

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Лабораторный практикум

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство»

Второе издание, дополненное и переработанное

Пенза 2014

УДК 69.058 (075.8)

ББК 38.74

О-25

*Учебное пособие подготовлено в рамках проекта
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –
«Кадры для регионов»)*

Рецензенты: заведующий кафедрой «Механика», доктор технических наук, профессор А.И. Шеин (ПГУАС); директор ООО «АкадемПроект» А.А. Полежай

Обследование и испытание зданий и сооружений. Лабораторный практикум: учеб. пособие/ В.С. Абрашитов, В.А. Туманов, Е.Н. Тамбовцев, А.В. Туманов. – 2-е изд., доп. и перераб. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 112 с.

Изложены методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Обследование и испытание зданий и сооружений». Приведены расчетные схемы испытания конструкций, нагружения статической и динамической нагрузкой, даны характеристики современных приборов для измерения прогибов и деформаций, прочности материалов конструкций и представлены методы математической обработки результатов полученных экспериментальных данных.

Направлено на приобретение навыков использования основных законов естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности, применения методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования; овладение основными законами геометрического формирования, построения и взаимного пересечения моделей плоскости и пространства, необходимыми для выполнения и чтения чертежей зданий, сооружений, конструкций, составления конструкторской документации и деталей.

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Строительные конструкции» и базовой кафедре ПГУАС при МУП «Пензгорстройзаказчик» и предназначено для использования студентами, обучающимися по направлению 08.03.01 «Строительство» специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство», при изучении дисциплин по технической эксплуатации, реконструкции и усилению зданий, может быть полезно инженерно-техническим работникам проектных и строительных организаций.

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014

© Абрашитов В.С., Туманов В.А.,

Тамбовцев Е.Н., Туманов А.В. 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Испытание строительных конструкций, зданий и сооружений является наиболее объективным способом выявления действительной их работы под нагрузкой и определения фактической несущей способности при возможных расчетных схемах загрузки.

Учебное пособие содержит необходимые студентам и специалистам сведения по методике определения прочности строительных материалов и несущей способности конструкций, о назначении, устройстве и способах применения измерительных приборов и аппаратуры.

Практическому изучению устройства и работы основных механических и электромеханических приборов, используемых при статических испытаниях строительных конструкций, посвящена лабораторная работа №1. В данной работе приведены принципиальные схемы устройства приборов, их установка на строительных конструкциях, порядок снятия отсчетов при испытаниях.

Изучение метода тензометрии для измерения относительных деформаций, а также видов тензодатчиков, определение коэффициента тензочувствительности при их тарировке представлено в лабораторной работе №2. Приведены примеры использования тензорезисторов в измерительных приборах.

Для определения деформаций и напряжений в стержнях стропильной фермы и в сечениях колонны изготовлена модель поперечной рамы пролетом 24,0 м, выполненная в масштабе 1:10. Модель представлена из алюминиевого сплава АД1М с расчетным сопротивлением материала $R_y = 25$ МПа и модулем упругости $E = 72000$ МПа. В лабораторной работе №3 производится испытание сквозного двускатного ригеля, жестко соединенного с надкрановой частью колонн с помощью болтов. Статическое нагружение узлов фермы производится с помощью динамометров.

Лабораторная работа №4 посвящена исследованию нагруженности сечений надкрановой и подкрановой частей колонн. Нагрузка моделируется от мостового крана с передачей на подкрановой балки. Относительные деформации в сечениях определяют с помощью тензорезисторов в комплексе с тензостанцией.

Определению местных деформаций и напряжений в стенке балки под действием сосредоточенной силы и изучению характера их распределения посвящена лабораторная работа №5. В работе рассмотрены два

варианта опирания балки: с опиранием балки на две шарнирные опоры и опиранием на всю поверхность нижнего пояса. Испытание балки из двутавра $I27$ производится на гидравлическом прессе УРМ-50.

В лабораторной работе №6 исследуется напряженно-деформированное состояние деревянной трехшарнирной арки. Модель арки имеет расчетный пролет 2,53 м и высоту 1,8 м. С помощью установленных тензодатчиков с базой 20 мм определяют фактические напряжения в наиболее нагруженных сечениях и производят сравнение с предварительно вычисленными теоретическими напряжениями. В этих же сечениях выполнено сравнение теоретических и фактических прогибов. Анализ полученных данных позволяет выявить причины отклонений значений.

Неразрушающие методы определения прочности строительных материалов в настоящее время широко внедряется в практику обследования конструкций зданий. В лабораторной работе №7 рассмотрены наиболее часто применяемые склерометры для определения прочности кирпича, раствора и бетона. Приведена методика построения тарировочных графиков и таблиц.

Использование ультразвука при испытании строительных материалов и конструкций рассмотрено в лабораторной работе №8. С помощью ультразвукового импульсного метода определяют прочность материала и выявляют дефекты в железобетонных конструкциях и качество сварных швов в металлических конструкциях.

Авторский коллектив в равной степени участвовал в создании данного учебного пособия.

Авторы выражают большую благодарность рецензентам пособия: заведующему кафедрой «Механика» Пензенского ГУАС, д.т.н. А.И. Шеину и директору ООО «АкадемПроект» А.А. Полежаю за ценные замечания, которые были учтены в настоящем издании.

ВВЕДЕНИЕ

Курс «Обследование и испытание зданий и сооружений» является завершающим в изучении строительных конструкций. Сложность расчетных схем несущих конструкций, способов загрузки временной нагрузкой, влияние дефектов часто довольно сложно оценить теоретически. Проведение испытаний конструкций в натуральную величину или на модулях позволяет проследить действительную работу на различных этапах загрузки.

Практические занятия по проведению испытаний конструкций позволят студентам освоить назначение, устройство и установку измерительных приборов. Нагружение образцов в процессе испытания производят с помощью гидравлических и винтовых домкратов.

Нагрузка на отдельных этапах фиксируется по шкале гидравлического пресса или динамометром для винтовых домкратов.

В пособии приведены примеры обработки полученных данных в относительных деформациях и определение напряжений в рассматриваемых сечениях. Даны необходимые навыки по тарировке измерительной аппаратуры и средств нагружения конструкции с определением поправочных коэффициентов.

Натурные испытания строительных конструкций на фактические нагрузки могут значительно отличаться от проводимых в лабораторных условиях. Определение прочности материалов изделий и конструкций, как правило, производят неразрушающими методами, которые достаточно полно приведены в пособии. Конструкции в составе зданий и сооружений не доводят до разрушения. По полученным данным о прогибах, раскрытии трещин и напряженном состоянии составляется заключение о несущей способности конструкции.

Значение фактической работы материала и конструкции под нагрузкой позволит повысить их эксплуатационную надежность и исключить возникновение аварийных ситуаций.

В лаборатории кафедры «Строительные конструкции» ПГУАС установлены стенды с измерительными механическими, электромеханическими и ультразвуковыми приборами с подробным описанием их установки и работы.

Тарировочная установка, модели балок, рам и арок установлены стационарно и готовы к проведению испытаний независимо друг от друга по времени.

Из неразрушающих методов испытаний (акустические, радиационные, магнитоэлектрические, склерометрические и др.) широкое распространение получил ультразвуковой импульсный метод, все чаще применяющийся при операционном, приемочном и эксплуатационном контроле качества материалов. Достоинством его является: 1) сохранение целостности контролируемой конструкции или изделия; 2) возможность многократного повторения испытаний как в процессе строительства, так и в период эксплуатации; 3) сравнительно малая затрата времени для проведения испытания; 4) возможность определять интересующие характеристики в любой доступной точке.

1. ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1.1. Причины, цель и задачи обследования

Обследованием называют комплекс мероприятий по определению фактического состояния строительных конструкций и пригодности их к дальнейшей безопасной эксплуатации. Требования к составу и порядку обследования изложены в СП 13-102-2003 [11].

Целью инструментального обследования является сбор объективных данных о строительных конструкциях для оценки их несущей способности.

Основанием для составления программы технического обследования и определения основных задач могут быть следующие причины:

- наличие значительных дефектов и повреждений, возникших в результате силовых, коррозионных и деформационных воздействий;
- увеличение эксплуатационных нагрузок;
- реконструкция зданий;
- выявление отступлений от проекта или отсутствие проектно-технической документации;
- изменение функционального назначения здания;
- возобновление прерванного строительства;
- строительство вблизи новых зданий;
- повреждения при природных стихийных воздействиях или техногенных авариях;
- необходимость оценки пригодности зданий производственного и непромышленного назначения для нормальной эксплуатации.

При составлении программы обследования здания определяются основные задачи:

- устанавливаются основные этапы работы;
- выявляются расчетные схемы каркаса здания и отдельных элементов;
- определяются фактические расчетные нагрузки;
- выполняются статические и динамические расчеты на ЭВМ с помощью лицензированных программ;
- устанавливаются габаритные размеры и сечения конструкций;
- определяется прочность материала конструкций и оснований фундаментов;
- производится оценка несущей способности элементов и здания в целом;
- разрабатываются рекомендации по обеспечению несущей способности конструкций.

Рабочие чертежи усиления должны учитывать вариантность рассматриваемых решений восстановления несущей способности конструкций, минимальную остановку основного технологического процесса. Предлагаемый вариант усиления должен иметь минимальные расходы материалов и трудоемкость изготовления, а также возможность изготовления в конкретных условиях. К рабочим чертежам усиления обычно прилагается проект производства работ.

Обследованию подлежат основные несущие элементы здания:

- основания и фундаменты, ростверки и фундаментные балки;
- стены, колонны, столбы;
- конструкции перекрытий и покрытия – балки, арки, стропильные и подстропильные фермы, плиты и прогоны;
- подкрановые конструкции;
- связевые конструкции, элементы жесткости, диафрагмы;
- сварные и болтовые соединения;
- узлы сопряжения конструкций.

1.2. Последовательность проведения работ по обследованию зданий

Работы по обследованию строительных конструкций зданий и сооружений проводятся в четыре этапа:

- подготовительные работы к проведению обследования;
- визуальное обследование;
- инструментальное обследование;
- разработка рекомендаций и рабочих чертежей усиления несущих и ограждающих конструкций.

Подготовительные работы проводятся с целью сбора информации на данный объект обследования:

- общий вид здания, габаритные размеры, конструктивная схема и материал конструкций;
- наличие материалов по инженерным изысканиям;
- наименование проектной организации и рабочие чертежи проекта;
- сертификаты и паспорта на материалы и конструкции поставщиков;
- исполнительная документация на строительство здания генподрядной организации, включая общий журнал производства работ, акты на скрытые работы, заключения предшествующих обследований и другие материалы.

Визуальное обследование выполняется для выявления аварийных мест здания и составления программ обследования.

Программа работ по обследованию корректируется и утверждается заказчиков и является основой для разработки технического задания.

В программе перечисляются виды работ и методы контроля (см. прил. 4). Наличие программы работ позволит составить календарный план отдельных этапов, назначить ответственных за их выполнение и подготовить необходимые приборы и инструмент для определения требуемых характеристик конструкций и зданий.

Инструментальное обследование необходимо проводить для сбора информации, требуемой при выполнении проверочных расчетов конструкций и разработке рекомендаций по обеспечению дальнейшей безопасной эксплуатации здания или сооружения. Сбор информации рекомендуется производить по элементам здания от фундаментов до покрытия с учетом условий эксплуатации.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИСПЫТАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Основной целью испытания строительных конструкций зданий и сооружений является исследование действительной работы под нагрузкой.

