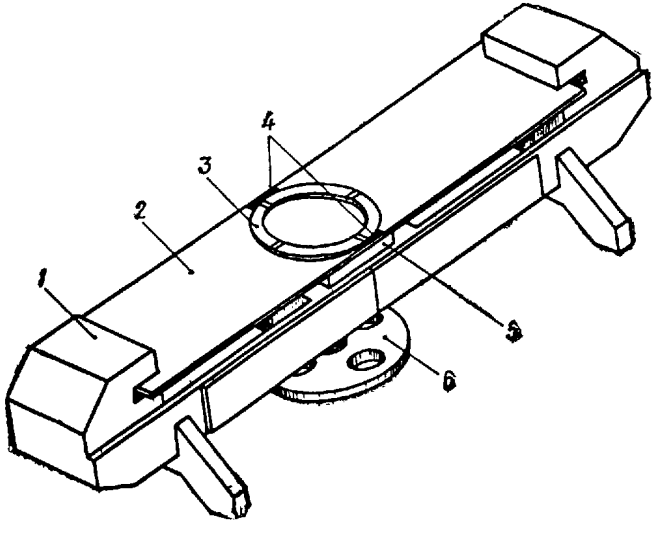


Рис. 4.17. Тарировочное устройство:

1 — корпус; *2* — тарировочный образец; *3* — трафарет для установки датчика; *4* — место установки тензометра или индикатора; *5* — нагрузочная площадка; *6* — силовой винт

наль фазочувствительного моста и вызывает его разбаланс, регистрируемый измерительным прибором.

4.3.11. Для перехода от показаний измерительного прибора к фактическим значениям механических напряжений используются

тарировочные графики, строящиеся индивидуально для каждого прибора.

4.3.12. Тарировка выполняется на образцах с помощью тарировочного устройства (рис. 4.17). Образцы представляют собой пластины прямоугольного сечения, выполненные из материала,

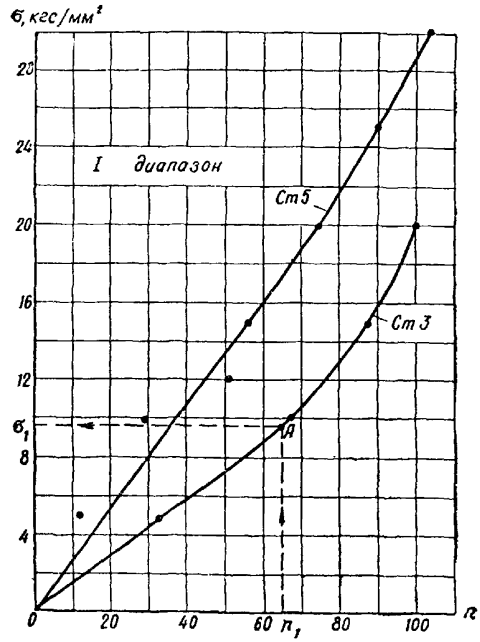


Рис. 4.18. Тарировочные графики прибора ИНТ-М2

идентичного материалу контролируемой конструкции. В корпусе тарировочного устройства образцы шарнирно закреплены по концам, а в середине пролета нагружены силовым винтом через нагрузочную площадку. На поверхность образца наклеиваются трафарет для установки датчика прибора ВД-1 и тензометры или устанавливаются индикаторы.

4.3.13. Для построения тарировочных графиков (рис. 4.18) в образце создаются последовательно возрастающие напряжения (ступени по 250—300 кгс/см^2). На каждом уровне замеряются показания прибора n и тензометров, по которым определяются соответствующие значения деформаций и вычисляются величины механических напряжений. Получение достоверных результатов обеспечивается трехкратным и четырехкратным повторением циклов нагрузки и разгрузки и осреднением полученных результатов.

4.3.14. После очистки и разметки поверхности конструкции и регулировки прибора проводятся измерения напряжений. Для этого центр датчика ВД-1 совмещается с точкой замера и снимаются показания прибора при последовательном повороте датчика без его смещения. Положение датчика, при котором отмечаются наибольшие показания прибора, соответствует направлению одно-

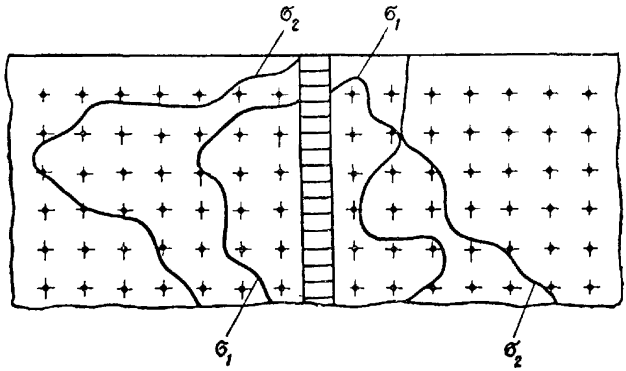


Рис. 4.19. Линии равного напряжения (изострессы)

го из главных напряжений. По рискам, нанесенным на корпусе датчика, это направление переносится на контролируемую конструкцию. При повороте датчика на 90° по отношению к этому направлению делается замер, позволяющий определить величину второго главного напряжения при плоском напряженном состоянии. Полученные показания прибора n_1 наносятся на ось абсцисс (рис. 4.18), затем восстанавливается перпендикуляр до пересечения с тарировочной кривой. Точка A проектируется на ось ординат, где и считываются значения механических напряжений σ_1, соответствующие величине n_1.

4.3.15. При необходимости выяснения характера распределения остаточных напряжений целесообразно на поверхности конструкции наносить изострессы — кривые одинакового уровня напряжений.

Для построения изостресс выносной датчик ВД-1 поочередно устанавливается в каждую из размеченных точек и выполняются измерения в соответствии с п. 4.3.14. Затем соединяются между собой точки, в которых напряжения практически одинаковы (расхождение σ не превышает 10—15%).

В случае обнаружения остаточных напряжений, превосходящих допускаемые, выделяются опасные зоны, очерченные соответствующими изострессами (рис. 4.19).

4.3.16. Магнитная дефектоскопия служит главным образом для выявления дефектов сварных швов и усталостных трещин. Наибо-

лее распространены методы, основанные на обнаружении полей рассеяния при наличии дефектов, а также изменения магнитной индукции при нарушении однородности материала.

4.3.17. Непосредственному проведению операций магнитной дефектоскопии предшествует подготовка контролируемой конструкции: очистка поверхности от загрязнений и скругление (при наличии) острых чешуек и кромок сварных швов. Участки, не соответствующие техническим условиям по результатам визуального осмотра, подвергаются магнитной дефектоскопии только после устранения обнаруженных дефектов.

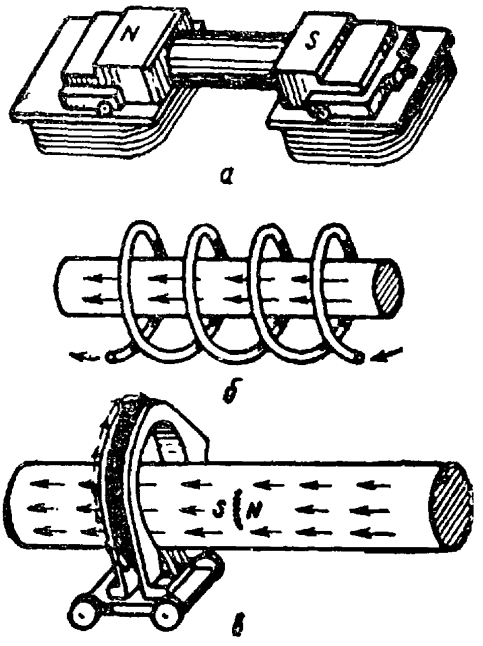


Рис. 4.20. Схемы продольного намагничивания:
а — электромагнитом; *б* — кабелем; *в* — соленоидом

4.3.18. Одной из основных операций при магнитном контроле является намагничивание. Для появления полей рассеяния прежде всего должно быть создано основное магнитное поле в контролируемой конструкции. Следует иметь в виду, что поля рассеяния сравнительно невелики, если дефект расположен вдоль силовых линий магнитного поля, и значительно возрастают, если дефект расположен в перпендикулярном направлении.

Направление и параметры создаваемого электромагнитного поля так же, как и способ намагничивания, выбираются в зависимости от характера и расположения дефектов, материала, размеров и конфигурации конструкций.

4.3.19. По направлению намагничивания в практике дефектоскопии применяются продольное (полюсное), циркулярное и комбинированное намагничивания.

Продольное намагничивание используется для выявления дефектов, расположенных под углом не менее 25° к направлению продольной оси, и осуществляется с помощью электромагнита, соленоида или кабеля (рис. 4.20).

Для выявления продольных дефектов и радиальных трещин на торцевых поверхностях применяется циркулярное намагничивание путем пропускания тока через объект контроля либо через немагнитный проводник, помещенный в полость изделия параллельно его продольной оси. При этом силовые линии проходят в направ-

лении наименьшего сопротивления и замыкаются по концентрическим окружностям внутри объекта перпендикулярно его продольной оси.

Комбинированное намагничивание используется для выявления дефектов произвольного расположения. Оно осуществляется в результате воздействия двух перпендикулярных полей Φ_n и Φ_y (рис. 4.21), из которых по крайней мере одно должно быть переменным. Магнитные силовые линии результирующего потока (Φ_p) ориентируются по винтовым поверхностям и в определенные моменты времени t оказываются перпендикулярными дефектам любых направлений. При комбинированном намагничивании контроль проводится только в приложенном поле, поскольку остаточная намагниченность будет соответствовать направлению поля в момент его снятия.

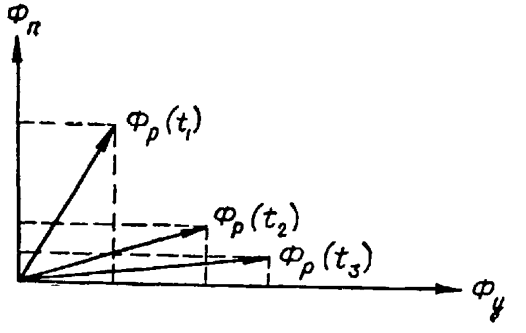


Рис. 4.21. Схема комбинированного намагничивания

4.3.20. Существенное влияние оказывает также и правильный выбор намагничивающего потока. Для выявления поверхностных дефектов целесообразно использовать магнитное поле переменного тока, которое локализовано в поверхностных слоях материала конструкции, а для выявления подповерхностных дефектов — магнитное поле постоянного тока, проникающее значительно глубже и распределяющееся в материале более равномерно.

Трехфазные токи создают поля, сходные с полями постоянных токов.

Применяемые иногда импульсные токи малой продолжительности используются для циркулярного намагничивания, при этом контроль проводится на остаточной намагниченности.

4.3.21. Весьма важно правильно установить напряженность создаваемого магнитного поля: чрезмерная его величина приводит к обнаружению несуществующих («ложных») дефектов, а при недостаточном значении резко снижается интенсивность полей рассеяния и чувствительность к дефектам.

При контроле стальных конструкций в целях выявления поверхностных дефектов в приложенном поле его напряженность должна быть порядка 50 Э. При использовании остаточного магнетизма намагничивание производится в поле напряженностью 150—200 Э, что соответствует области намагничивания вблизи насыщения.

4.3.22. При назначенном уровне напряженности поля H (Э) ток намагничивания

$$I = 0{,}25HD \qquad (4.6)$$

(для цилиндрических изделий и сварных швов),

$$I = 0{,}16Hb \qquad (4.7)$$

(для конструкций из сортамента различной конфигурации или пластин),

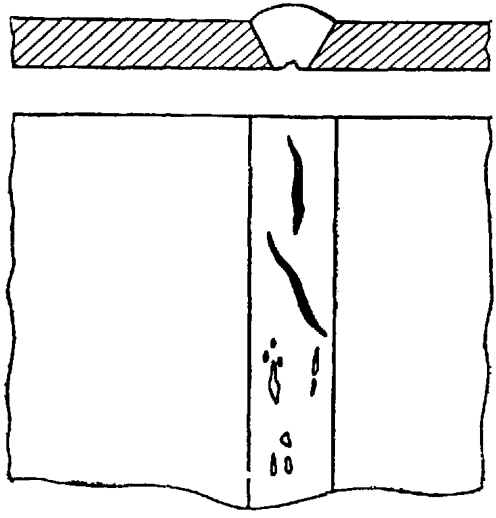


Рис. 4.22. Преимущественная направленность дефектов в сварных швах

где D — диаметр изделия или высота поперечного сечения шва, мм;
b — сумма линейных размеров сечения сортамента или ширина пластины, мм.