Задачи испытания включают решение следующих вопросов:

- влияние расчетной схемы на работу конструкции под нагрузкой;
- особенности характера загружения статическими и динамическими нагрузками;
- соответствие теоретических и экспериментальных данных о напряженно-деформированном состоянии конструкций;
- определение фактической несущей способности конструкции;
- выявление характера разрушения конструкции;
- определение нормативной, расчетной и разрушающей нагрузки и соответственно деформаций конструкций;
- влияние конструктивной формы на работу конструкции.

В зависимости от места проведения испытания различают лабораторные и натурные.

В лабораторных условиях проводят исследования различных конструкций, их фрагментов, узлов и соединений в натуральную величину или их моделей. Лаборатории оснащены силовым полом, системой крепления образца в исходное положение, силовым оборудованием для нагружения, измерительной аппаратурой и приборами. От оснащения лаборатории зависят качество и трудоемкость проведения испытаний.

Натурные испытания позволяют наиболее точно изучить действительную работу конструкций и сделать достоверный вывод и пригодности объекта к безопасному проектному нагружению и дальнейшей

эксплуатации. При натуральных испытаниях предельной принимается расчетная проектная нагрузка, до разрушения конструкция не доводится, что является недостатком, так как характер разрушения является ценной информацией о действительной работе конструкции и ее узлов.

Экспериментальные исследования строительных конструкций проводят в следующих случаях:

- испытания образцов серийной продукции заводов-изготовителей – плиты, балки, фермы, колонны, пространственные конструкции и др.;
- испытания ответственных и уникальных зданий и сооружений – мосты, высотные и большепролетные здания;
- длительные наблюдения за особо опасными зданиями и сооружениями с целью обеспечения высокой надежности – АЭС, ГЭС, крытые стадионы и т.п.;
- экспериментальные исследования новых конструктивных решений образцов и конструкций с целью исследования действительной работы и совершенствования методики их расчета, конструирования и возведения.

Испытания по виду приложения испытательной нагрузки разделяют на статические и динамические.

Динамическим нагружением считают случаи, когда нагрузка изменяется в течение времени, равного менее доли периода свободных колебаний или всего лишь нескольким таким периодам, но не более трех. Если же нагрузка нарастает за время 5...10 периодов и больше, то ее можно считать статической.

При динамических воздействиях возникают следующие явления, приводящие к повреждениям стальных балок:

- резонанс, в этом случае при совпадении собственных и вынужденных частот колебаний амплитуда перемещений и усилий стремится к бесконечности;
- ударные воздействия, при которых перемещения и усилия зависят от высоты падения груза или скорости приложения нагрузки;
- усталостные разрушения, возникающие в результате воздействия многократных импульсов загрузки. В этом случае происходит снижение значений расчетного сопротивления усталости стали в десятки раз.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные исследования содержат целый ряд отдельных измерений. Измерения подразделяются на прямые и косвенные.

Прямыми измерениями называют те, результаты которых получают при непосредственном сравнении неизвестной величины с принятой единицей измерения. Например, измерение рабочего давления манометром.

Косвенными называют измерения, конечный результат которых получают на основании результатов прямых измерений других величин, связанных с искомой величиной определенной функциональной зависимостью. Например, определение напряжений в зависимости от относительных деформаций по закону Гука $\sigma = \varepsilon \cdot E$. Результат измерения дает приблизительное значение, так как всякое измерение сопровождается ошибкой.

Ошибкой измерения называется разность $x - a$ между результатами измерения x и истинным значением a измеряемой величины. Значения x и a обычно не известны.

Различают ошибки трех видов.

1. Систематические ошибки – это ошибки повторяющиеся и одинаковые во всей серии наблюдений: смещение начала отсчета, изменение температуры и других причин.

2. Грубые ошибки встречаются редко, резко выделяются из других ошибок большими значениями и связаны с поломкой приборов или с грубым просчетом эксперимента при снятии отсчетов. Грубые ошибки исключаются из дальнейшей обработки.

3. Случайные ошибки остаются после устранения всех выявленных систематических ошибок. Они являются неустранимыми, их нельзя исключить в каждом из результатов измерений. Но с помощью методов теории вероятностей можно учесть их влияние на оценку истинного значения измеряемой величины со значительно меньшей ошибкой, чем ошибки отдельных измерений.

Распределение значений случайных ошибок обладает одной важной особенностью – оно симметрично относительно нуля.

Из теории вероятностей следует, что наиболее близкими к истинному значению измеряемой величины является среднее арифметическое значение данной серии отдельных измерений x_1, x_2, \dots, x_n :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1)$$

По формуле (2) определяем абсолютную ошибку каждого измерения рассматриваемой серии испытаний:

$$\Delta x = \bar{x} - x. \quad (2)$$

Для определения характеристики рассеивания или разбросанности значений случайной величины около ее среднего значения удобнее пользоваться средней квадратичной ошибкой или отклонением:

$$\sigma^* = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (3)$$

Вероятная ошибка измерений или отклонение определяется по формуле (4):

$$\rho = \pm 0,674 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (4)$$

Вероятной ошибкой измерений называется такая величина, для которой с одинаковой вероятностью можно ожидать, что действительные ошибки по абсолютной величине окажутся как меньше ее, так и больше.

Результаты измерений с учетом ошибки принято записывать в виде

$$x = (\bar{x} \pm \sigma^*). \quad (5)$$

Дальнейшая математическая обработка полученных результатов требуется при проведении научно-исследовательских работ, когда возникает необходимость в графическом изображении функциональной зависимости между двумя переменными величинами (например, нагрузка-напряжения, нагрузка-прогибы и т.д.). Подбирается уравнение кривой, устанавливается корреляционная связь между установленной функциональной зависимостью и экспериментальными данными, определяется коэффициент корреляции. Для выполнения лабораторных работ построение графической зависимости не требуется.

Лабораторная работа № 1

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы – теоретически и практически ознакомиться с основными механическими измерительными приборами, изучить их устройства и правил работы с ними.

1. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

1.1. Прогибомер Н.Н. Максимова ПМ-3

Прибор (рис. 1.1) является прогибомером с проволоочной связью и применяется для измерения перемещений в любом направлении.

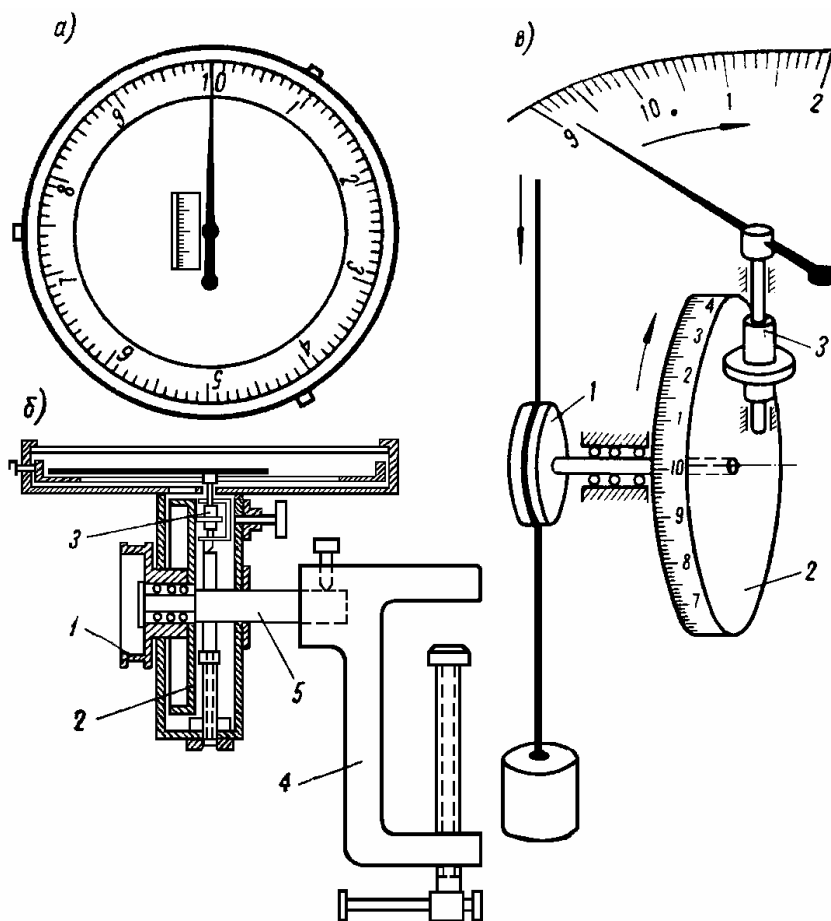


Рис.1.1. Прогибомер Н.Н. Максимова ПМ-3:
а – вид спереди; б – разрез; в – кинематическая схема

Основные части прибора: шкив 1 и жестко соединенный с ним диск 2; барабанчик 3 и стрелка, вращающаяся в результате трения валика барабанчика о диск; струбцина 4 и стержень 5. Одно деление шкалы на

окружности диска соответствует перемещению проволоки, соединяющей прогибомер с конструкцией, на 0,05 мм. Одно деление циферблата соответствует перемещению 0,1 мм. Ход прибора не ограничен и лимитируется лишь возможностью беспрепятственного подъема груза, натягивающего проволоку.

1.2. Прогибомер Н.Н. Аистова ПАО-5

Прибор (рис. 1.2) является прогибомером с проволоочной связью и применяется для измерения перемещений в любом направлении.

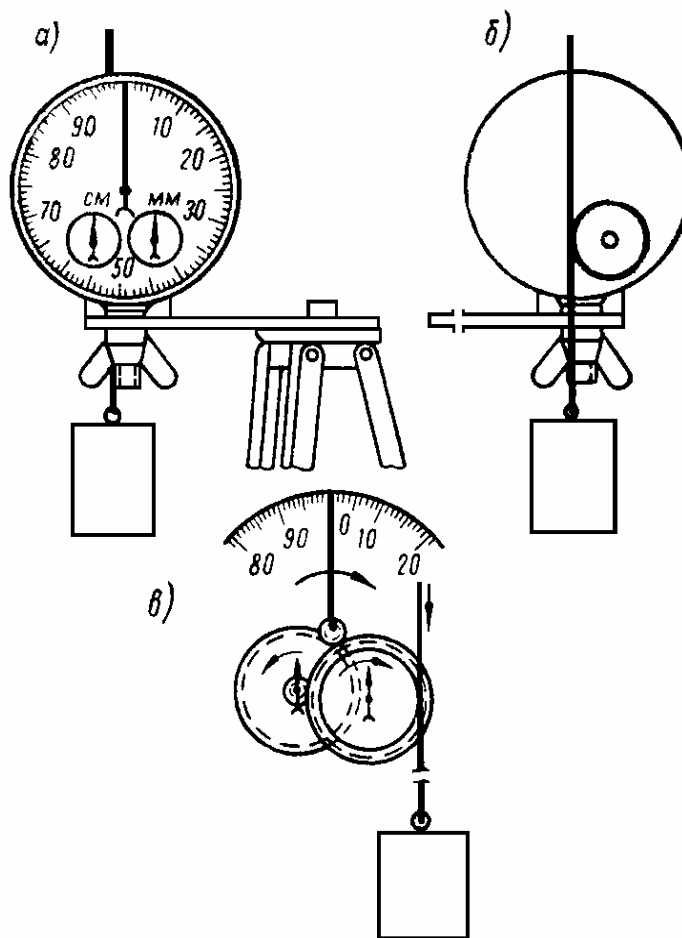


Рис. 1.2. Прогибомер Н.Н. Аистова ПАО-5:
а – вид спереди; б – вид сзади; в – кинематическая схема

На задней стороне металлического корпуса 1 находится шкив 2, а на лицевой его стороне – 3 шкалы: большая с делениями ценой 0,01 мм и две малых с ценой деления 1 мм и 1 см. Внутри корпуса помещена система шестерен 3, 4, 5, 6. Корпус присоединяется винтом 7 к планке 8, которая закрепляется на штативе или конструкции.