При намагничивании соленоидом

$$I = \frac{H\sqrt{D^2 + l^2}}{1{,}256n}, \qquad (4.8)$$

где n, l и D — число витков соленоида, его длина и средний диаметр соответственно.

Число витков намагничивающего кабеля

$$n = \frac{20D}{I}, \qquad (4.9)$$

где I — сила тока, проходящего через кабель, A;
D — наибольший диаметр контролируемого изделия, см.

Используя приведенные рекомендации, в каждом конкретном случае выбираются способ намагничивания, направление и напряженность магнитного поля, а также параметры тока.

4.3.23. В сварных соединениях стальных конструкций имеет место преимущественная направленность дефектов вдоль оси швов (рис. 4.22). При дефектоскопии сварных швов создается полюсное намагничивание, при котором поток магнитных силовых

линий направлен перпендикулярно плоскости наиболее вероятных дефектов. Намагничивание швов осуществляется постоянным током, величина которого определяется по формулам (4.6)—(4.9).

4.3.24. После намагничивания контролируемого объекта выявляют поля рассеяния с помощью методов магнитных порошков (суспензий), магнитных лент и феррозондов (рис. 4.23). Различие между этими методами заключается лишь в индикаторах полей рассеяния.

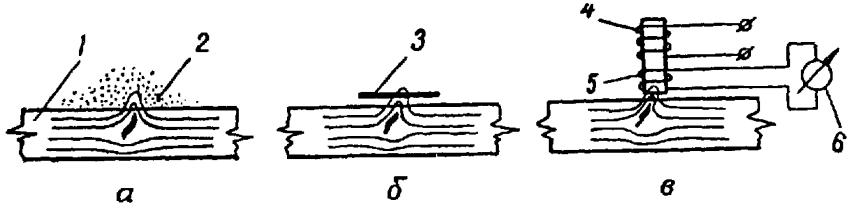


Рис. 4.23. Способы индикации магнитных полей рассеяния:
а — порошковый; *б* — магнитографический; *в* — феррозондовый; *1* — контролируемый объект; *2* — магнитный порошок или суспензия; *3* — магнитная лента; *4* — электромагнит; *5* — измерительная катушка; *6* — измерительный прибор

В первом методе поля рассеяния обнаруживаются по концентрации магнитного порошка в направлении силовых линий поля рассеяния. Во втором методе (магнитографическом) эти поля регистрируются записью на магнитной ленте. В третьем методе (феррозондов) поля улавливаются по возникновению индуцированного тока в обмотке датчика, перемещаемого по поверхности объекта.

4.3.25. Для дефектоскопии сварных швов наибольшее практическое применение получил магнитографический метод, достоинством которого является возможность не только качественной, но и количественной оценки параметров дефектов.

В отличие от частиц магнитного порошка или суспензии ферромагнитные частицы магнитной ленты не перемещаются, а под воздействием полей рассеяния только изменяют свою полярность и намагниченность. За счет эластичности и прижатия лента плотно прилегает ко всей поверхности конструкции или сварного шва; в связи с этим магнитографический метод используется и для конструкций с грубой поверхностью, для которых применение порошкового метода мало эффективно, так как порошок в основном концентрируется на границах сварного шва и основного металла.

Кроме того, значительное удобство представляет и возможность длительного сохранения результатов контроля в записях магнитной ленты, являющейся объективным документом.

4.3.26. Основные этапы магнитографического контроля включают:

— подготовку поверхности конструкции;

— наложение и прижим магнитной ленты к поверхности контролируемой конструкции;

— намагничивание и запись на ленту магнитных полей;

— считывание записи и оценку результатов контроля;
— нанесение расположения дефектов на конструкции.

Поверхность конструкции подготавливать в соответствии с рекомендациями п. 4.3.17.

При магнитографическом контроле применяются двухслойные ленты, состоящие из слоя магнитного порошка, растворенного в лаке, нанесенного на эластичную немагнитную основу. Высокой чувствительностью и хорошими эксплуатационными качествами обладает магнитная лента МК-1, рекомендованная для широкого применения в производственных условиях. При укладке ленты на конструкции существенное значение имеет ее привязка к ориентирам: за условное начало принимаются клеймо сварщика, пересечение швов либо другие хорошо обозначенные точки.

Прижатие ленты к конструкции должно исключать возможность ее сдвига и обеспечивать хороший контакт при записи. Для прижатия ленты используются резиновые пояса или ролики.

4.3.27. Намагничивание и запись полей рассеяния производятся практически одновременно. Намагничивающее устройство устанавливается таким образом, чтобы шов и наложенная лента находились между его полюсами, затем устройство перемещается вдоль шва; скорость перемещения на результаты контроля практически не влияет.

В местах нахождения дефектов создается дополнительное подмагничивание участков ленты полями рассеяния.

Для намагничивания сварных швов используются дисковые магниты (ДМ) и подвижные намагничивающие устройства (ПНУ). Эти устройства представляют собой электромагнит, закрепленный в стальном каркасе, с присоединенными к нему колесами из немагнитного материала. При намагничивании поперечных стыков труб малого диаметра по всему периметру применяются намагничивающие клещи (НК), которые представляют собой обойму, состоящую из двух шарнирно соединенных частей, внутри которых размещен электромагнит.

Электропитание намагничивающих устройств осуществляется источниками постоянного или выпрямленного тока.

4.3.28. Одним из завершающих этапов магнитографической дефектоскопии является воспроизведение записи магнитных лент и преобразование накопленной энергии магнитного поля в электрические сигналы. Считывание магнитной записи с ленты производится магнитными головками. Наиболее распространены системы, в которых лента получает поступательное перемещение, а контактирующие с ней магнитные головки установлены во вращающемся барабане. Принцип воспроизведения заключается в том, что при контакте магнитной головки с лентой силовые линии записанного поля, распространяясь по сердечнику головки, пересекают витки ее обмотки и индуцируют в ней электрический сигнал. Магнитный поток, зарегистрированный лентой над дефектом, превышает его значение на остальных участках. Аналогично изменяется и величина сигнала, индуцируемого магнитной головкой.

Запись воспроизводится в магнитографических дефектоскопах, в которых электрические сигналы поступают на электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) и считываются с экрана осциллографа.

4.3.29. В зависимости от вида и размеров конструкции применяются дефектоскопы типа МГД, МД и МДУ различных модификаций. Несмотря на конструктивные отличия, общий принцип уст-

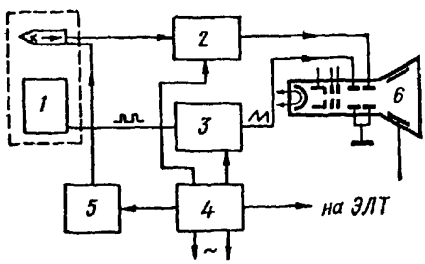


Рис. 4.24. Структурная схема магнитного дефектоскопа:
1 — считывающий узел; *2* — усилитель; *3* — генератор горизонтальной развертки; *4* — блок питания; *5* — устройство, стирающее запись; *6* — электронно-лучевая трубка

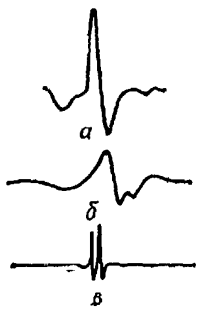


Рис. 4.25. Примеры записи дефектов магнитным дефектоскопом:
а — трещина; *б* — непровар; *в* — газовые поры

ройства этих дефектоскопов одинаков и показан на структурной схеме (рис. 4.24). Электрические сигналы с магнитной головки после усиления поступают на вертикальную развертку электронно-лучевой трубки. Напряжение от блока питания подается к считывающему узлу, усилителю, ЭЛТ и устройству, стирающему запись. Генератор горизонтальной развертки синхронизируется с работой считывающего узла. Участки записи полей рассеяния обнаруживаются по изменению амплитуды вертикальной развертки.

4.3.30. В процессе воспроизведения на ленте отмечаются границы дефектных участков. Характер дефекта и его размеры определяются по величине и форме импульса на экране ЭЛТ (рис. 4.25).

Дефектоскоп настраивается по магнитной ленте с записью эталонных дефектов, что позволяет при считывании записи выявить по уровню сигнала недопустимые дефекты.

После этого составляется заключение по результатам контроля и размечаются на конструкции дефектные участки, требующие исправления.

В процессе контроля систематически проверяются исправность и настройка аппаратуры по эталонным образцам.

4.3.31. Наиболее близка к магнитографическому методу порошковая дефектоскопия. В том и другом случае в качестве индикатора полей рассеяния используется магнитный порошок. Однако

в порошковом методе частицы не только изменяют полярность, но и перемещаются, накапливаясь и обрисовывая зоны дефектов. При недостаточно гладкой поверхности перемещение частиц затруднено и поля рассеяния обрисовываются нечетко, с искажениями. Поэтому порошковая дефектоскопия находит ограниченное применение для непосредственного контроля сварных швов. Значительно шире этот метод используется для участков конструкций, имеющих хорошо обработанную поверхность. Основные операции при дефектоскопии порошковым методом включают:

— подготовку поверхности конструкции;
— намагничивание;
— нанесение магнитного порошка или суспензии;
— наблюдение результатов контроля;
— размагничивание.

4.3.32. Подготовка поверхности и намагничивание выполняются в соответствии с рекомендациями пп. 4.3.17—4.3.22.

В зависимости от свойств материала контролируемой конструкции порошок или суспензия наносится либо непосредственно в магнитном поле, либо при использовании остаточного магнетизма объекта.

Сухие порошки более чувствительны к выявлению дефектов, поскольку при перемещении частиц порошка в суспензии затрачиваются большие усилия на преодоление вязкости жидкости.

Существенное влияние на разрешающую способность метода оказывают магнитные свойства самого порошка. Сила притяжения частицы в магнитном поле пропорциональна квадрату магнитной проницаемости материала частицы. В качестве порошков наиболее распространены измельченная окалина, стружка от шлифования стали и магнетит. Увеличению контрастности способствует применение цветных порошков двуокиси железа.

Вместе с тем применение сухих порошков не лишено и некоторых эксплуатационных неудобств, в частности чрезмерной чувствительности к воздействию сквозняков и конвекционных потоков.

Применение суспензий устраняет этот недостаток. В качестве суспензий используются масляно-керосиновые смеси с добавкой 60—70 г магнитного порошка на литр жидких компонентов. Процесс концентрации и выпадания в осадок частиц порошка в зоне дефекта ускоряется при кратковременном просушивании объекта.

4.3.33. Результаты контролируются визуально (с применением лупы) или регистрируются фотографированием.

Для расшифровки картины скоплений магнитного порошка оператор должен иметь практические навыки, приобретаемые при работе с эталонными дефектами. Вместе с тем результаты порошковой дефектоскопии носят, как правило, качественный характер и количественной оценки параметров дефектов не дают.

4.3.34. Завершающей операцией является размагничивание объекта контроля путем постепенного уменьшения до нуля тока, создающего магнитное поле, или за счет взаимного перемещения источника поля и объекта, или вследствие изменения полярности

поля. Для размагничивания обычно применяются электромагниты или соленоиды.

В случае когда объекты контроля подлежат намагничиванию или нагреву при эксплуатации, а также когда их материал не обладает остаточным магнетизмом, размагничивание после контроля не производится.

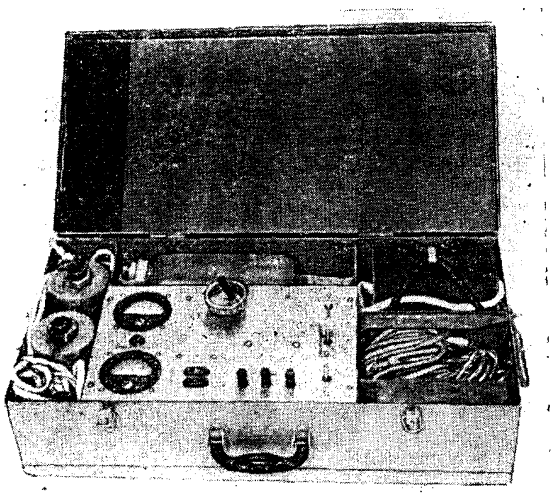


Рис. 4.26. Магнитный дефектоскоп 77ПМД-3М

4.3.35. Для контроля объектов порошковым методом применяются передвижные (ДМП) и переносные (ПМД) магнитные дефектоскопы различных модификаций. Выпускаемые промышленностью дефектоскопы имеют конструктивное оформление, приспособленное к различным размерам объектов и параметрам создаваемого магнитного поля. На рис. 4.26 показан общий вид дефектоскопа 77ПМД-3М. В корпусе дефектоскопа размещены пульт управления, приспособления для намагничивания, бачок с суспензией и лупа. На пульте находятся приборы контроля параметров тока, переключатель режимов работы и гнезда для подключения источников питания и намагничивающих устройств. В качестве источников питания используются как аккумуляторные батареи, так и промышленный переменный ток от сети. Дефектоскоп укомплектован соленоидом, кабелем и электромагнитом с набором съемных наконечников, которые обеспечивают намагничивание объектов различной конфигурации.