В последней модели ПАО-6, разработанной Н.Н. Аистовым совместно с В.Т. Овчинниковым, корпус соединен со специальной струбциной шаровым шарниром, что облегчает установку прогибомера и его

ориентацию для измерения перемещений конструкции в любом направлении.

1.3. Прогибомер А.М. Емельянова

Прогибомер А.М. Емельянова имеет точность определения деформаций 0,01 мм и неограниченный диапазон измерений. Прибор (рис.1.3) состоит из корпуса 1 в виде цилиндрической коробки, которая поддерживается стержнем 2, закрепляемым в струбцинке. На стержне 2 на двух шарикоподшипниках может вращаться шкив 3, наглухо соединенный с шестеренкой 4. Это шестеренка сцеплена с трубкой 5, сидящей на одной оси с шестеренкой 6, в свою очередь сцепленной с трубкой 7, на оси которой насажена стрелка 8. Прибор соединяется с исследуемой конструкцией аналогично прогибомеру Максимова и имеет цену одного деления шкалы, равную 0,01 мм прогиба конструкции. На оси трубки 5 и шестеренки 6 насажена стрелка 9, с помощью которой на малом лимбе можно прочесть деления, отвечающие прогибу конструкции в 1,0 мм.

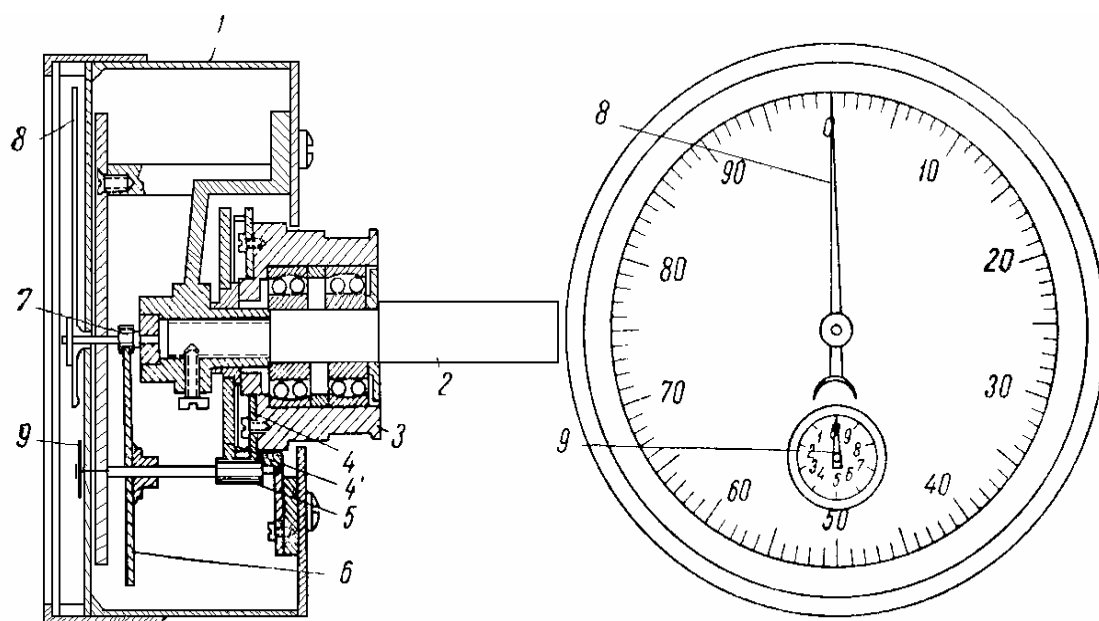


Рис. 1.3. Прогибомер А.М. Емельянова

Для уменьшения влияния люфта рядом с шестеренкой 4 помещена на некотором от неё расстоянии шестеренка 4' такого же размера. Между этими шестеренками расположена пружина, разворачивающая их в разные стороны до соприкосновения в трубке 5 к двум смежным зубцам, устраняя люфт.

1.4. Индикатор И-1

Индикатор применяется для точного измерения малых перемещений.

Прибор (рис. 1.4) состоит из корпуса 1, стержня с кремальерой 2 и системы шестерен 3, 4, 5, 6 с пружиной 7.

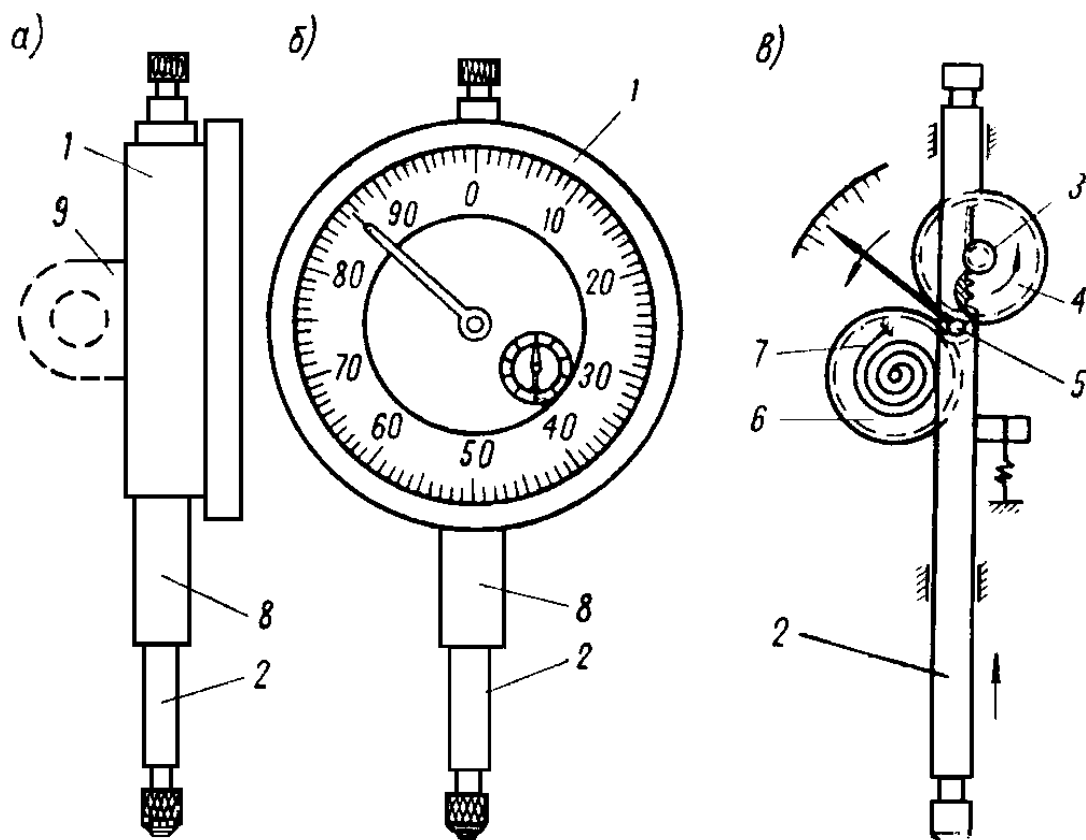


Рис. 1.4. Индикатор И-1:
а – вид сбоку; б – вид спереди; в – кинематическая схема

Индикатор устанавливается на специальных штативах, к которым он крепится за муфту 8, или непосредственно к конструкции за ушко 9 с помощью шурупа или струбцины. Одно деление большой шкалы соответствует перемещению стержня 2 на 0,01 мм, а одно деление малой – на 1,00 мм. Наибольшее перемещение стержня 10,00 мм.

2. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ПОВОРОТА

2.1. Клинометр Н.Н. Аистова КА-4

Клинометр Н.Н. Аистова служит для определения угловых перемещений, является маятниковым прибором электромеханического типа.

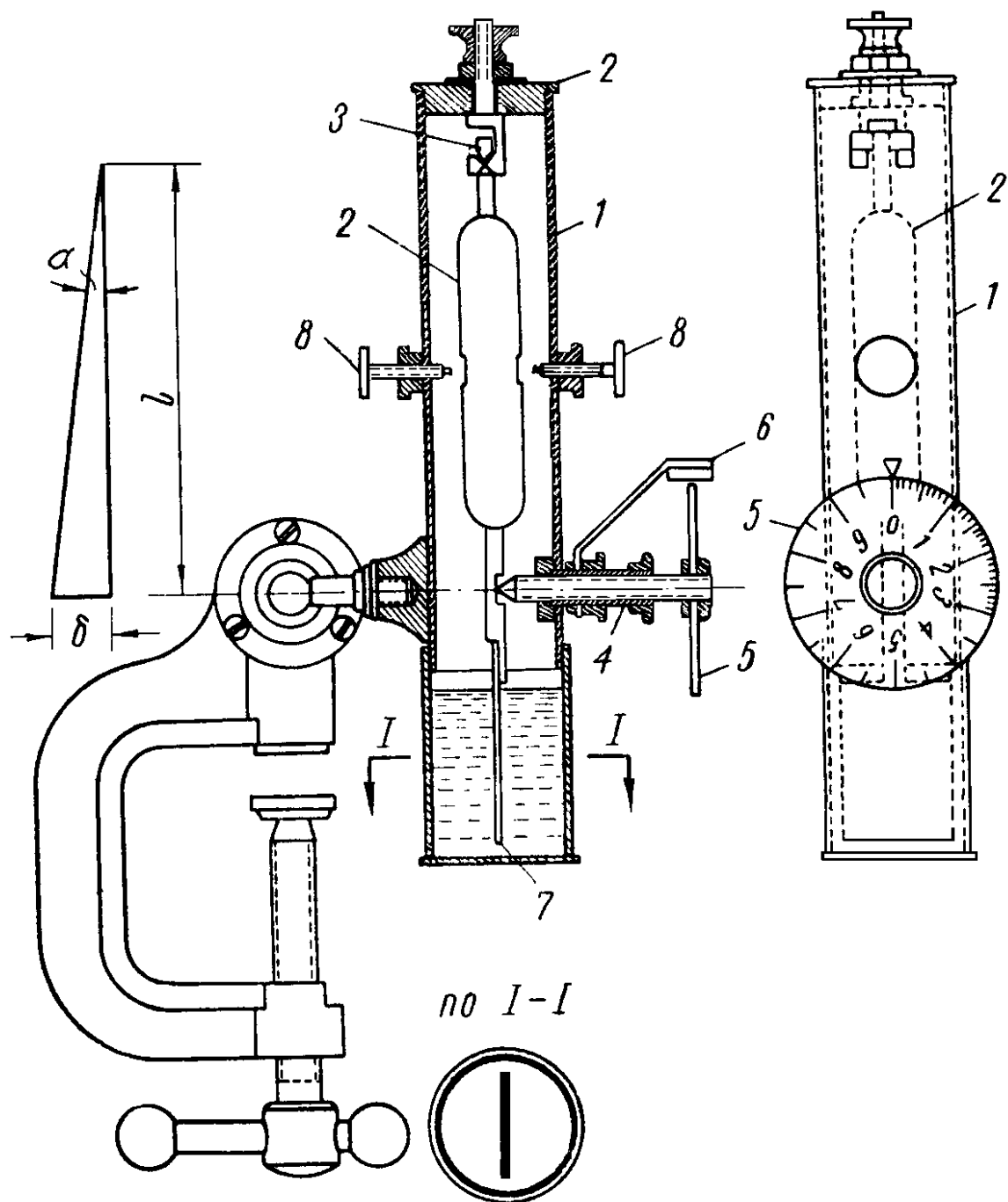


Рис. 1.5. Клинометр Н.Н. Аистова КА-4

Прибор (рис. 1.5) состоит из корпуса 1, маятника 2, призмы 3, микрометрического винта 4, диска со шкалой 5, указателя 6, весла 7. Прибор укрепляется с помощью шарового шарнира и струбцины. Отсчеты по шкале диска берутся при его вращении в момент прикасания острия винта к маятнику, что устанавливается по звуковому сигналу, который подается специальным прибором. Последний питается от сети переменного тока или от батареи, подключается к корпусу клинометра и к подвеске маятника, которая отделена от корпуса

изоляция. Тангенс угла поворота определяется отношением δ/l , где δ – перемещение конца винта, определяемое разностью отсчетов, а l – база, равная расстоянию от точки подвеса маятника до оси винта. При переноске маятник зажимается винтами 8. Весло 7 и бачок с жидкостью, в который он опускается, служат для гашения колебаний. Точность измерений составляет 5 секунд. Однако необходимость вращения микрометрического винта 4 перед каждым отчетом приводит к увеличению погрешностей измерений.

Клинометр имеет недостатки: он сложен в установке, требует наличия тока и электросигнала.

2.2. Клинометр Стоппани

Клинометр Стоппани служит для определения углов поворота сечений изгибаемых балок, прогонов, ригелей и стоек рам, стержней и узлов ферм, является уровневым прибором (рис. 1.6).

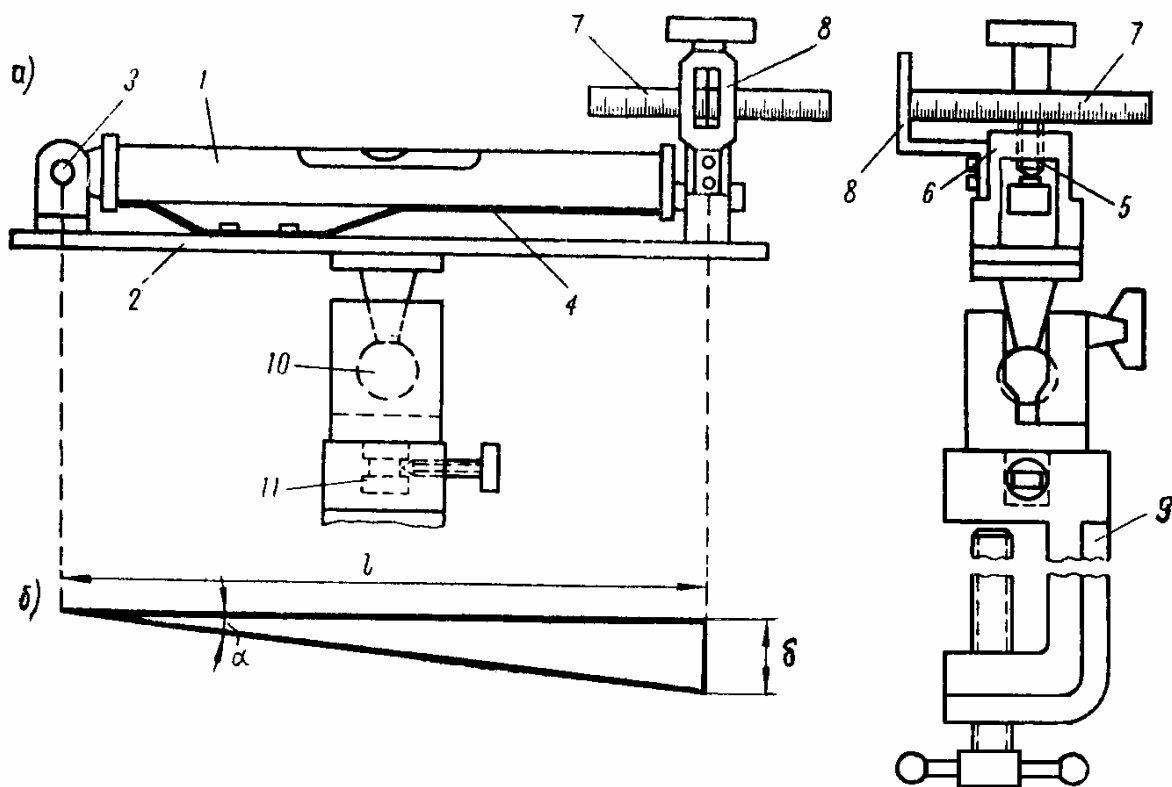


Рис.1.6. Клинометр Стоппани

Основной частью прибора является чувствительный уровень 1, соединенный шарниром 3 с пленкой 2. Давление пружины 4 стремится поднять конец уровня; нажимом микрометрического винта 5, проходящего через скобу 6, его можно опустить. Прибор соединен со трубцонной 9 шаровым шарниром 10. Отсчеты, определяющие величину пе-

ремещений винта, берутся по делениям на диске 7 с помощью рамки 8. Тангенс угла поворота α находят по отношению величины δ к базе l .

В зависимости от шага винта и длины базы точность измерения в разных моделях прибора изменяется от 1 до 6 секунд.

Клинометр Стопанни, однако, чувствителен к изменению температуры и имеет легкоповорачиваемый стеклянный уровень.

2.3. Рычажный клинометр

Рычажный клинометр разработан в механической лаборатории Ленинградского инженерно-строительного института и основан на применении рычага и двух прогибомеров ПА-3 (рис. 1.7).

На исследуемом элементе конструкции крепится Т-образный рычаг из уголка длиной более 1 м. В двух точках на расстоянии одна от другой 1000 мм просверливаются два отверстия, в которых закрепляются тонкие проволоки с грузами на концах. Под этими точками устанавливаются два прогибомера, и проволоки огибаются вокруг их ведущих роликов. Перед загрузкой конструкции по обоим прогибомерам берутся отсчеты c_1 и c_2 . После загрузки сечения берутся вторые отсчеты c'_1 и c'_2 . Разность отсчетов по левому прогибомеру дает перемещение точки 1 на величину $a = c_1 - c'_1$; а по правому прогибомеру – точки 2 на величину $b = c_2 - c'_2$.

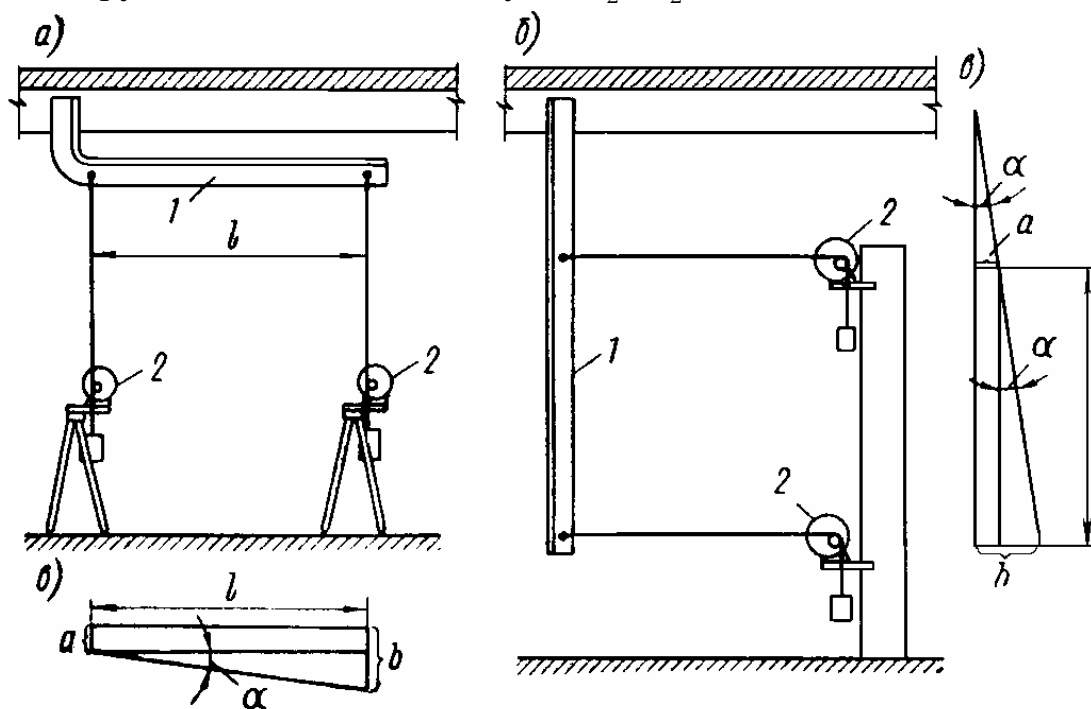


Рис. 1.7. Рычажный клинометр:
 а – с горизонтальным рычагом; б – с вертикальным рычагом;
 в – схема работы

Тангенс угла поворота равен $\operatorname{tg}\alpha = \frac{b-a}{\ell}$. Если принять прогибомеры, имеющие точность в 0,01 мм, то вычисленный $\operatorname{tg}\alpha$ отвечает углу в 2", т.е. значительно меньше, чем по уровневому или маятниковому клинометрам.

Рычажный клинометр может использоваться как с горизонтальным рычагом, так и с вертикальным.

Рычажный клинометр прост по устройству и в установке, но требует двух прогибомеров для осуществления измерений, а также наличия места, достаточного для размещения и крепления рычага.

3. ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

3.1. Тензометр Гуггенбергера

Тензометр Гуггенбергера (рис. 1.8) служит для определения линейных деформаций и является рычажным тензометром.