Основные операции при работе с дефектоскопом аналогичны приведенным в пп. 4.3.31—4.3.33.

4.3.36. Наряду с рассмотренными методами обнаружения полей рассеяния применяется и метод феррозондов (рис. 4.23, *в*). Объект испытаний намагничивается перемещающимся электромагнитом. При наличии дефекта силовые линии выходящего на поверхность поля рассеяния пересекают витки катушки; индуцируемый при этом ток регистрируется измерительным прибором.

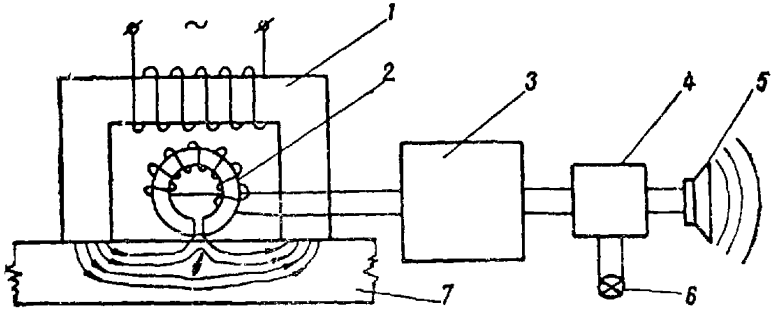


Рис. 4.27. Магнитный щелевой дефектоскоп:
1 — электромагнит; *2* — магнитная головка; *3* — усилитель; *4* — реле; *5* — репродуктор; *6* — сигнальная лампа; *7* — контролируемый объект

Положительно зарекомендовал себя сконструированный по этому принципу сотрудниками ВИКИ им. А. Ф. Можайского магнитный щелевой дефектоскоп (рис. 4.27), который состоит из электромагнита и закрепленной на нем магнитной головки. При контроле объекта по его поверхности совместно перемещаются электромагнит и магнитная головка. В месте расположения дефекта поле рассеяния попадает в щелевой зазор магнитной головки, пересекает витки ее обмотки и индуцирует в ней ток, поступающий в усилитель. Усиленный ток через реле поступает на репродуктор, сигнальную лампу или фиксируется стрелочным измерительным прибором. Преимуществами этого дефектоскопа являются простота его применения, отсутствие промежуточных операций и непосредственная увязка мест расположения дефектов с самим объектом. При недостаточно гладкой поверхности объекта возможны нарушения режима работы дефектоскопа (фиксация «ложных» дефектов).

4.3.37. Явление магнитной индукции используется в дефектоскопах, работающих на принципе сравнения эталона с контролируемым объектом. Величина индуцируемой ЭДС, используемая в качестве измерительного параметра, реагирует на изменения химического состава материала и термообработки, а также на наличие в нем дефектов. При сопоставлении тока, индуцируемого в катушках, сердечниками которых служат объект контроля и эталон, находящиеся в одинаковом магнитном поле, можно судить об их идентичности или различии.

Для сопоставления индуцируемого тока используется четырехплечевая мостовая схема, в которой одно из плеч связано с контролируемым объектом, а другое — с эталоном.

4.3.38. Принципиальная схема электромагнитного индукционного дефектоскопа показана на рис. 4.28. К диагонали мостовой схемы подключена электронно-лучевая трубка. Контролируемый объект и эталон помещаются внутрь выносных индуктивных катушек, подключенных к соответствующим плечам моста.

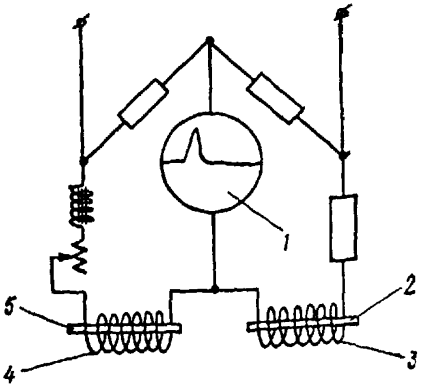


Рис. 4.28. Принципиальная схема электромагнитного индукционного дефектоскопа:

1 — электронно-лучевая трубка; *2* — эталон; *3* — эталонная катушка; *4* — рабочая катушка; *5* — контролируемый объект

Основанный на этом принципе дефектоскоп (рис. 4.29) позволяет осуществлять контроль термообработки, химического состава и геометрических дефектов объекта. Во всех случаях нарушения идентичности с сопоставляемым эталоном на электронно-лучевой трубке появляется характерный для данного типа дефектов вертикальный всплеск, по конфигурации и величине которого можно, используя тарировочные номограммы, оценить параметры дефектов. Дефектоскопы такого типа снабжены набором выносных индуктивных катушек различных диаметров, позволяющих контролировать объекты разных размеров,

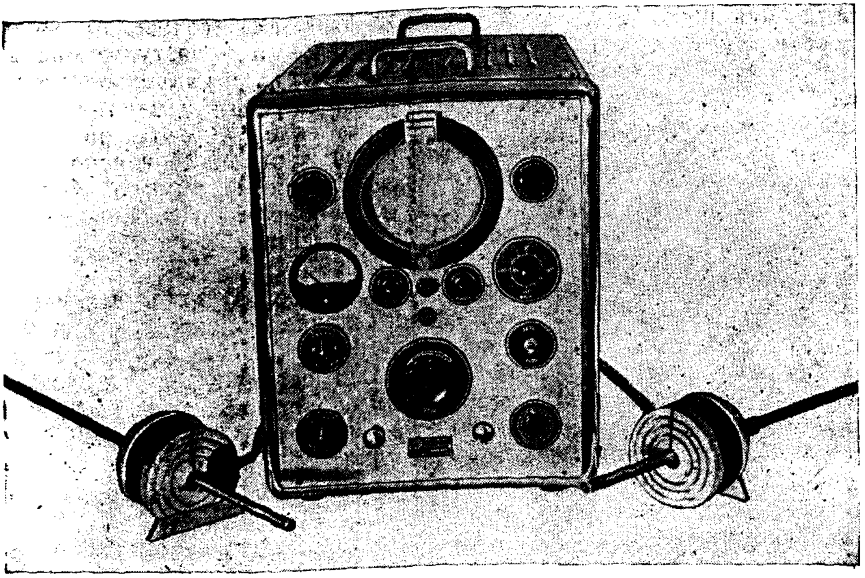


Рис. 4.29. Дефектоскоп типа ЭМИД

и применяются при контроле проволоки, прутков, арматуры и других изделий, протягиваемых через индуктивные катушки.

4.3.39. Магнитные методы контроля обеспечивают решение еще одной практической задачи: с их помощью можно достаточно надежно определить толщину антикоррозионного покрытия, нанесенного на поверхность конструкций из ферромагнитных материалов.

Принцип устройства наиболее простых приборов основан на зависимости силы притяжения постоянного магнита к объекту от толщины немагнитного покрытия. Более точные приборы измеряют магнитное сопротивление измерительной цепи «датчик — покрытие — ферромагнитный материал». При различных значениях толщины немагнитного покрытия изменяется расстояние от датчика до ферромагнитного материала и, следовательно, магнитное сопротивление системы.

4.3.40. Принципиальная схема измерителя толщины покрытий, основанного на измерении усилий отрыва магнита от поверхности объекта, показана на рис. 4.30. Внутри корпуса прибора размещен постоянный магнит, присоединенный с помощью пружины к шкале.

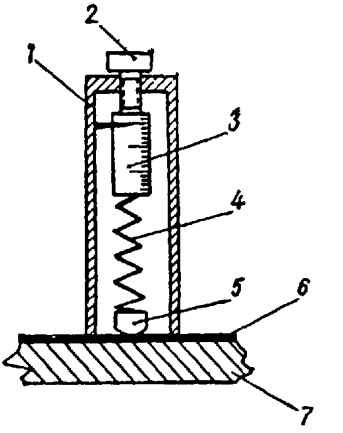


Рис. 4.30. Принципиальная схема простейшего измерителя толщины покрытий:

1 — корпус; *2* — винт перемещения шкалы; *3* — шкала; *4* — пружина; *5* — постоянный магнит; *6* — покрытие; *7* — контролируемый объект

Прибор устанавливается на поверхность контролируемого объекта с нанесенным на ней покрытием. Для определения толщины покрытия перемещают шкалу вверх, вращая винт (или корпус прибора), при этом пружина растягивается и создает усилие, отрывающее магнит от поверхности. Момент отрыва магнита фиксируется по щелчку от его удара о корпус. В этом положении шкалы отсчитывают показания в условных единицах. По такой схеме работает портативный прибор ИТП-1 (рис. 4.31).

Более совершенным является магнитный толщиномер МТА-2, утвержденный Государственным комитетом стандартов. Прибор выполнен на базе часового механизма. Постоянный магнит закреплен на рычаге и через пружинную и колесную системы связан со стрелкой. Прибор имеет устройство для фиксации положения стрелки относительно циферблата в момент отрыва магнита от поверхности объекта.

4.3.41. Для перехода от показаний приборов к фактической толщине покрытия применяются тарировочные графики, при построении которых используются прилагаемые к приборам эталоны немагнитных пленок известной толщины δ. Эталоны накладываются на чистую (без покрытия) поверхность объекта или материала с такими же, как у объекта, магнитными свойствами, затем снима-

ются показания прибора n, соответствующие различным δ; по ряду значений n и δ строится тарировочный график (рис. 4.32).

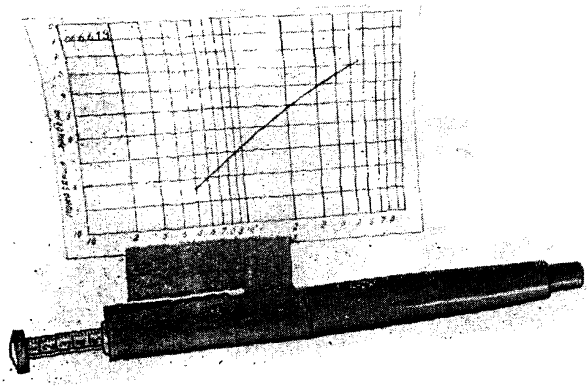


Рис. 4.31. Прибор ИТП-1

Для материалов с различными магнитными свойствами тарировочные графики не совпадают, поэтому при измерениях следует использовать графики, соответствующие испытуемому материалу.

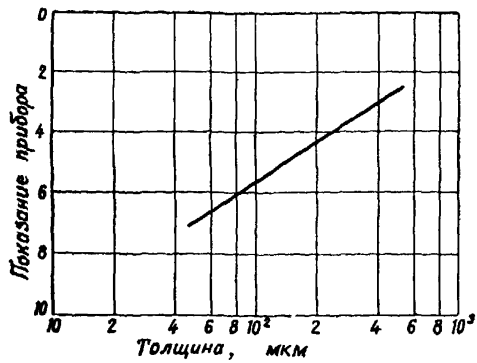


Рис. 4.32. Тарировочный график

Для уменьшения погрешности, связанной с изменением жесткости пружины прибора, тарировочные графики периодически корректируются.

4.3.42. Структурная схема магнитного измерителя толщины покрытий (прибора МИП-10) показана на рис. 4.33. Этот прибор позволяет определить толщину покрытия по изменению магнитного

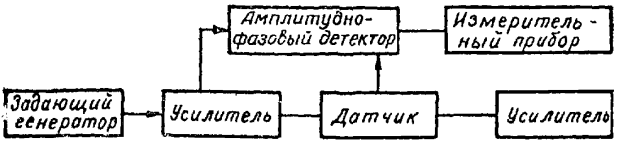


Рис. 4.33. Структурная схема прибора МИП-10

сопротивления выносного датчика. Из задающего каскада генератора после усилителя импульс поступает на одну из диагоналей амплитудно-фазового детектора и в обмотку датчика. Индуциру-

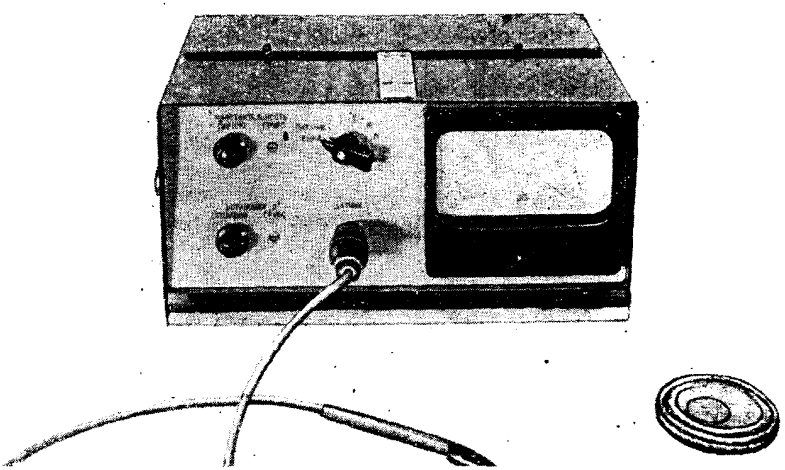


Рис. 4.34. Прибор МИП-10

емый в измерительной обмотке датчика сигнал после усилителя поступает на вторую диагональ детектора. Этот сигнал пропорционален расстоянию от сердечника датчика до ферромагнитного материала объекта (толщине покрытия). Разностное напряжение с детектора поступает на стрелочный индикатор. После юстировки прибора по эталонным образцам показания индикатора соответствуют толщине покрытия.