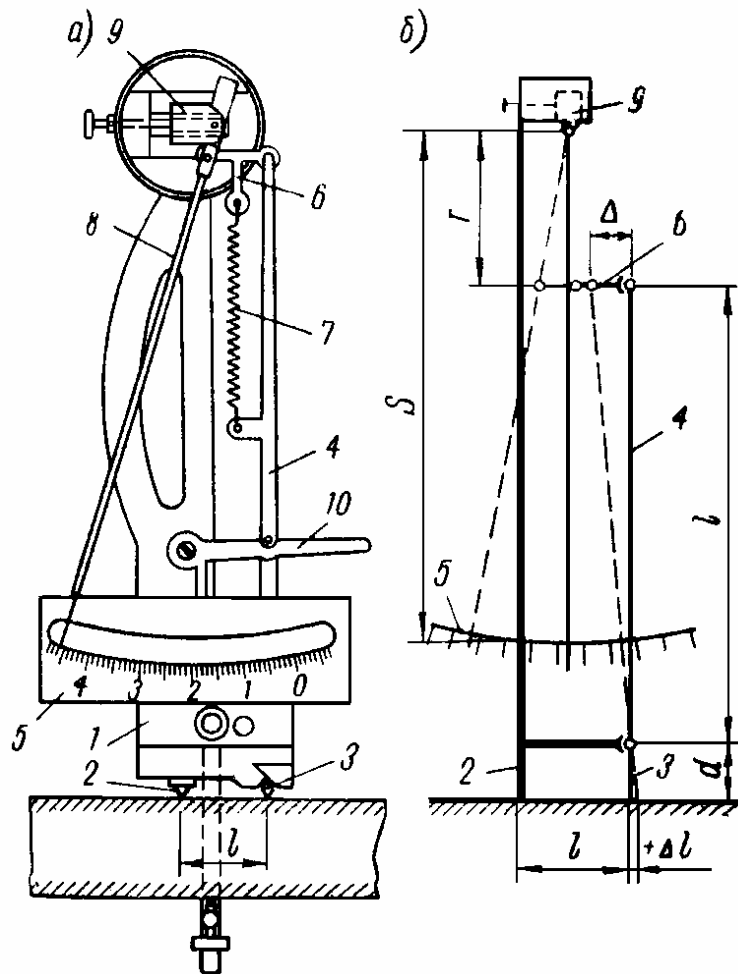


Рис. 8. Тензометр Гуггенбергера:
а – общий вид; б – кинематическая схема

Тензометр измеряет абсолютную деформацию волокна в микронах на базе длиной 20 мм от ножки до призмы 3. Одно деление шкалы соответствует деформации 1 микрон. С помощью специальных удлинителей база может быть увеличена до 100 или 200 мм. Увеличение прибора, т.е. отношение величины перемещения конца стрелки к перемещению нижнего ребра призмы, достигается за счет отношения плеч d и l – рычага и r и s – стрелки. Корпус 1 опирается на поверхность исследуемого элемента неподвижной ножкой 2 и подвижной призмой 3, с которой жестко соединен рычаг 4. Последний с помощью коромысла 6 и пружины 7 соединен со стрелкой 8, ось вращения которой расположена на ползунке 9. Перемещение ползунка позволяет устанавливать стрелку на любое деление шкалы 5. Арретир 10 закрепляет рычажную систему на время транспортирования и установки.

К недостаткам тензометра Гуггенбергера относятся: а) наличие тонких легкоповреждаемых частей; б) невозможность измерения деформаций свыше 40 мк без перестановки стрелки; в) трудность работы с прибором на открытом воздухе в ветреную погоду.

3.2. Тензометр Н.Н.Аистова ТА-2

Тензометр Н.Н. Аистова ТА-2 применяется для определения деформаций и является электромеханическим тензометром.

Корпус прибора (рис. 1.9) разделен электрической изоляцией на 2 части А и Б. Прибор опирается на нож 1 и призму 2, входящую в вилку 3 и жестко соединенную с пером 4. Через разрезную муфту 5 с натяжной гайкой 7 проходит микрометрический винт 6 с диском 8. Шкала диска имеет 100 делений по 1 мм. Возле диска помещен указатель 9. К клеммам 10 и 11 присоединяют провода для получения звукового сигнала. Отношение плеч d и l пера равно 5, шаг винта 0,5 мм. Отсчеты берутся следующим образом (рис. 1.9, б). Вращая диск против часовой стрелки, доводят острие винта до соприкосновения с пером и берут первый так называемый «нулевой» отсчет (1-е положение). Затем, повернув диск в обратную сторону на 0,5 – 1,5 оборота, отводят острие винта от пера. После возникновения деформации Δl конец пера переместится на величину Δ_0 (r – положение). Снова вращая диск против часовой стрелки до появления звукового сигнала, берут второй отсчет. Поэтому деформация материала 0,001 мм, увеличенная на конце пера до 0,005, отвечает перемещению винта на его повороте на одно деление шкалы ($0,5:100=0,005$). Таким образом, цена деления шкалы равна 0,001 мм, а увеличение прибора равно 1000. Один оборот диска соответствует деформации 100 мк, а весь ход винта позволяет

измерить деформации до 800 мк. База прибора может изменяться от 50 до 100 мм за счет перестановки ножа 1 от 50 до 100 и 200 мм за счет присоединения специальных удлинителей.

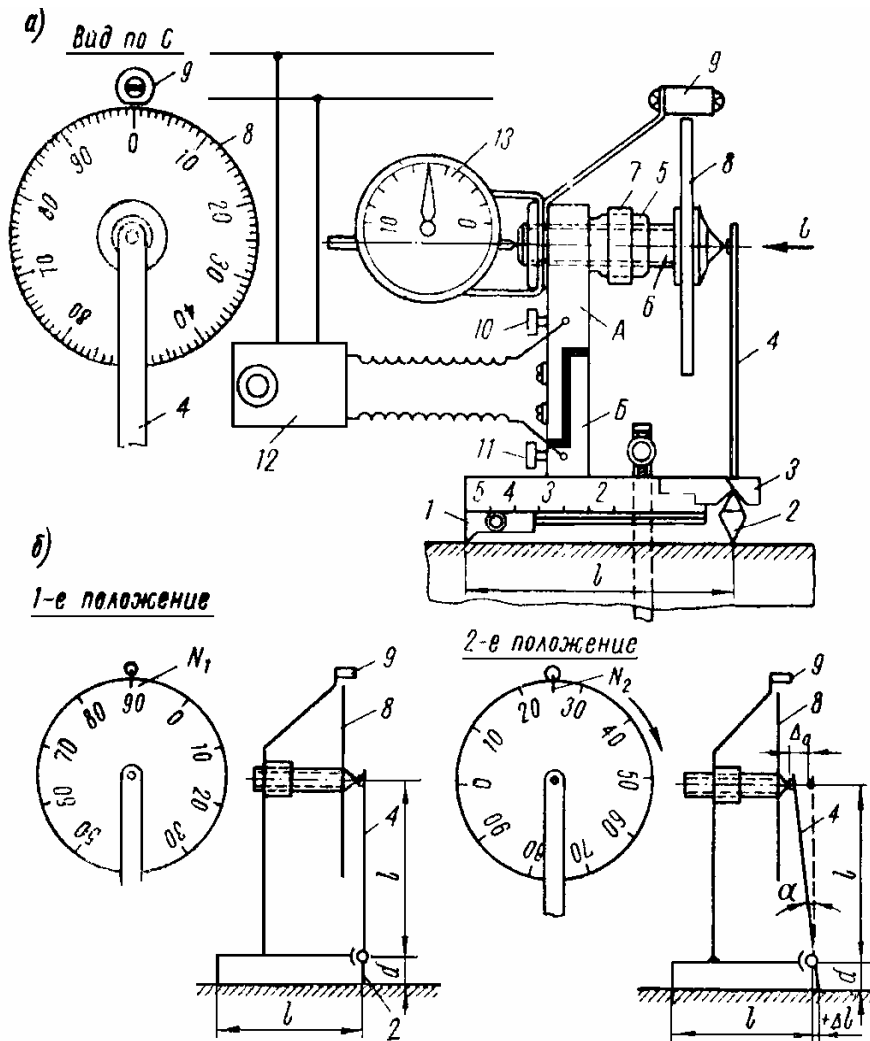


Рис. 1.9. Тензометр Н.Н. Аистова ТА-2:
а – общий вид; б – кинематическая схема

Конструкции тензометров Н.Н. Аистова (ТА2–ТА7) просты, они удобны для установки и надежны в работе, однако снятие отсчетов по шкале диска путем его вращения вручную повышает погрешность измерения. Кроме того, визуальное снятие отсчетов по шкале каждого прибора требует дополнительного обслуживающего персонала и времени. Опасность повреждения тензометров при обрушении конструкции требует своевременного снятия их и исключает возможность вести наблюдения до момента разрушения. Недостатками также являются необходимость применения звукового сигнала и невозможность снятия отсчетов без прикосновения к прибору.

3.3. Компаратор Душечкина КД-2

Компаратор Душечкина КД-2 применяется для наблюдения за деформациями исследуемого элемента конструкции в течение длительного времени и является механическим прибором.

Компаратор прикладывают к конструкции для взятия отсчетов, остальное время хранится в лаборатории.

Для выполнения измерений намечают на конструкции две точки на расстоянии друг от друга, равном базе компаратора. Аналогичные точки имеются на специальном элементе, который является принадлежностью компаратора. Компаратор не измеряет самого расстояния между точками, а лишь позволяет зафиксировать изменение их взаимного расположения с высокой точностью (до 0,01 или 0,001 мм). Искомая величина деформации элемента находится путем сравнения отсчетов, взятых по компаратору на элементе, с отсчетами, взятыми на эталоне.

Чтобы исключить влияние температурных деформаций, следует изготавливать компаратор и эталон из такого же материала, что и исследуемая конструкция.

Конструкция компаратора Душечкина КД-2 показана на рис. 1.10. Подвижность штанги 2 создана податливостью тонких стальных пластин 8.

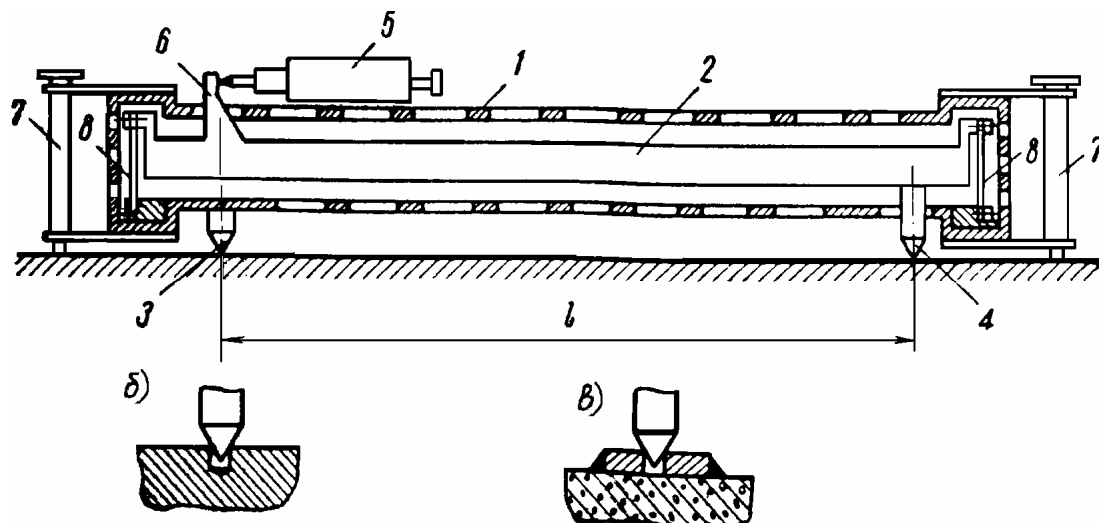


Рис. 1.10. Компаратор КД-2:
а – продольный разрез; б, в – гнезда для ножек

Достоинствами прибора являются простота обращения, простота конструкции, а также легкость получения хорошо сохраняющихся базисных точек, создаваемых путем сверления неглубоких отверстий диаметром 0,4-0,8 мм.

4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ СДВИГА

4.1. Тензометр-сдвигомер Н.Н. Аистова ТСА

Тензометр-сдвигомер Н.Н. Аистова применяется для определения величины перемещения при сдвиге с точностью до 0,001 мм и является универсальным.

Основной частью прибора (рис.1.11) является тензометр Н.Н. Аистова ТА-2 со станиной несколько измененной формы.

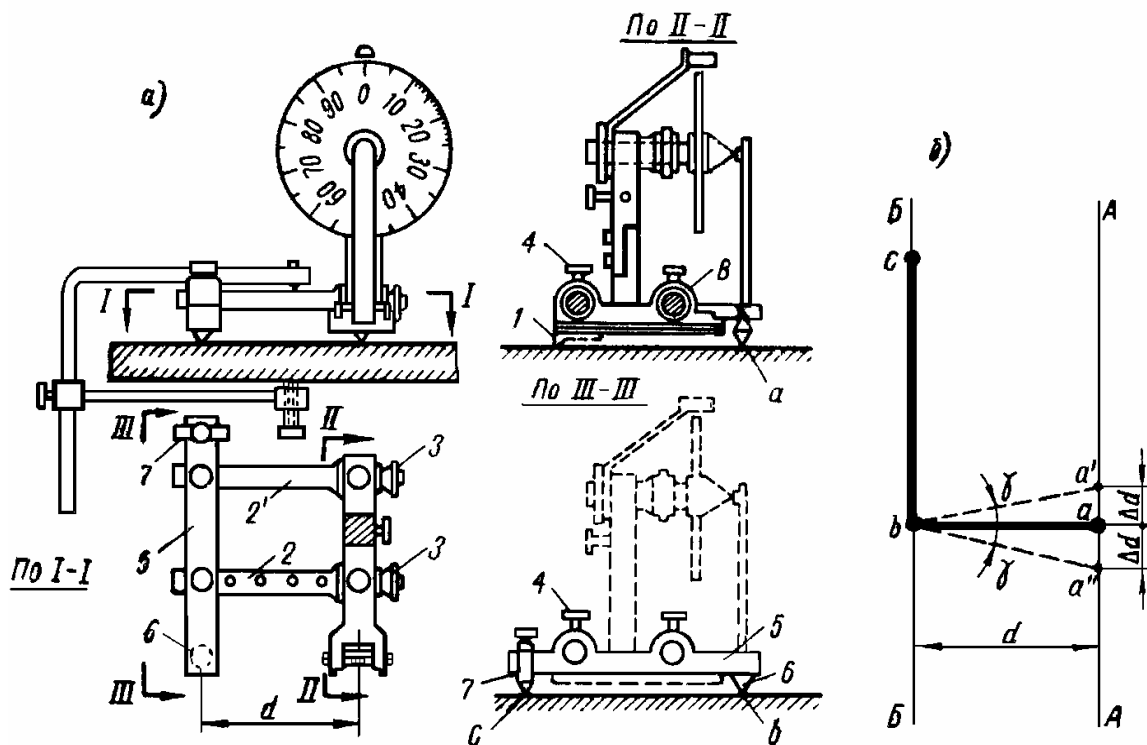


Рис. 1.11. Тензометр-сдвигомер Н.Н. Аистова ТСА:
а – боковые виды и план; б – схема измерения

Опорный нож снимается, и к тензометру присоединяются стержни 2, закрепляемые гайками 3 и винтами 4. На стержни надевается насадка 5 с конической неподвижной опорой 6 и качающейся опорой 7. В рабочем положении прибор опирается на поверхность элемента в точках *a*, *b*, *c*. На волокне А-А располагается неподвижная призма, а на волокне Б-Б – коническая неподвижная опора и качающаяся опора, необходимая для придания прибору устойчивости (точки *b* и *c*). При сдвиге точка *a* перемещается в точку *a'* или *a''* на величину Δd . Тангенс угла сдвига определяется из выражения $\operatorname{tg} \gamma = \Delta d / d$.

5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОВЕРКАХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Все механические приборы, применяемые для измерения деформаций строительных конструкций, изготавливаются с особой тщательностью и точностью, однако чрезвычайно трудно построить такой механический прибор, который имел бы проектную точность измерения деформаций, т.е. давал возможность получать разности отсчетов по шкале, увеличенные по сравнению с истинными деформациями точно в сто, тысячу раз и пр. В качестве примера можно привести любой механический прибор, состоящий из ряда частей (призм, рычагов, микрометрических винтов, шкал и т.п.), образующий передаточный механизм; ошибка в размерах каждой из них вызывает изменение запроектированного увеличения.

Так как подобное явление почти неизбежно, то для уменьшения его действия прибегают к следующему приему. Прибор изготавливается с возможно большей точностью, после чего его показания проверяются на специальных приспособлениях, называемых «тарировочными машинами» или «тензокалибраторами». Эти машины имеют точность, превышающую точность тарируемых приборов в десятки и сотни раз. Проверяемый прибор устанавливается на тарировочной машине, в которой создаются линейные или угловые перемещения, регистрируемые поверяемым прибором. Сопоставляя приращения показаний машины, легко вычислить поправочный коэффициент, дающий возможность привести разности отсчетов поверяемого прибора к проектной точности.

Если разность показаний поверяемого прибора при определенном перемещении равна величине $\Delta C_{\text{пр}}$, а разность показаний тарировочной машины при том же перемещении составляет $\Delta C_{\text{тм}}$, то справедливо уравнение

$$k \cdot \Delta C_{\text{пр}} = \Delta C_{\text{тм}},$$

где k – поправочный коэффициент.

При точном изготовлении прибора разность его показаний будет равна разности показаний тарировочной машины, и тогда поправочный коэффициент $k=1$.

В общем случае поправочный коэффициент равен

$$k = \frac{\Delta C_{\text{тм}}}{\Delta C_{\text{пр}}}.$$

Поправочный коэффициент представляет собой действительную цену одного деления шкалы. Поправочный коэффициент должен находиться в пределах

$$k = 1,00 \pm 0,10.$$

Умножая разность отсчетов поверяемого прибора на поправочный коэффициент k , получим действительную деформацию исследуемого элемента конструкции:

$$\Delta C_{\text{эл}} = k \cdot \Delta C_{\text{пр}}.$$

Все приборы, предназначенные для измерения деформаций строительных конструкций, их элементов, моделей и образцов материалов, находящихся в частом употреблении, могут менять свое увеличение, так как отдельные части их снашиваются, в результате чего изменяется передаточное число и поправочный коэффициент приобретает другое значение.

Все измерительные приборы, как правило, необходимо периодически поверять на тарировочных машинах и каждый раз вновь вычислять поправочный коэффициент. Кроме вычисления поправочного коэффициента определяется также вариация показаний прибора, характеризующая устойчивость его показаний. С этой целью прибор устанавливается на тарировочной машине и лимб ее десять раз приводится на одно и то же деление, причем каждый раз берется отсчет по поверяемому прибору. Вариация показаний определяется как разность между наибольшим и наименьшим значениями из десяти показаний по шкале поверяемого прибора. Допускаемая вариация показаний прибора не должна превышать цены одного деления шкалы.

В паспорте на каждый механический измерительный прибор должны быть указаны даты и результаты поверок: величины поправочных коэффициентов и вариаций показаний прибора.

Лабораторная работа № 2

ТАРИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ТАРИРОВОЧНОЙ БАЛКИ

Цель работы – ознакомиться с устройством тензорезисторов и тензометрической аппаратуры и приобрести практические навыки работы с ними. Изучить метод электротензометрии, а также метод тарирования тензодатчиков и определения коэффициента их тензочувствительности.

1. СУЩНОСТЬ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТЕНЗОМЕТРИИ

Тензорезисторами называют электрические преобразователи (датчики), с помощью которых определяют относительные деформации по изменению омического сопротивления R проводника, наклеиваемого на исследуемую конструкцию.

Электрическое сопротивление тензодатчика вычисляют по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

где R – сопротивление тензорезистора;

ρ – удельное сопротивление материала решетки;

l – суммарная длина проводника тензорезистора;

S – площадь поперечного сечения проводника.

Изменение омического сопротивления проводника происходит в соответствии с деформациями исследуемой конструкции, т.е. изменением длины проводника. Наибольшее распространение получили проволочные тензорезисторы.

Проволочный тензорезистор (рис. 2.1) представляет собой тонкую проволоку 1 из константана или нихрома диаметром 0,02-0,05 мм, изогнутую в виде спирали с базой b и наклеенную на специальную бумагу (подложку) 2 из тонко-изоляционного материала. К концам этой проволоки припаяны выводы 3 из более толстой проволоки, к которым присоединяются провода. Датчик прочно приклеивается к поверхности конструкции и в дальнейшем деформируется с волокнами материала. Решетка тензорезистора при удлинении элемента удлиняется, при укорочении – укорачивается. Деформация исследуемого элемента вызывает изменение омического сопротивления проволоки, которое регистрируется специальной измерительной аппаратурой, присоединенной к электрическим выводам.

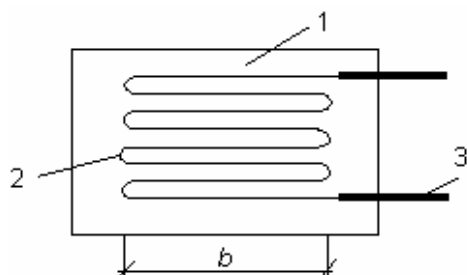


Рис. 2.1. Тензорезистор

Для приклеивания датчиков к конструкции используются клеи: БФ-4, БФ-2, ацетонцеллулоидный и другие. Перед наклейкой датчиков поверхность конструкции необходимо подвергнуть специальной обработке. Металл зачищают до блеска напильником или наждачной бумагой, а затем обезжиривают ацетоном или спиртом. Бетон тщательно выравнивают наждачной бумагой, заделывают поры гипсом, затем промывают и просушивают, после чего укрепляют поверхность последовательным наложением 2-3 слоев клея.

Основной характеристикой тензорезистора является коэффициент тензочувствительности

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}, \quad (2)$$

где $\Delta R/R$ – относительное изменение сопротивления тензорезистора;
 $\varepsilon = \Delta l/l$ – относительная деформация элемента.

Коэффициент тензочувствительности k отражает линейную зависимость между величиной $\Delta R/R$ и измеряемой относительной деформацией ε . Значение коэффициента k для различных типов тензорезисторов зависит от свойств тензопроволоки, материала основы, соединяющего клея, условий изготовления и лежит в пределах $k = 1,8 - 2,2$.

Тензорезисторы изготавливают с базой 1-200 мм и начальным омическим сопротивлением 80-400 Ом.

В процессе деформирования тензорезистор изменяет свое сопротивление в весьма малых пределах (2-3 %). Это изменение измеряется специальной регистрирующей аппаратурой. В настоящее время применяют автоматические измерители деформаций АИД-2М, АИД-4 и др. Цена деления шкалы этих приборов равна $1 \cdot 10^{-5}$ единиц относительной деформации.

Основой прибора является измерительный мост Уитстона, схема которого показана на рис. 2.2.