Прибор МИП-10 (рис. 4.34) хотя и обладает большей чувствительностью, менее надежен в эксплуатации и требует бо́льших навыков операторов.

4.4. Радиационный метод контроля сварных швов

4.4.1. Для контроля сварных швов применяется метод прошедшего излучения с регистрацией на рентгеновскую пленку, ксерорадиографические пластины или флуоресцирующий экран. Физические основы метода изложены в пп. 3.6.3 и 3.7.4.

4.4.2. Для контроля сварных швов могут быть использованы источники и детекторы излучения, описанные в пп. 2.2.13, 2.2.14 и 3.6.4.

4.4.3. Контроль сварных швов радиационным методом регламентирован ГОСТ 7512—69 «Швы сварных соединений. Методы контроля просвечиванием проникающим излучением», который устанавливает методы контроля швов сварных соединений, выполненных сваркой плавлением всех свариваемых металлов и сплавов.

Применение методов предусмотрено в стандартах и технических условиях на продукцию, устанавливающих технические требования на нее.

4.4.4. Радиационный контроль предназначен для определения в шве сварного соединения и околошовной зоне трещин, непроваров, шлаковых включений, газовых пор, подрезов, разностенности стыкуемых элементов, смещения кромок, прожогов и других дефектов. При этом не гарантируется выявление трещин и непровара в виде плотного слипания и несплавления металла без шлаковой прослойки.

4.4.5. Вид и величина допускаемых дефектов, их комбинации и объем контроля определены правилами, инструкциями или техническими условиями, утвержденными в установленном порядке на данные сварные изделия.

Вид контроля (просвечивание на экран или изготовление снимков на рентгеновской пленке) должен быть оговорен техническими условиями на изделие.

4.4.6. Качество контроля оценивается чувствительностью, под которой понимается минимальный размер обнаруживаемого дефекта в направлении просвечивания, выраженный в миллиметрах (абсолютная чувствительность) или в процентах от толщины просвечиваемого материала (относительная чувствительность).

4.4.7. Чувствительность зависит от энергии прямого излучения, воздействия рассеянного излучения, плотности и толщины просвечиваемого материала, формы и расположения дефекта по толщине изделия, геометрии просвечивания (размеры источника и поля облучения, фокусное расстояние), оптической плотности и контрастности снимка, сорта, качества и режима обработки пленок, типа усиливающих экранов и других факторов. Поэтому выбор опти-

мального режима просвечивания является весьма сложной задачей.

4.4.8. При выборе режима просвечивания следует руководствоваться следующими правилами:

— чем больше толщина и плотность контролируемого материала, тем выше должна быть энергия излучения (напряжение на рентгеновской трубке);

— чем меньше размер источника излучения и больше фокусное расстояние, тем выше четкость снимка, однако при увеличении фокусного расстояния возрастает время экспозиции;

— уменьшение энергии излучения, как правило, улучшает чувствительность контроля, но увеличивает время экспозиции;

— дефект, расположенный ближе к пленке, гораздо легче обнаружить, чем такой же дефект, *удаленный от нее*;

— применение металлических усиливающих экранов уменьшает время экспозиции и улучшает четкость снимков, использование флуоресцирующих экранов существенно уменьшает время экспозиции, но ухудшает четкость снимка; пленку необходимо плотно прижимать к экранам во избежание ухудшения качества снимка;

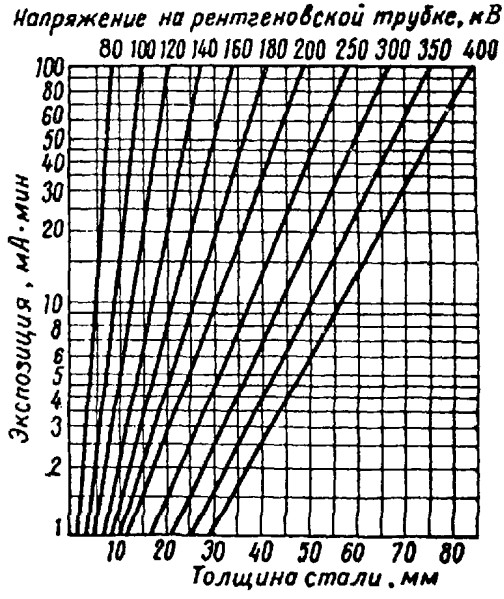


Рис. 4.35. Номограмма для определения экспозиций при просвечивании рентгеновским излучением ($F=75$ см; $D=1{,}3—1{,}5$; пленка РТ-1; фольги 0,05/0,05 мм)

— оптимальная плотность почернения снимков —1,2—2,0 единиц плотности.

4.4.9. Для ориентировочного выбора режима съемки используются специальные номограммы, приведенные в изданной научно-исследовательским и конструкторским институтом монтажной технологии инструкции № ФИ-001—62 «Рентгено- и гаммаграфирование сварных соединений» и других руководствах по радиографии.

Примеры номограмм для определения экспозиций при просвечивании рентгеновским и гамма-излучением показаны на рис. 4.35 и 4.36 соответственно. Номограмма позволяет для заданной толщины материала определить экспозицию, которая обеспечивает оптимальное почернение пленки.

Каждая номограмма справедлива для одного из видов сплавов, различающихся поглощающей способностью, т. е. сплавов на основе железа, алюминия, титана или магния. Кроме того, она дается для фиксированного фокусного расстояния и определенного типа пленки.

Экспозиция для рентгеновского излучения измеряется в мА · мин, а для гамма-излучения — в мг-экв. Ra · ч, т. е. номограмма может быть использована для различных рентгеновских аппаратов и источников излучения разной активности. Напряжение на рентгеновской трубке или радиоактивный изотоп выбираются с учетом правил, приведенных в п. 4.4.8, затем, зная толщину материала, подлежащего контролю, определяют экспозицию, после чего по известному допустимому току рентгеновской трубки или активности источника излучения находится время экспозиции.

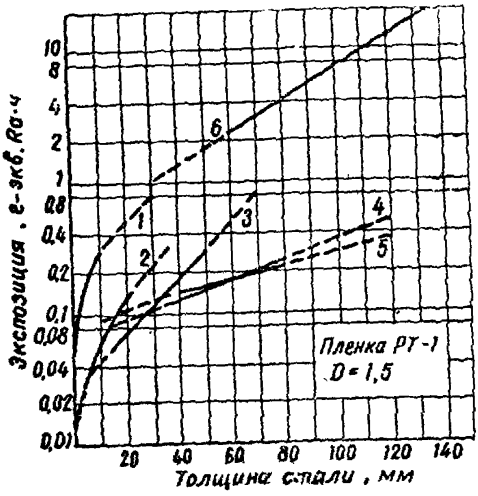


Рис. 4.36. Номограмма для определения экспозиций при просвечивании гамма-излучением:

1 — изотоп Tm-170, F = 50 см, фольги 0,05/0,05 мм; *2* — Se-75, F = 50 см, фольги 0,1/0,2 мм; *3* — Ir-192, F = 50 см, фольги 0,1/0,2 мм; *4* — Cs-137, F = 50 см, фольги 0,1/0,2 мм; *5* — Eu-152, F = 50 см, фольги 0,1/0,2 мм; *6* — Co-60, F = 85 см, фольги 0,2/0,2 мм

Номограммы дают ориентировочное время экспозиции, так как не учитывают всех факторов, действующих при съемке. Окончательно экспозиция подбирается экспериментально путем выполнения пробных снимков с разными экспозициями.

4.4.10. Если фокусное расстояние или пленка, используемые при контроле, отличаются от тех, для которых рассчитана номограмма, необходимо пересчитать экспозицию по формуле

$$Э/Э_0 = F^2/F_0^2 \qquad (4.10)$$

или

$$Э/Э_0 = \alpha_0/\alpha, \qquad (4.11)$$

где $Э$ — экспозиция, соответствующая выбранному фокусному расстоянию F или чувствительности пленки α;

$Э_0$ — экспозиция при фокусном расстоянии F_0, взятом по номограмме, или при чувствительности пленки α_0, для которой построена номограмма.

4.4.11. Перед контролем шов сварного соединения должен быть очищен от шлака, брызг, окалины и других загрязнений и осмотрен. При обнаружении недопустимых дефектов шва (выходящие наружу трещины, пористость, подрезы и др.) они должны быть устранены до контроля.

4.4.12. При просвечивании на пленку швы сварных соединений должны быть размечены на отдельные участки в соответствии с длиной снимка так, чтобы обеспечивалось выявление дефектов

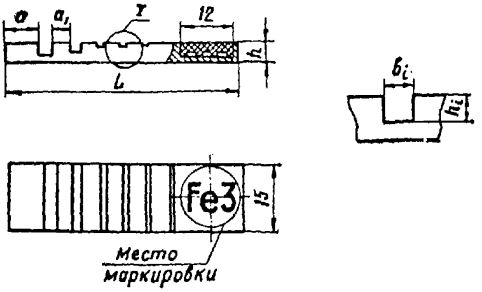


Рис. 4.37. Пластинчатый эталон чувствительности

без существенных искажений. Смежные участки снимков должны перекрывать друг друга на длине не менее 20 мм. Ширина снимка должна обеспечивать получение изображения шва сварного соединения и прилегающих к нему участков шириной не менее 20 мм с каждой стороны.

4.4.13. Контролируемые участки сварного шва необходимо маркировать условными обозначениями. Система маркировки устанавливается техническими условиями на контролируемое изделие. Маркировка каждого участка сварного шва должна быть воспроизведена на снимке.

4.4.14. Схема зарядки кассет и защита пленки от рассеянного излучения приведены в п. 3.6.9.

4.4.15. Чувствительность контроля оценивается с помощью эталонов чувствительности, помещаемых на поверхность металла, обращенную к источнику излучения; допускается установка эталона непосредственно между кассетой и изделием.

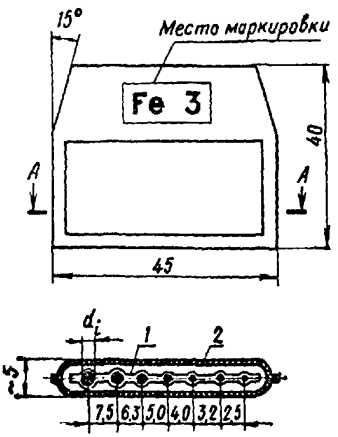


Рис. 4.38. Проволочный эталон чувствительности:
1 — вкладыш; *2* — чехол

Если оценить чувствительность указанным способом невозмож-

но, допускаются другие способы оценки чувствительности, устанавливаемые техническими условиями, утвержденными в установленном порядке.

4.4.16. Эталоны чувствительности (пластинчатые с канавками или проволочные) изготавливаются из металла, аналогичного контролируемому изделию.

4.4.17. Эталоны чувствительности маркируются свинцовыми знаками шрифтом размером 5,0 мм по ГОСТ 2304—68, нанесенным на чехле эталона. Пример маркировки: Fe3.

4.4.18. Форма и размеры пластинчатых и проволочных эталонов чувствительности должны соответствовать показанным на рис. 4.37 и 4.38 и приведенным в табл. 4.3 и 4.4 соответственно.

4.4.19. Чувствительность контроля K (в процентах) при использовании пластинчатых эталонов оценивается по выявлению наименьшей видимой канавки эталона и вычисляется по формуле

$$K = \frac{h \cdot 100}{S + S_1}, \qquad (4.12)$$

где h — глубина наименьшей видимой канавки;

S — толщина контролируемого основного металла в месте установки эталона;

S_1 — толщина эталона.

Таблица 4.3

Размеры (мм) пластинчатых эталонов

Номер эталона	$b_1 = h_1$	$b_2 = h_2$	$b_3 = h_3$	$b_4 = h_4$	$b_5 = h_5$	$b_6 = h_6$	L	h	a	a_1
1	0,05	0,07	0,1	0,14	0,2	0,27	30	1	4	2
2	0,14	0,2	0,27	0,37	0,5	0,7	40	2	6	3
3	0,5	0,7	1	1,4	2	2,7	50	4	8	4
4	1,4	2	2,7	3,7	5	7	70	8	10	5

Примечание. Предельное отклонение при $b_i \leqslant 0{,}1$ мм составляет $\pm 0{,}01$ мм, $b_i = 0{,}1 - 0{,}37$ мм — $\pm 0{,}02$ мм, $b_i = 0{,}37 - 0{,}7$ мм — $\pm 0{,}05$ мм, $b_i = 1 - 2{,}7$ мм — $\pm 0{,}1$ мм, $b_i > 2{,}7$ мм — $\pm 0{,}2$ мм.

Таблица 4.4

Размеры (мм) проволочных эталонов

Номер эталона	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7
1	0,05	0,063	0,08	0,1	0,125	0,16	0,2
2	0,1	0,125	0,16	0,2	0,25	0,32	0,4
3	0,32	0,4	0,5	0,63	0,8	1	1,25
4	1	1,25	1,6	2	2,5	3,2	4

Чувствительность контроля (в процентах) при использовании проволочных эталонов оценивается по выявлению проволоки наименьшего диаметра и вычисляется по формуле

$$K = \frac{d \cdot 100}{S + d}, \qquad (4.13)$$

где d — диаметр наименьшей видимой проволоки эталона;

S — толщина контролируемого основного металла в месте установки эталона.

4.4.20. Чувствительность контроля должна обеспечивать выявление дефектов шва сварного соединения, имеющих размеры вдвое меньше, чем наибольшие размеры дефектов, допускаемые по технической документации на контролируемую конструкцию.

4.4.21. При контроле сварных соединений направление просвечивания и место расположения кассеты с пленкой зависят от конфигурации конструкции и типа сварного шва (рис. 4.39).

4.4.22. Кассета устанавливается таким образом, чтобы сварной шов располагался вдоль ее оси, и крепится к конструкции с помощью магнитов, резиновых лент, брезентовых поясов или любых других средств, обеспечивающих равномерное и плотное ее прилегание к просвечиваемому участку сварного шва.

4.4.23. Источник излучения устанавливается таким образом, чтобы ось пучка излучения совпадала с центром кассеты.

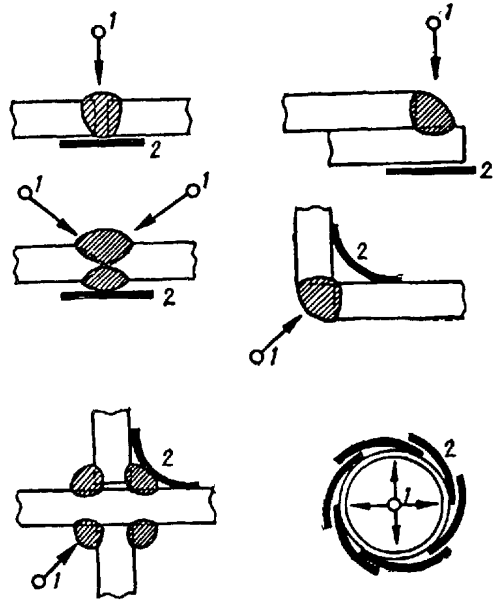


Рис. 4.39. Типовые схемы просвечивания: *1* — источник излучения; *2* — пленка

4.4.24. Полученные снимки подвергаются фотообработке (см. п. 3.6.12).

4.4.25. Качество сварного шва определяется путем расшифровки снимков. К расшифровке допускаются только снимки, удовлетворяющие требованиям п. 3.6.14.

4.4.26. При просвечивании определяются вид, характер, количество и размеры внутренних дефектов сварного соединения и околошовной зоны и составляется заключение.

4.4.27. Лучевой (в направлении просвечивания) размер дефектов по сечению сварного шва определяется с помощью пластинчатого эталона чувствительности путем сравнения затемнения на

снимке с затемнением соответствующей канавки эталона, при этом учитывается условие равенства высоты усиления шва сварного соединения с толщиной эталона чувствительности.

4.4.28. Глубина залегания дефекта определяется двойной съемкой со смещением источника излучения (см. п. 3.6.13).

4.4.29. В заключении указываются условное обозначение шва сварного соединения, чувствительность снимка в процентах, длина проконтролированного участка сварного шва в миллиметрах, вид и характер дефектов, количество дефектов в штуках и протяженность в миллиметрах.

4.4.30. Для сокращенного обозначения дефектов применяются следующие условные обозначения:

Т — трещины;

Н — непровары;

П — поры;

Ш — шлаковые включения;

В — вольфрамовые включения;

Пд — подрезы;

См — смещение кромок;

Р — разностенность;

О — ослабления корня шва.

В заключении обязательно фиксируются трещины, непровары, шлаковые включения и поры.

4.4.31. По характеру распределения дефекты объединяются в следующие группы:

А — отдельные дефекты;

Б — цепочка дефектов;

В — скопление дефектов.

К отдельным относят дефекты, которые по своему расположению не образуют цепочки или скопления; к цепочке дефектов — дефекты, которые расположены на одной линии в количестве не менее трех с расстоянием между ними, равным или меньшим трехкратной величины дефекта; к скоплению дефектов — дефекты с кучным расположением в количестве не менее трех с расстоянием между ними, равным или меньшим трехкратной величины дефекта.

4.4.32. Размером дефекта считается наибольшая длина его изображения на снимке, при наличии группы дефектов разных размеров одного вида — средний или преобладающий размер дефектов в группе.

4.4.33. В заключение указываются:

— для группы А — размер дефектов и их число по всей длине снимка;

— для групп Б и В — протяженность дефекта и расстояние в миллиметрах между крайними дефектами, образующими цепочку или скопление.

4.4.34. Пример заключения. Если на изображении участка шва сварного соединения В3 (обозначение шва) чувствительностью 2% и длиной 400 мм выявлены три трещины длиной по 7 мм, непро-

вар длиной 80 мм, четыре отдельных шлаковых включения размером по 5 мм и одна цепочка пор диаметром 2 мм и длиной 30 мм, то сокращенно в заключении это записывается в таком виде:

В3; 2; 400: Т-7-3; Н-80; ША-5-4; ПБ-2-30.

4.4.35. Описанный метод контроля используется и для дефектоскопии конструкций и изделий из пластмасс, железобетона и древесины; в этом случае регистрируются трещины, раковины, положение и соединение закладных деталей, сучки и места загнивания в древесине.

Глава 5

НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ

5.1. Контролируемые характеристики грунтовых оснований

5.1.1. Измерение физико-механических характеристик грунтовых оснований преследует цель оценить состояние грунта в естественных условиях залегания и в насыпях, исследовать изменение этих характеристик с глубиной и по слоям в интересах проектирования и строительства спецсооружений, аэродромов и транспортных путей.

Измерения проводятся в целях определения:

— скоростных разрезов скважин по скоростям продольных C_p и сдвиговых C_s волн (геоакустический каротаж скважин);

— пластовых коэффициентов затухания $\alpha_{пл}$ по амплитудам первых вступлений ультразвуковых импульсов;

— плотности грунтов ρ в скважинах (γ-γ-каротаж скважин);

— влажности W грунтов в скважинах (n-n-каротаж скважин);

— параметров C_p, C_s, ρ, W с поверхности и в шурфах;

— прочностных характеристик грунтов (угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C) по результатам акустических и радиометрических измерений.

5.1.2. Указанные характеристики используются для определения параметров, необходимых для расчета фортификационных сооружений, а также прочностных и деформативных характеристик грунтов оснований:

— времени прихода волн в данную точку массива;

— времени нарастания давления до максимума в упругопластической волне;

— максимальной массовой скорости частиц грунта;

— максимального давления в упругопластической волне в грунте;

— времени взаимодействия волн с сооружением;

— несущей способности оснований;

— осадки грунтовых оснований;

— коэффициента стандартного уплотнения и др.

5.2. Методика определения скоростей продольных и поперечных волн и пластовых коэффициентов затухания

5.2.1. Для количественного определения характеристик C_p, C_s и $\alpha_{пл}$ применяется дифференциальный геоакустический каротаж скважин, при этом регистрируются время пробега Δt_i акустических волн вдоль образующей скважины от излучателя к приемникам и величина амплитуды A_i первого вступления ультразвукового импульса высокочастотных колебаний.

5.2.2. Каротаж скважин выполняется комплектом геоакустической аппаратуры, включающим акустический каротажный снаряд АКС-1 (2,3) для скважин диаметром 100, 130 и 180 мм соответственно, измерительно-коммутационный блок ИКБ-2, электронно-лучевой осциллограф типа С1-35, лебедку для опускания снаряда АКС, компрессор для поддува снаряда АКС (используется компрессор шасси подвижной комплексной лаборатории ПКЛ), пульт управления давлением и регистрирующую фотоприставку на основе фотоаппарата «Зенит». Комплект аппаратуры входит в состав подвижной комплексной лаборатории неразрушающих испытаний (ПКЛ).

5.2.3. Сущность каротажа состоит в следующем (рис. 5.1,*а*). В заранее пробуренную скважину (без обсадной трубы) погружают с помощью лебедки, установленной над скважиной, снаряд АКС, соответствующий диаметру скважины. Снаряд имеет два излучателя и четыре приемника. Акустические колебания, идущие от излучателей вдоль образующей скважины, с помощью приемников регистрируются наземной аппаратурой.

5.2.4. Скорости ультразвука C_p и C_s определяются по следующей методике. Сжатым воздухом под давлением 0,9—1 кгс/см^2, подаваемым компрессором в акустический отсек снаряда АКС по кабель-шлангу, излучатели и приемники плотно прижимаются к стенке скважины. Через коммутационное устройство ИКБ-2 включаются в работу либо излучатель *А*, либо излучатель *Б* и с помощью фотоприставки или визуально регистрируются параметры акустических импульсов с приемников излучения. Осциллограммы, получаемые с приемников *1*, *2*, *3*, *4* при работе излучателя *А*, показаны на рис. 5.2. Аналогичные осциллограммы получаются и при работе излучателя *Б*.

5.2.5. По осциллограммам методом фазовой корреляции (выделение на осциллограммах характерных фаз импульсов) определяются:

— время прихода переднего фронта импульсов от излучателей к приемникам (Δt_1, Δt_2, Δt_3, Δt_4 — излучатель *А* и $\Delta t'_1$, $\Delta t'_2$, $\Delta t'_3$, $\Delta t'_4$ — излучатель *Б*);

— время прихода последующей, более интенсивной волны;

— величина амплитуды первого вступления акустического импульса.

Для определения указанных характеристик осциллограммы от всех приемников строятся в одинаковом масштабе, при этом расстояние между осями t должно быть одинаковым.

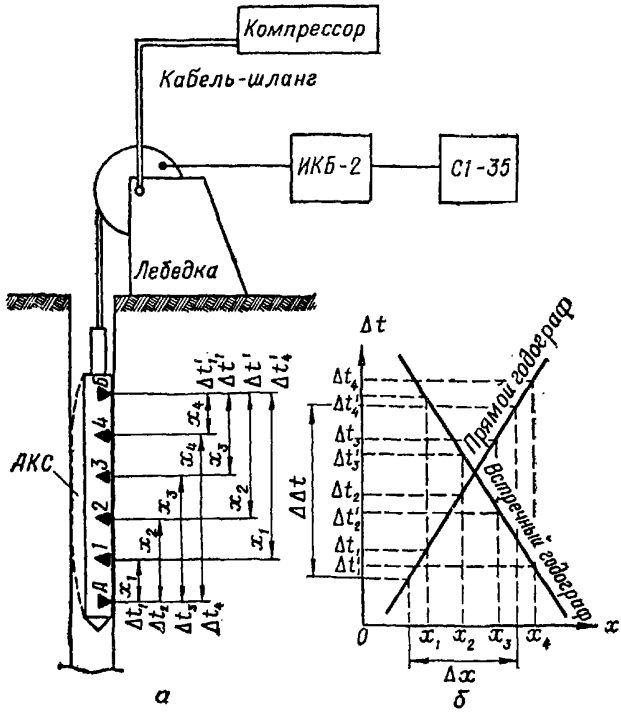


Рис. 5.1. Ультразвуковой каротаж скважин:
а — схема каротажа; *б* — годографы скоростей; *А*, *Б* — излучатели; *1*, *2*, *3*, *4* — приемники излучения

На осциллограммах выделяются две волны: продольная, хорошо прослеживаемая по первым вступлениям, и волна Штильке, прослеживаемая в последующих, более интенсивных вступлениях.