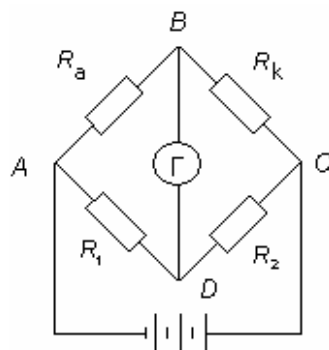


Рис. 2.2. Схема моста Уитстона

Активный тензорезистор R_a , наклеиваемый на конструкцию и измеряющий относительную деформацию исследуемой поверхности, составляет одно плечо моста AB (см. рис. 2). В другое плечо BC включается компенсационный тензорезистор R_k , предназначенный для автоматической компенсации температурных деформаций. Он располагается рядом с активным, но наклеивается на небольшой участок поверхности конструкции, не подвергающийся силовым воздействиям.

Сопротивления тензорезисторов R_1 и R_2 , вмонтированных в приборе в качестве плеч AD и DC , в небольших пределах могут изменяться с помощью реохорда гальванометра Γ . При измерениях производят балансировку моста, т.е. добиваются нулевого показания гальванометра, поэтому данный способ называется методом нулевого отсчета.

Баланс моста наступает в тот момент, когда между сопротивлениями четырех плеч устанавливается соотношение

$$\frac{R_a}{R_k} = \frac{R_1}{R_2}. \quad (3)$$

Соответствующее значение по шкале реохорда записывается. После загрузки конструкции сопротивление активного тензорезистора изменяется на ΔR_a , вследствие чего баланс нарушается и стрелка гальванометра сходит с нуля. Тогда производят вторую балансировку, меняя сопротивление тензорезисторов $R_2(R_1)$ и устанавливая стрелку гальванометра в нулевое положение. Соотношение сопротивлений, которые при этом устанавливаются, выражается следующей зависимостью:

$$\frac{R_a + \Delta R_a}{R_k} = \frac{R'_1}{R'_2}. \quad (4)$$

Относительное изменение сопротивления активного тензорезистора $\frac{\Delta R_a}{R_a}$, характеризующее деформацию, определяется разностью

отсчетов по шкале реохорда при первой и второй балансировках. Шкала реохорда градуируется в единицах относительной деформации ϵ .

2. ТАРИРОВАНИЕ ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ

При тарировании (поверке) измерительных приборов, осуществляемом на специальных тарировочных машинах, производится уточнение технико-метрологических характеристик этих приборов.

Тарирование проволочных тензорезисторов сводится к определению коэффициента тензочувствительности k , вычисляемого по формуле (2).

Тарирование тензорезисторов осуществляют, как правило, выборочно. Из партии тензорезисторов с одинаковыми значениями омического сопротивления берут для тарирования обычно 5 % от общего количества. Результаты тарирования выбранного количества тензорезисторов распространяются на всю партию.

Тензодатчики наклеивают на тарировочное устройство, которое с высокой точностью может задавать деформации. Датчик подключают к прибору и, сопоставляя задаваемую деформацию с показаниями индикатора, определяют цену деления прибора или технико-метрологические характеристики тензорезисторов.

В качестве тарировочного устройства используют металлическую упругую балку, которую загружают так, чтобы она имела зону чистого изгиба.

При выполнении лабораторной работы используют тарировочный прибор модели ТА-12, схема которого показана на рис.2.3.

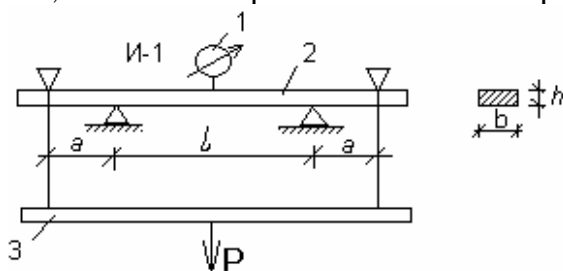


Рис. 2.3. Схема тарировочного прибора

Основным элементом этого прибора является стальная планка 2 с постоянным сечением $b \times h$ и длиной l . Планка представляет собой шарнирно-опертую свободно лежащую балку пролетом l с консолями длиной a . На концах консоли при помощи рычага 3 передается нагрузка P . На участке планки длиной l действует постоянный изгибающий момент, а следовательно, и постоянные поверхностные деформации. Для планки, деформированную ось которой можно представить дугой

окружности радиусом r , при малых значениях прогибов (при $y''=1/r$) справедливы следующие уравнения:

$$r = \frac{l^2}{b \cdot y}; \quad \frac{\Delta l}{h/2} = \frac{l}{r};$$

откуда следует, что

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{4h}{l^2} y, \quad (5)$$

где y – прогиб планки посередине пролета l ;

l – длина зоны чистого изгиба;

h – высота сечения балки.

Прогиб балки y измеряют индикатором часового типа 1 с точностью до 0,01 мм.

Тензорезисторы, подлежащие тарированию, наклеивают в пределах пролета l планки на нижнюю и верхнюю поверхности планки и поочередно подключают к измерительному прибору. Схема тарирования тензорезисторов показана на рис. 2.4.

При выполнении настоящей лабораторной работы производится тарирование тензорезисторов 2ФКПА-10-100ГА базой 10 мм и номинальным сопротивлением 100 Ом. Высота тарировочной балки 6 мм; ширина 30 мм; пролет балки l с зоной чистого изгиба составляет 200 мм; консольные участки a равны 70 мм.

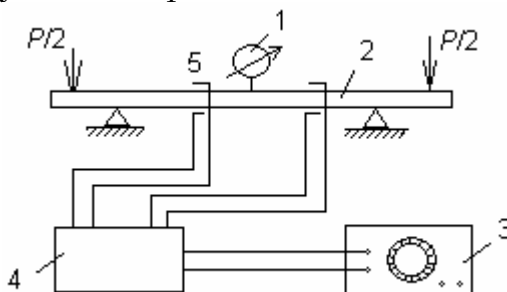


Рис.2.4. Схема тарирования тензорезисторов:
1 – индикатор; 2 – тарировочная балка; 3 – измерительный прибор АИД-2М;
4 – переключатель; 5 – тензорезисторы

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить измерительный прибор АИД-2М и дать ему прогреться в течение 15 мин для обеспечения устойчивости показаний.

2. Снять нулевые отсчеты по измерительному прибору и индикатору и записать их в ведомость тарирования (табл.2.1).

Таблица 2.1

Результаты измерения по прибору АИД-2М		Номер тензорезистора												
Результаты измерения по индикатору часового типа		Т-1			Т-2			Т-3			Т-4			
Против, мм	Относительная деформация $\epsilon_n \cdot 10^5$	Правление относительной деформации $\Delta \epsilon_n \cdot 10^5$	Т-1		Т-2		Т-3		Т-4		Разность отсчетов по прибору Δ	Отсчет по прибору	Коэффициент тензочувствительности $K = \frac{\Delta R/R}{\Delta \epsilon_n}$	
			Разность отсчетов по прибору Δ	Отсчет по прибору	Разность отсчетов по прибору Δ	Отсчет по прибору	Разность отсчетов по прибору Δ	Отсчет по прибору	Разность отсчетов по прибору Δ	Отсчет по прибору				
0	0													
0,25	15	15												
0,50	30	15												
0,75	45	15												
0,50	30	15												
0,25	15	15												
0	0	15												
Среднее значение коэффициента тензочувствительности K_{cp}														

3. Загрузить тарировочную балку нагрузкой ступенями, при которых показания индикатора часового типа соответственно равны 0,25; 0,5; 0,75 мм.

При заданных значениях прогиба $y=0,25; 0,5; 0,75$ мм значения относительной деформации краевого волокна балки соответственно будут равны: $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{4h}{l^2} y = 15 \times 10^{-5}; 30 \times 10^{-5}; 45 \times 10^{-5}$.

4. В процессе этапов загрузки снимать отсчеты по измерительному прибору АИД-2М и заносить их в ведомость (см. табл. 2.1).

5. Совершив 3 цикла «нагрузка-разгрузка» для каждого тензорезистора, произвести обработку результатов, записанных в ведомости.

6. На основе полученных средних арифметических значений коэффициентов тензочувствительности сделать выводы о пригодности (непригодности) тензорезисторов.

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ ФЕРМЫ В СОСТАВЕ ОДНОЭТАЖНОЙ ОДНОПРОЛЕТНОЙ РАМЫ

Цель работы – определить экспериментальные значения деформаций и напряжений в стержнях стропильной фермы от действия заданных сосредоточенных статических нагрузок.

1. ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ И ПРИБОРОВ

Испытываемая модель фермы находится в составе поперечной рамы (рис.3.1) пролетом 24 м, выполненной в масштабе М 1:10. Модель выполнена из алюминиевого сплава АД1М с расчетным сопротивлением материала $R_y=25$ МПа, модулем упругости $E = 72000$ МПа.

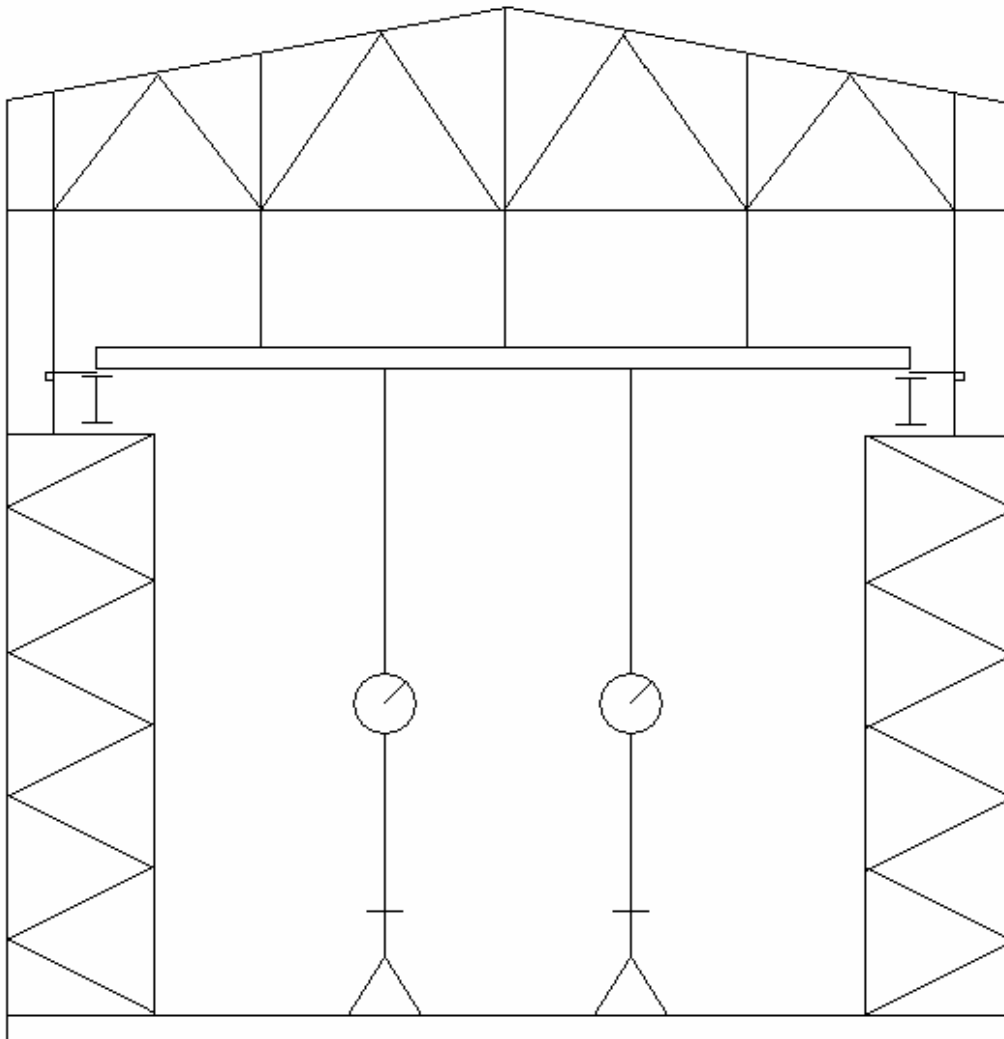


Рис. 3.1. Испытываемая модель поперечной рамы

Ферма представляет собой сквозной двускатный ригель, жестко соединенный с надкрановой частью колонн при помощи болтов. Опорная реакция передается от опорного узла фермы через фрезерованный торец фланца на столик, приваренный к подкрановой части колонны. Геометрическая схема фермы показана на рис. 3.2.