Метод фазовой корреляции заключается в следующем. На осциллограммах выделяются первые вступления импульсов (при правильно построенных осциллограммах все первые вступления должны быть на одной прямой — штриховая прямая I, рис. 5.2). Затем по оси t определяется время прихода первых вступлений импульсов. Для определения времени прихода волны Штильке из вершин идентичных импульсов опускаются перпендикуляры на ось t (при правильном построении точки пересечения их с осью t должны лежать

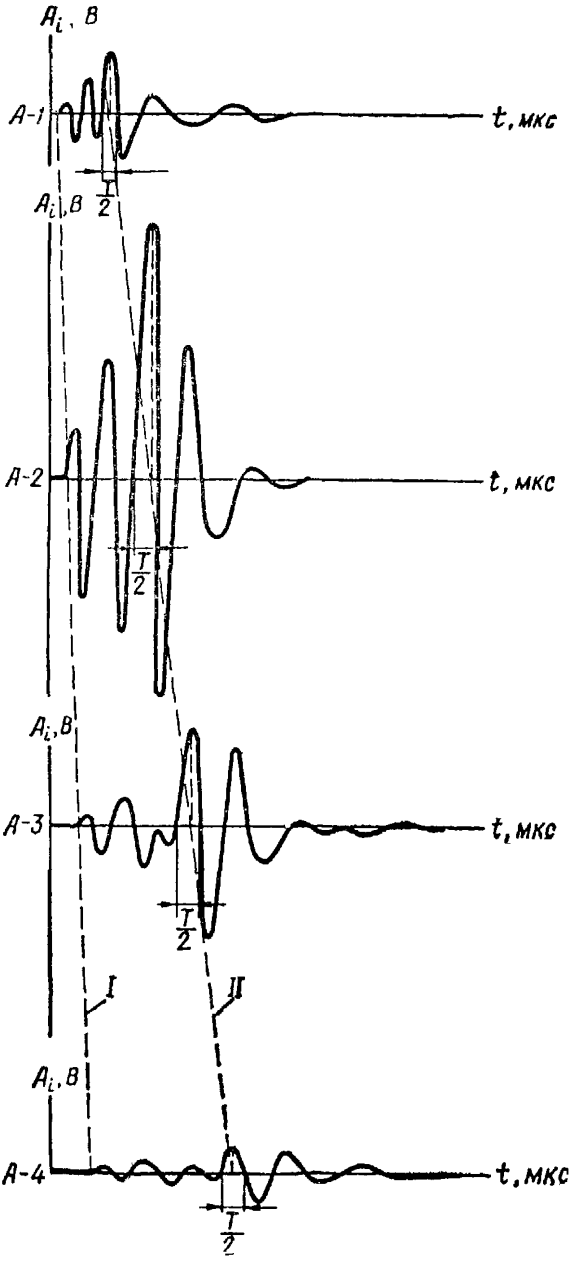


Рис. 5.2. Примеры осциллограмм

на одной прямой — штриховая прямая II, рис. 5.2). Величины отрезков оси t от 0 до оснований перпендикуляров соответствуют времени прихода волны Штильке.

Волна Штильке — результат интерференции поверхностной и сдвиговой волн, идущих по цилиндрической стенке скважины, скорость ее подвержена геометрической дисперсии, обусловленной соотношением между длиной этой волны и диаметром скважины, поэтому для определения скорости сдвиговых волн необходимо учитывать геометрию измерений.

По времени пробега соответствующих волн и расстоянию от излучателей до приемников определяются скорости продольных волн C_p и скорости волн Штильке C_R методом годографа. Для этого в координатах (Δt, x) строятся прямой и встречный годографы скоростей, представляющие собой прямые линии, осредняющие экспериментальные точки. Методика построения годографов показана на рис 5.1,*б*. Непосредственно скорости определяются по величине угла наклона годографа к оси Δt и рассчитываются по формуле

$$C_{p,R} = \frac{\Delta x_{p,R}}{\Delta t_{p,R}}, \qquad (5.1)$$

где $C_{p,R}$ — соответственно скорость продольных волн и скорость волн Штильке, км/с;

$\Delta x_{p,R}$ — расстояние по оси x между двумя любыми точками на годографе скоростей, мм;

$\Delta t_{p,R}$ — изменение времени пробега волн между этими же точками, отсчитываемое по оси Δt, мкс.

Такой расчет выполняется по прямому и встречному годографам, при этом величины скоростей, подсчитанных по прямому и встречному годографам, не должны отличаться друг от друга более чем на 1% для продольных волн и более чем на 3—5% для волн Штильке. Скорость определяется как среднее из измерений по прямому и встречному годографу

$$C_{p,R} = \frac{C^{\text{пр}}_{p,R} + C^{\text{встр}}_{p,R}}{2}, \qquad (5.2)$$

где $C^{\text{пр}}_{p,R}$ — скорости, определенные по прямому годографу, км/с;

$C^{\text{встр}}_{p,R}$ — скорости, определенные по встречному годографу, км/с.

5.2.6. Величина скорости сдвиговых волн C_s определяется по номограмме Кнопова (рис. 5.3). По номограмме в зависимости от величины $\lambda/\pi d$ (где λ — длина волны Штильке, мм, d — диаметр скважины, мм) выбирается одна из кривых зависимости отношения C_R/C_p от коэффициента Пуассона μ, затем по отношению C_R/C_p определяются коэффициент μ и величина C_R/C_s, по которой легко находится скорость сдвиговых волн C_s.

Длина волны λ определяется из осциллограмм (рис. 5.2) по величине полупериода $T/2$ и рассчитывается по формуле

$$\lambda = C_R \cdot T, \tag{5.3}$$

где T — период колебаний, с.

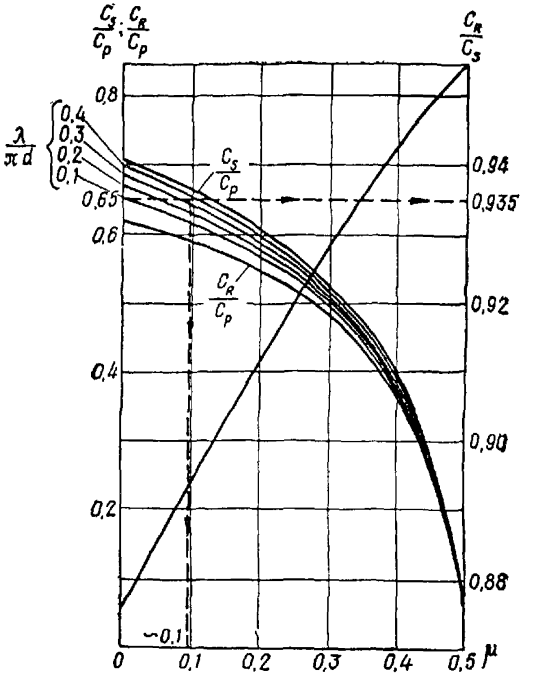


Рис. 5.3. Номограмма Кнопова для определения скорости поперечных волн C_s и коэффициента Пуассона μ по данным ультразвукового каротажа

5.2.7. Пример расчета величины сдвиговой скорости. Пусть по результатам каротажа скважины в одной точке стояния найдено, что $C_p = 500$ м/с, $C_R = 325$ м/с, тогда отношение $C_R/C_p = 0{,}65$. По осциллограмме находим $T/2 = 9{,}6 \cdot 10^{-5}$ с, следовательно, $T = 19{,}2 \cdot 10^{-5}$ с. Если диаметр скважины $d = 100$ мм, то

$$\frac{\lambda}{\pi d} = \frac{C_R \cdot T}{\pi d} = \frac{325\,000 \cdot 19{,}2 \cdot 10^{-5}}{3{,}14 \cdot 100} = 0{,}2.$$

В зависимости от этой величины выбираем по номограмме (рис. 5.3) кривую, соответствующую $\lambda/\pi d = 0{,}2$, и для $C_R/C_p = 0{,}65$ находим коэффициент Пуассона $\mu \approx 0{,}1$ и отношение $C_R/C_s = 0{,}935$. Тогда скорость сдвиговых волн $C_s = 0{,}935 \cdot C_R = 0{,}935 \cdot 325 = 304$ м/с.

5.2.8. Пластовый коэффициент затухания $\alpha_{пл}$ продольных волн определяется по изменению амплитуды первых вступлений, найденных по осциллограмме или зарегистрированных визуально, при этом их величина должна быть приведена к одному масштабу. Численное значение пластового коэффициента затухания (1/м)

$$\alpha_{пл} = \frac{1}{x_4 - x_1} \ln \frac{A_1}{A_4}, \qquad (5.4)$$

где $x_4 - x_1$ — расстояние между крайними приемниками снаряда АКС, м;

A_1 — амплитуда первого вступления в первой точке приема, В или мм экрана ЭЛТ;

A_4 — амплитуда первого вступления в четвертой точке приема, В или мм экрана ЭЛТ.

Амплитуды A_2 и A_3 второй и третьей точек приема служат для контроля определений пластового коэффициента затухания и оценки характера его изменений на длине акустического отсека снаряда.

5.2.9. Указанные измерения проводятся по всей длине скважины с интервалом точек измерений от 1 до 5 м в зависимости от необходимой детальности исследований, при этом за точку отсчета принимается центр акустического отсека каротажного снаряда АКС.

5.2.10. По данным геоакустического каротажа скважин строятся графики изменения скоростей ультразвука с глубиной (скоростные разрезы скважин) и графики изменения коэффициента затухания $\alpha_{пл}$ по слоям грунта.

5.2.11. Физико-механические характеристики грунтов ультразвуковыми методами с поверхности оснований, в шурфах, траншеях, котлованах и на образцах определяются с помощью аппаратуры и методики, используемой для неразрушающего контроля бетонных и железобетонных конструкций как при одностороннем, так и при двустороннем доступе к контролируемому объекту (см. разд. 3.2).

5.3. Радиационный метод контроля плотности и влажности грунтов

5.3.1. В настоящее время плотность и влажность грунтов в большинстве случаев определяются с помощью малопроизводительных и недостаточно приспособленных для полевых условий методов: объемный вес — методом режущих колец и методом парафинирования ГОСТ 5182—64, влажность — весовым методом ГОСТ 5180—75. Кроме того, имеются несколько нестандартизованных методов определения плотности и влажности, которые не отвечают современным технико-экономическим требованиям, не являются универсальными и не обеспечивают необходимую точность при определении свойств грунтов.

5.3.2. В последнее время разработаны методы определения плотности и влажности грунтов как в их естественном залегании, так

и в насыпях, основанные на применении радиоактивных излучений. При этом плотность грунтов определяется с помощью источников гамма-излучения, а влажность — с помощью нейтронного потока. В обоих случаях плотность и влажность можно измерять как с поверхности, так и в скважинах.

5.3.3 Плотность и влажность определяются специальной радиометрической аппаратурой: для поверхностных измерений применяются поверхностный гамма-плотномер ПГП-2, сцинтилляционный гамма-плотномер СГП, нейтронный универсальный влагомер НВУ-1 и др., а для измерений в скважинах — глубинные гамма-плотномеры ГГП-1, ГГП-20, нейтронный индикатор влажности НИВ-1, нейтронный универсальный влагомер и др. Источники гамма-излучения и нейтронов те же, что и при работе с бетоном. Так как методика и аппаратура для поверхностных измерений плотности и влажности грунтов аналогична методике и аппаратуре для бетона, в данном разделе будет рассмотрена только методика глубинных измерений в скважинах.

5.3.4. Для определения плотности грунтов в скважинах с помощью гамма-излучения используются два метода: теневой (метод прошедшего излучения) и метод рассеянного гамма-излучения (γ-γ-каротаж скважин).

5.3.5. Теневой метод применяется для послойного определения плотности грунтов до глубины нескольких метров в полевых и лабораторных условиях. Метод основан на ослаблении интенсивности пучка гамма-квантов при прохождении их через слой грунта в зависимости от плотности последнего. Для теневого метода используются источники гамма-излучения с энергией квантов 0,3—2 МэВ.

С помощью теневого метода плотность измеряется путем регистрации «узкого» и «широкого» пучков излучения.

5.3.6. При использовании узкого пучка регистрируются только кванты, не взаимодействующие с грунтом при прохождении их от источника до детектора (рис. 5.4). Узкий пучок излучения, поступающего на детектор, получается за счет установки перед ним защитного экрана из поглощающего материала с узким отверстием (коллиматор).

По результатам измерений для данного случая плотность сухих грунтов

$$\rho = \frac{\ln I_0/I}{\mu d}, \qquad (5.5)$$

где I_0 — интенсивность излучения, регистрируемая при отсутствии грунта, имп/с;

I — регистрируемая интенсивность излучения при просвечивании слоя грунта, имп/с;

μ — массовый коэффициент ослабления гамма-излучения в грунте ($\mu = 0{,}0562$ см^2/г для Co-60 и $\mu = 0{,}0773$ см^2/г для Cs-137);

d — толщина просвечиваемого слоя, см.

Плотность влажных грунтов при узком пучке гамма-квантов

$$\rho = \frac{\ln I_0/I}{\mu d} - 0{,}11 u \rho_г. \qquad (5.6)$$

где $\rho_г$ — объемный вес твердой фазы (скелета) грунта, г/см³;

$u = \frac{\rho_в}{\rho_г}$ — весовая влажность;

$\rho_в$ — объемная влажность, г/см³.

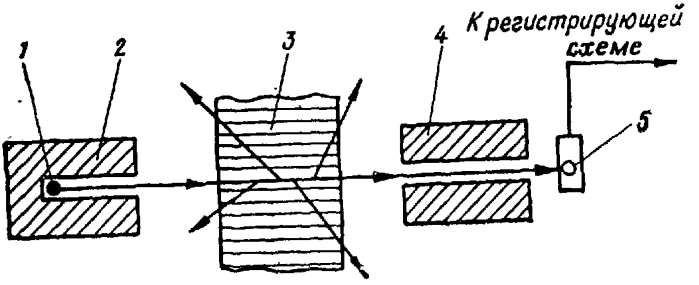


Рис. 5.4. Схема измерений с помощью узкого пучка излучения:
1 — источник излучения; *2*, *4* — коллиматоры; *3* — контролируемый грунт; *5* — детектор излучения

Для определения плотности грунтов с высокой точностью необходимо знать их влажность, которая может быть определена либо традиционными методами на образцах, либо нейтронным методом.

Метод узкого пучка применяется при необходимости тщательного изучения образцов грунта или монолита по высоте. Достоинством его является бóльшая точность определения плотности по сравнению с другими методами.

5.3.7. Чаще используется широкий пучок гамма-квантов. В этом случае детектор регистрирует как невзаимодействующие, так и рассеянные гамма-кванты, пришедшие к детектору после одного или нескольких рассеяний, следовательно, детектор регистрирует непрерывный спектр гамма-излучения, характер которого зависит от расположения источника относительно детектора, состава и физико-механических свойств грунтов, конструкции прибора и геометрии измерений.

5.3.8. При широком пучке гамма-квантов теневой метод имеет две схемы (рис. 5.5). При первой — горизонтальное просвечивание (рис. 5.5,*а*) — источник и детектор излучения опускаются на одном уровне в две пробуренные параллельно друг другу скважины, расстояние между которыми составляет 0,3—0,4 м; глубина скважин практически не ограничена, стенки скважин обычно обсаживаются металлическими трубами. Однако проходка двух строго параллельных скважин на большие глубины весьма затруднительна, поэтому определение плотности грунта по этой схеме ограничивается несколькими метрами.

Вторая схема — наклонное просвечивание (рис. 5.5, *б*) — используется для определения плотности поверхностных слоев мощностью 0,2—0,6 м. По этой схеме в грунт забивается стальной стержень, на нижнем конце которого закреплен контейнер с изотопом, или

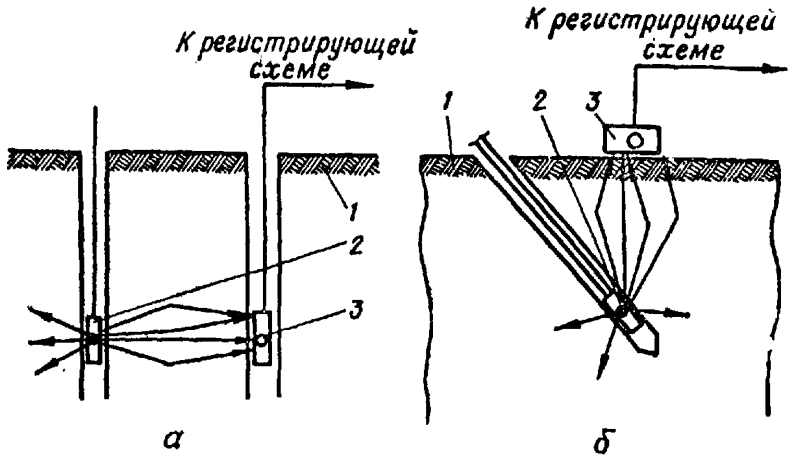


Рис. 5.5. Схема измерений с помощью широкого пучка излучения:
а — при горизонтальном просвечивании; *б* — при наклонном просвечивании;
1 — исследуемый грунт; *2* — источник излучения; *3* — детектор излучения

бурится неглубокая наклонная скважина, в которую опускается источник гамма-излучения. Детектор помещается на поверхности.

5.3.9. При просвечивании широким пучком плотность сухого грунта

$$\rho = -\frac{\ln I_0/I}{\eta\mu d}, \qquad (5.7)$$

где η — коэффициент, учитывающий регистрацию рассеянного излучения ($\eta<1$).

Коэффициент η находится экспериментально путем непосредственного измерения на средах известной плотности.

Плотность влажного грунта

$$\rho = \frac{\ln I_0/I}{\eta\mu d} - 0{,}11u\rho_г. \qquad (5.8)$$

5.3.10. Кроме указанных соотношений при определении плотности грунта методом широкого пучка, пользуются тарировочной зависимостью $\ln I = f(\rho)$, построенной в полевых или лабораторных условиях на эталонах плотности. Тарировочная зависимость строится в полулогарифмической системе координат, где по оси абсцисс откладываются плотность ρ, а по оси ординат — значения $\ln I$. В случае если $\mu=\text{const}$ и $\eta=\text{const}$, тарировочная зависимость — прямая линия. Тарировочную зависимость необходимо строить не менее чем по пяти эталонным точкам.

В процессе работы тарировка периодически контролируется по двум-трем реперным точкам, так как на стабильность работы аппаратуры оказывают влияние различные внешние факторы (температура и влажность воздуха, колебания напряжения внешней сети и др.).

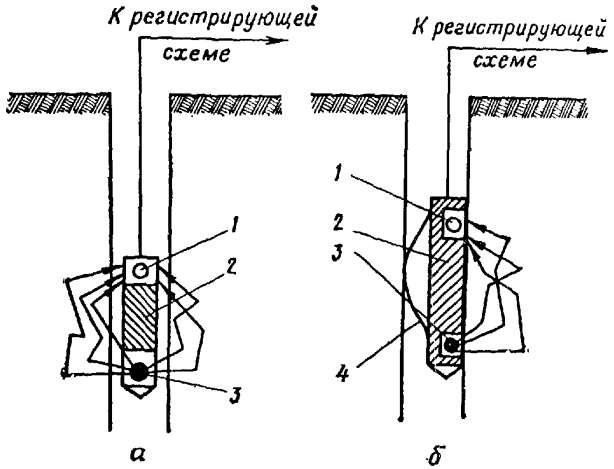


Рис. 5.6. Схема измерений по методу рассеянного излучения: *а* — 4π-зонд; *б* — 2π-зонд; *1* — детектор излучения; *2* — защита детектора от прямого излучения; *3* — источник излучения; *4* — прижимное устройство

5.3.11. Метод рассеянного гамма-излучения (γ-γ-каротаж скважин) применяется для измерения плотности грунтов в естественном залегании и плотности насыпных грунтов на значительных глубинах (до 20—50 м). Для этих целей бурятся скважины (с обсадными трубами или без них) необходимого диаметра.

Для определения плотности грунта в скважину опускается на нужную глубину радиометрический зонд, состоящий из излучателя с радиоактивным изотопом и детектора. По условиям измерений различаются 4π-зонды с симметричным излучением и регистрацией, охватывающей все пространство вокруг зонда (рис. 5.6,*а*), и 2π-зонды с односторонним излучением и регистрацией (рис. 5.6,*б*).

5.3.12. 4π-зонды, как правило, не имеют прижимного устройства и при измерениях свободно опускаются в скважину. Чувствительность такого зонда существенно зависит от величины зазора между ним и стенкой скважины, поэтому они используются для определения плотности грунтов в скважинах малого диаметра (не более 100 мм).

5.3.13. 2π-зонды используются для измерений плотности в скважинах большого диаметра (100 мм и более) и имеют специальные прижимные устройства, которые могут быть механическими (в

виде параллелограммов с тросовым управлением с поверхности или рессорными), гидравлическими (использующими гидростатический напор воды в скважине), пневматическими (в которых зонд прижимается нагнетанием сжатого газа в специальный газонепроницаемый мешок) и др.

5.3.14. Измерение плотности происходит в некотором объеме грунта, получившем название зоны влияния. Зона влияния имеет сферическую или яйцевидную форму (для 4π-зондов) и полусферическую или полуяйцевидную форму (для 2π-зондов). Размер зоны влияния зависит от базы зонда (расстояние от источника излучения до детектора), активности источника излучения и объемного веса грунта. Радиус зоны влияния

$$R = \frac{16{,}6}{\rho} + 0{,}166b, \tag{5.9}$$

где ρ — плотность грунта, г/см³;

b — база зонда, см.

Точка зонда, соответствующая центру зоны влияния, называется точкой записи.

5.3.15. При измерении плотности методом рассеянного излучения используется функциональная зависимость между регистрируемой интенсивностью I гамма-излучения и плотностью среды ρ.

Теоретическая зависимость $I = f(\rho)$ не обеспечивает достаточной точности при решении практических задач, поэтому связь между I и ρ для конкретной конструкции радиометрического плотномера устанавливается экспериментально (см. п. 5.3.10). Тарировка производится на тарировочных объектах (скважины или модели скважин) с различной плотностью. Диаметр тарировочных скважин такой же, как и у скважин, подлежащих обследованию. При тарировке должно быть обеспечено условие «бесконечности» среды, т. е. любой размер тарировочного объекта должен по меньшей мере вдвое превышать радиус зоны влияния.

5.3.16. Для определения плотности грунтов в скважинах методом γ-γ-каротажа необходимо для конкретной конструкции аппаратуры гамма-плотномера с учетом паспортных рекомендаций получить тарировочную зависимость $I = f(\rho)$, по которой, измерив абсолютную скорость счета, можно определить плотность грунта ρ. В процессе работы тарировка контролируется по двум-трем опорным замерам на тарировочных объектах. При известной влажности плотность скелета грунта

$$\rho_r = \frac{\rho}{1 + 0{,}01W}, \tag{5.10}$$

где ρ_r — плотность скелета грунта, г/см³;

ρ — плотность влажного грунта, г/см³;

W — относительная влажность грунта, %.

5.3.17. По данным γ-γ-каротажа строится разрез (график) изменения плотности грунта по длине скважины, при этом необходи-

мая детальность каротажа определяется по характеру геологического строения участка земной коры.

5.3.18. По известной плотности насыпного грунта $\rho_г$, найденной радиометрическим методом, определяется коэффициент стандартного уплотнения

$$k = \frac{\rho_г}{\rho_о}, \qquad (5.11)$$

где $\rho_о$ — оптимальная плотность (объемный вес скелета, достигаемый при оптимальной влажности); определяется на приборе стандартного уплотнения в лабораторных условиях.

5.3.19. Для определения влажности грунтов в естественном залегании и насыпных (в скважинах и с поверхности) используется нейтронный метод.

5.3.20. В состав измерительной аппаратуры входят: зонд, имеющий источник быстрых нейтронов и детектор тепловых нейтронов; регистрирующий прибор, а также контрольно-калибровочное устройство. Схема измерения влажности грунта показана на рис. 5.7.

При измерениях влажность определяется в объеме грунта (зона влияния), радиус которого

$$R_г = 15\sqrt[3]{\frac{100}{u_{об}}}, \qquad (5.12)$$

где $u_{об}$ — объемная влажность, %.

Влажность глубинными влагомерами определяется аналогично определению плотности гамма-плотномерами как в обсаженных, так и в необсаженных скважинах, при этом наличие обсадных труб следует учитывать при тарировке влагомеров.

5.3.21. Чувствительность прибора и регистрируемая скорость счета зависят от активности источника, диаметра скважин, толщины обсадных труб, базы, химического состава среды и других факторов и индивидуальны для каждого конкретного влагомера и условий измерения. Поэтому, прежде чем применять нейтронные влагомеры для полевых измерений, необходимо их откалибровать для установления зависимости $N=f(u_{об})$, где N — скорость счета нейтронов, имп/с.

Серийные влагомеры снабжены типовыми калибровочными кривыми, полученными на заводских боропарафиновых калибровочных устройствах. Геометрия натурных измерений должна соответствовать условиям заводской калибровки. При отклонениях в условиях измерений (другой диаметр скважины, другая толщина обсадных труб и т. п.) прибор необходимо вновь откалибровать или откорректировать заводскую калибровочную кривую; калибровать не менее чем на 4—5 объектах с влажностью 3—5, 10—15, 20—30 и 40—50% с обязательным отбором проб для определения влажности другими методами, например методом термостатной сушки.

Калибровать можно как в полевых, так и в лабораторных условиях на образцах; в последнем случае необходимо брать емкость с грунтом такого размера, чтобы обеспечить условие «бесконечности» среды; наименьший размер образца должен быть не менее $2R_г$ (формула 5.11).

5.3.22. Влажность грунта определяется по тарировочной зависимости $N=f(u_{об})$ после измерения величины N на исследуемом грунтовом массиве.

5.3.23. Нейтронные методы успешно применяются для определения влажности не только грунтов, но и других строительных материалов, в том числе и бетонов. Кроме того, они позволяют контролировать влажность инертных в процессе приготовления бетонов и растворов, сплошность легких материалов, например, пластмасс, находящихся за экранами из тяжелых материалов (сталь, свинец), а также наличие в различных материалах трещин и пустот, заполненных водой.

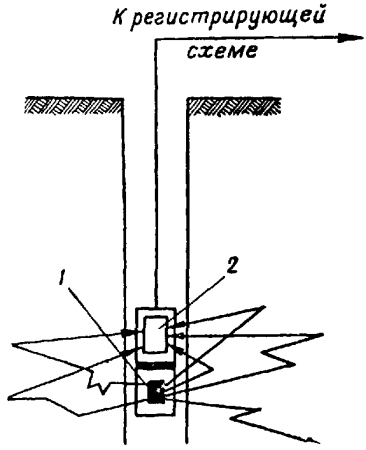


Рис. 5.7. Схема измерения влажности грунта:
1 — источник нейтронов; 2 — детектор нейтронов

5.4. Расчет прочностных и деформативных параметров связных грунтов по результатам геоакустического и радиационного каротажа скважин

5.4.1. Прочностными параметрами, используемыми для расчета оснований инженерных сооружений, являются угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C. Деформативность оснований определяется модулем деформации E_0.

5.4.2. Методика определения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C связных грунтов основана на допущении, что связный грунт в условиях предельного равновесия можно рассматривать как неоднородное упругопластическое тело со статистическим распределением прочностных и деформативных параметров. Основываясь на этих предположениях, прочность грунта на сдвиг

$$\tau_i = G_{0i}\varepsilon_{i\,пр}\left(1-\frac{2}{\pi}\operatorname{arctg} h_i\varepsilon_{i\,пр}\right), \qquad (5.13)$$

где G_{0i} — начальный модуль сдвига (тангенс угла наклона касательной, проведенной к диаграмме деформирования в начале координат), кгс/см^2;

$\varepsilon_{i\,пр}$ — предельная относительная деформация сдвига (безразмерная величина);

h_i — статистический параметр пластичности (при статистическом распределении прочности пластических связей в форме Коши), безразмерная величина;

i — индекс, соответствующий конкретному значению нормального давления (σ_0, σ_1, σ_2 и т. д.).

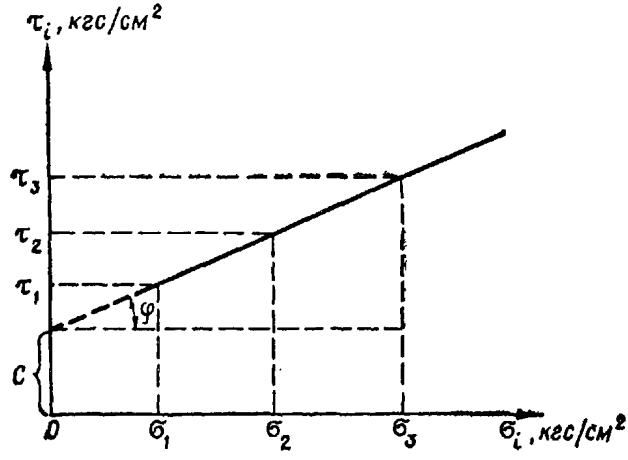


Рис. 5.8. Графический способ определения удельного сцепления грунта

При выполнении расчетов задаются несколькими значениями нормального давления, например $\sigma_0=0$; $\sigma_1=2$ кгс/см^2; $\sigma_2=3$ кгс/см^2 и т. д.

5.4.3. Угол внутреннего трения

$$\varphi = \operatorname{arctg} \sum_{i=0}^{n} \frac{\tau_{i+1} - \tau_i}{n\,(\sigma_{i+1} - \sigma_i)}, \qquad (5.14)$$

где n — некоторое целое положительное число;

τ_i, τ_{i+1} — сопротивление грунта сдвигу при нормальном давлении σ_i и σ_{i+1}, кгс/см^2;

σ_i, σ_{i+1} — нормальное давление на грунт основания, кгс/см^2.

5.4.4. Удельное сцепление C определяется двумя способами:

— по зависимости (5.13), в которой все параметры определены при нормальном давлении $\sigma_i=\sigma_0=0$;

— построением графика зависимости (5.13) в координатах τ_i—σ_i (рис. 5.8); в этом случае угол внутреннего трения φ определяется углом наклона прямой к оси σ_i, а удельное сцепление — величиной отрезка оси τ_i от начала координат до точки пересечения графика с осью τ_i.

5.4.5. Параметры, входящие в зависимости (5.13) и (5.14), определяются следующим образом:

а) начальный модуль сдвига G_{0i} и параметр пластичности h_i:

$$G_{0i} = G_0 + k \cdot \sigma_i; \tag{5.15}$$

$$h_i = \frac{\beta h_0}{(\sigma_i + p_a)^m}, \tag{5.16}$$

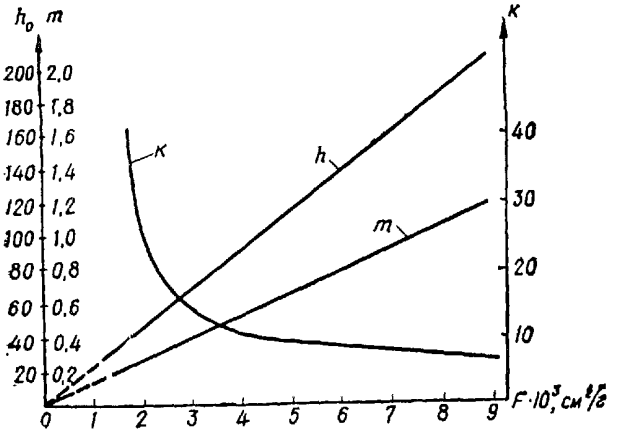


Рис. 5.9. Номограмма для определения параметров h_0, m, k

где h_0 — параметр пластичности при нормальном давлении $\sigma_i = \sigma_0 = 0$;

G_0 — начальный модуль сдвига грунта при отсутствии нормального давления ($\sigma_i = \sigma_0 = 0$), кгс/см²;

β — масштабный коэффициент, $\beta = 1$;

p_a — атмосферное давление, равное 1 кгс/см²;

m — показатель степени, зависящий от вида грунта и его гранулометрического состава (безразмерная величина);

k — угловой коэффициент прямой, также зависящий от вида грунта и его гранулометрического состава (безразмерная величина);

б) параметры h_0, m, k определяются по номограмме (рис. 5.9) либо по формулам:

$$h_0 = A \cdot F; \tag{5.17}$$

$$m = B \cdot F, \tag{5.18}$$

где F — условная удельная поверхность грунта, см²/г;

$A = 2{,}34 \cdot 10^{-2}$ г/см²;

$B = 1{,}33 \cdot 10^{-4}$ г/см².

5.4.6. По данным гранулометрического анализа условная удельная поверхность

$$F = \sum_{d_{\min}}^{d_{\max}} \frac{2y_i}{(d_{ni} + d_{(n+1)i})\,\gamma}, \qquad (5.19)$$

где y_i — содержание данной фракции в долях единицы от общей навески грунта;

d_{ni}, $d_{(n+1)}i$ — максимальный и минимальный размеры частиц данной фракции, см;

γ — удельный вес грунта, г/см^3;

$d_{\min}$, $d_{\max}$ — средние размеры частиц самой мелкой и самой крупной фракций, см.

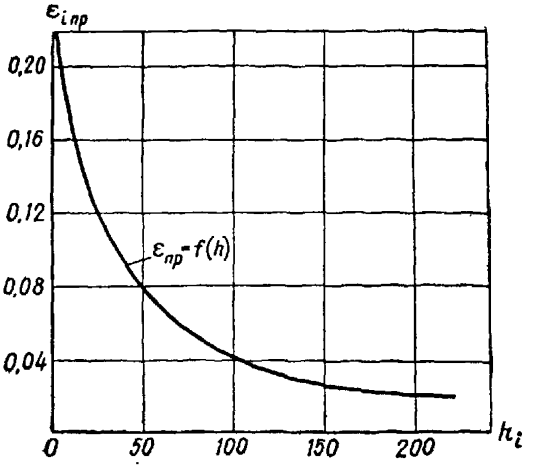


Рис. 5.10. График определения предельной деформации грунта

5.4.7. Удельный вес связных грунтов определяется в соответствии с ГОСТ 5181—64.

5.4.8. Для определения гранулометрического состава связных грунтов может быть рекомендован полевой метод Рудковского, как наиболее оперативный.

5.4.9. Предельная деформация грунта ε_{inp} определяется по графику (рис. 5.10) в зависимости от значения статистического параметра пластичности h_i.

5.4.10. Начальный модуль сдвига

$$G_{0i} = D \cdot G_{1i}, \qquad (5.20)$$

где $G_{1i} = \rho C_s^2$ — акустический модуль сдвига, кгс/см^2;

ρ — плотность грунта, кгс·с^2/м^4;

D — безразмерный коэффициент, равный 0,8—0,9.

5.4.11. Нормальное давление σ_i при исследовании скважин глубиной до 50 м отождествляется с бытовым давлением, а характер его изменения для таких глубин может быть принят линейным в соответствии со СНиП II-15-74 по формуле

$$\sigma_i = \rho z, \tag{5.21}$$

где ρ — плотность грунта;

z — глубина, на которой определяется нормальное давление.

5.4.12. По данным геоакустического каротажа модуль деформации

$$E_0 = D \cdot E_1, \tag{5.22}$$

где $E_1 = \frac{1-\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)} \rho C_p^2$ — акустический модуль упругости, кгс/см^2;

μ — коэффициент Пуассона, найденный по номограмме Кнопова (рис. 5.3).

5.4.13. Модуль деформации используется для определения осадок оснований методом послойного суммирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайншток И. С. Радиотехника в производстве сборного железобетона. М., Стройиздат, 1961.

2. Гурвич И. И. Сейсморазведка. М., «Недра», 1964.

3. Защук И. В. Электроника и акустические методы испытания строительных материалов. М., «Высшая школа», 1968.

4. Клейнер В. Д. и др. «Бетон и железобетон», 1972, № 5 и 1973, № 10.

5. Крылов Н. А., Калашников В. А., Полищук А. М. Радиотехнические методы контроля качества железобетона. М.— Л., Стройиздат, 1966.

6. Нейфельд И. Е., Фалькевич А. С., Лифшиц Л. С. Контроль качества сварных соединений в строительстве. М., Стройиздат, 1968.

7. Новгородский М. А. Испытание материалов, изделий и конструкций. М., «Высшая школа», 1971.

8. Ногин С. И. Применение ультразвука для контроля качества железобетонных конструкций. ЦБТН, 1965.

9. Ошков В. Н. Определение плотности и влажности грунтов по рассеянию гамма-лучей и нейтронов. М., МГУ, 1968.

10. Почтовик Г. Я., Злочевский А. Б., Яковлев А. И. Методы и средства испытания строительных конструкций. М., «Высшая школа», 1973.

11. Преображенский А. А. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. М., «Высшая школа», 1972.

12. Смородинков М. И. Радиоизотопы в строительстве фундаментов и подземных сооружений. М., Атомиздат, 1967.

13. Автоматические устройства с магнитоупругими преобразователями. Библиотека по автоматике, вып. 517. М., «Энергия», 1974.

14. Контроль качества продукции машиностроения. М., «Стандарты», 1974.

15. Рекомендации по использованию радиоизотопных методов для определения физико-механических свойств грунтов. М., Стройиздат, 1971.

16. Руководство по применению неразрушающих методов контроля качества строительства и эксплуатационной пригодности сооружений. Л., ЛВИКА им. А. Ф. Можайского, 1966.

РУКОВОДСТВО ПО ПРИМЕНЕНИЮ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ И КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Редактор *Б. Ф. Кузьмин*
Технический редактор М. В. Федорова
Корректор *Л. А. Сафошкина*

Г-92040 Сдано в набор 22.4.76 г. Подписано в печать 20.1.77 г
Формат 60×90/16. Печ. л. 11. Усл. печ. л. 11. Уч.-изд. л. 11
Изд. № 6/3102 *Бесплатно* Зак. 565

Воениздат
103160, Москва, К-160
2-я типография Воениздата
191065, Ленинград, Д-65, Дворцовая пл., 10

gost.e-ecolog.ru