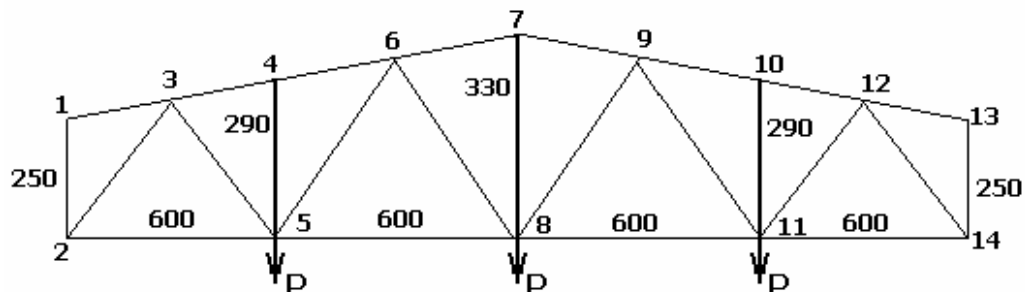


Рис. 3.2. Геометрическая схема фермы

Стержни фермы выполнены из парных уголков, объединенных между собой прокладками, обеспечивающими их совместную работу.

Из плоскости ферма закрепляется при помощи стержней, вмонтированных в стену. Эти связи определяют расчетные длины стержней фермы из плоскости фермы (табл. 3.1).

Элементы фермы испытывают центральное растяжение или сжатие. Для определения упругих деформаций в стержнях фермы используются проволочные тензорезисторы на бумажной основе с базой 5 мм. Для снятия показаний применяется автоматический измеритель деформаций (АИД) в комплекте с многоканальным переключателем. На обеих полках уголков сечения каждого элемента фермы наклеено по 4 тензорезистора, ориентированных вдоль продольной оси (табл. 3.2).

2. НАГРУЖЕНИЕ МОДЕЛИ

Ферма нагружается сосредоточенными силами, которые прикладываются к узлам фермы. Передача сосредоточенных сил производится через двутавровую траверсу. Нагрузка создается винтовыми домкратами и контролируется динамометрами часового растяжения.

Конструкция модели позволяет создать следующие варианты нагрузений (см. рис. 3.2):

- нагружение центрального узла 8,
- симметричное нагружение узлов 5 и 11,
- асимметричное нагружение узла 5 или 11.

Каждому варианту соответствует нагружение, создаваемое опорными моментами, возникающими за счет особенностей конструктивной схемы рамы – жесткого сопряжения фермы с колонной (см. рис. 3.1).

Таблица 3.1

Геометрические характеристики элементов фермы

Наименование элементов	Обозначение элемента по рис. 3.2	Сечение 2L, см	Площадь сечения A, см ²	Радиусы инерции, см		Длина l, см	Гибкость	
				$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{A}}$	$i_y = \sqrt{\frac{J_y}{A}}$		$\lambda_x = \frac{l_0}{i_x}$	$\lambda_x = \frac{l_0}{i_x}$
Верхний пояс	1-3	∟L2×0,23	1,73	0,61	0,93	30,1	49	32
	3-6	∟L2×0,23	1,73	0,61	0,93	60,2	98	64
	6-7	∟L2×0,23	1,73	0,61	0,93	30,1	49	32
Нижний пояс	2-5	∟L1,6×0,17	1,03	0,49	—	60	122	—
	5-8	∟L1,6×0,17	1,03	0,49	—	60	122	—
Раскосы	2-3	∟L2,27×0,17	1,49	0,71	—	35,6	50	—
	3-5	∟L1,5×0,16	0,91	0,46	—	35,6	65	—
	5-6	∟L1,5×0,16	0,91	0,46	—	37,3	65	—
	6-8	∟L1,5×0,16	0,91	0,46	—	37,3	65	—
Стойки	4-5	∟L1,5×0,16	0,91	0,46	—	29,5	50	—
	7-8	∟L1,5×0,16	0,91	0,46	—	33,0	57	—

Таблица 3.2

Схема наклейки тензорезисторов

Наименование элементов	Обозначение элемента по рис.2	Общая нумерация тензорезисторов	Номер кабеля
Опорный раскос	12-14	1,2,3,4	К-1
Раскос	11-12	5,6,7,8	
Стойка	10-11	9,10,11,12	
Раскос	9-11	13,14,15,16	
Опорный раскос	2-3	17,18,19,20	К-2
Раскос	3-5	21,22,23,24	
Стойка	4-5	25,26,27,28	
Раскос	5-6	29,30,31,32	
Раскос	6-8	34,35,36,37	К-3
Центральная стойка	7-8	38,39,40,41	
Раскос	8-9	42,43,44,45	
Верхний пояс	7-9	51,52,53,54	К-4
Нижний пояс	8-11	55,56,57,58	
Нижний пояс	11-14	59,60,61,62	
Верхний пояс	12-13	63,64,65,66	
Верхний пояс	6-7	67,68,69,70	К-5
Верхний пояс	1-3	71,72,73,74	
Нижний пояс	5-8	75,76,77,78	
Нижний пояс	2-5	78,79,80,81	

3. ПРИМЕР СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ФЕРМЫ

С целью выяснения характера работы стержней и определения наиболее нагруженных стержней производим статический расчет фермы. Расчет выполняем на 3 варианта нагружений от действия единичных сил (рис.3.3):

1. $P=1$ в узле 8,
2. $P=1$ в узле 5 и 11,
3. $M=1$ на левой и правой сторонах.

Статический расчет фермы выполняем на персональной ЭВМ. Приводим распечатку полученных значений усилий.

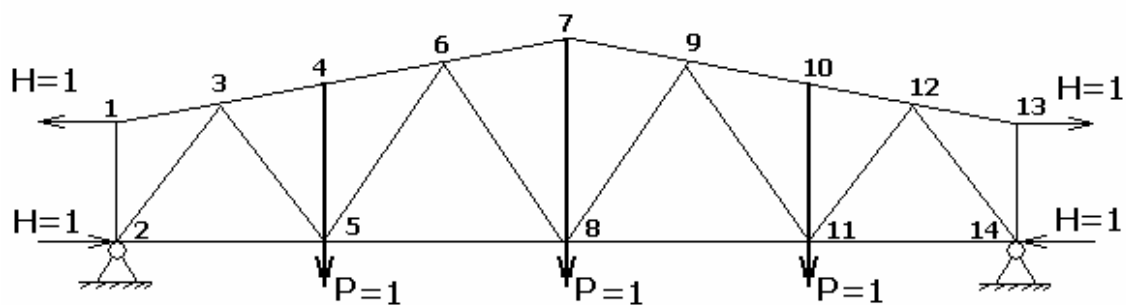


Рис. 3.3. Варианты нагружений фермы

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зарисовать геометрическую схему фермы (см.рис. 3.2) и схему наклейки тензорезисторов с указанием их местоположения и номеров (см. табл. 3.2).

2. Выполнить статический расчет фермы и определить наиболее опасные элементы фермы (см. пример расчета).

3. Составить ведомости по форме по табл. 3.3 для записи и обработки экспериментальных данных.

4. Снять отсчеты с автоматического измерителя деформаций (АИД) по всем указанным в табл. 3.3 тензорезисторам при нулевом нагружении.

5. Нагрузить ферму сосредоточенной нагрузкой и снять отсчеты.

6. Разгрузить ферму и снять отсчеты с АИД.

7. Вычислить величины относительных деформаций по каждому тензорезистору как разность отсчетов при нагрузке и нулевом нагружении.

Примечания: а) при нулевой нагрузке деформации равны нулю; б) при разгрузке фермы могут появиться остаточные деформации.

8. Определить средние деформации в сечениях стержней фермы как средние арифметические относительных деформаций соответствующих тензорезисторов по формуле

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4}{4}.$$

9. Определить напряжения в сечениях фермы по закону Гука

$$\sigma = \varepsilon \cdot E.$$

10. Процесс повторить при другом варианте нагружения и сравнить полученные результаты.

11. Сделать выводы.

12. Составить отчет по работе.

Таблица 3.3

Ведомость записи и обработки результатов испытаний фермы

Нагрузка Р, кН	Номера тензорезисторов											
0	Отсчет											
	e											
	Отсчет											
	e											
	y											
	X _р											
0	Отсчет											
	e											

Примечание. Цена деления ТК-2 равна 1×10^{-5} .

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЯ СТУПЕНЧАТОЙ КОЛОННЫ В СОСТАВЕ ОДНОЭТАЖНОЙ ОДНОПРОЛЕТНОЙ РАМЫ

Цель работы – определить экспериментальные напряжения и деформации в сечении ступенчатой колонны, являющейся частью одноэтажной однопролетной рамы.

1. ОПИСАНИЕ ИСПЫТЫВАЕМОЙ МОДЕЛИ.

Испытываемая конструкция представляет собой модель поперечной рамы однопролетного промышленного здания.

Модель выполнена в масштабе 1:10 натуральной величины из алюминиевого сплава с модулем упругости $E_{ал}=72000$ МПА и расчетным сопротивлением $R_y=25$ МПА.

Рама состоит из двух ступенчатых колонн и решетчатой трапециевидальной фермы и установлена на стальную фундаментную балку. В продольном направлении рама закреплена при помощи болтов, смонтированных в стену в уровне верхнего пояса. Подкрановая часть колонны решетчатая с наружным поясом из швеллера и внутренним из двутавра. Ферма соединена с колонной с помощью болтовых элементов. Опорная реакция фермы передается с колонны в уровне нижнего пояса через фрезерованный торец фланца на столик, приваренный к колонне. Швы опорного столика работают на сдвиг, болты, соединяющие верхний пояс фермы с колонной, работают на растяжение. Болты нижнего узла предназначены только для фиксации фермы. Соединение надкрановой и подкрановой частей колонны жесткое. В этом узле с эксцентриситетом установлены разрезные подкрановые балки двутаврового сечения. Вертикальная реакция подкрановой балки передается через опорный фланец, горизонтальная – через регулировочные болты, предназначенные для поперечной рихтовки подкрановых путей.

Подкрановые балки опираются на консоль колонны шарнирно. База колонны имеет жесткое закрепление на фундаментной балке при помощи анкерных болтов. Тормозная балка прикреплена к подкрановой части колонны регулировочной шпилькой, обеспечивающей поперечную рихтовку подкрановых путей.

Геометрическая схема рамы приведена на рис. 4.1.

Поперечные сечения элементов показаны на рис. 4.2.

Состав и геометрические характеристики основных сечений показаны в табл. 4.1.

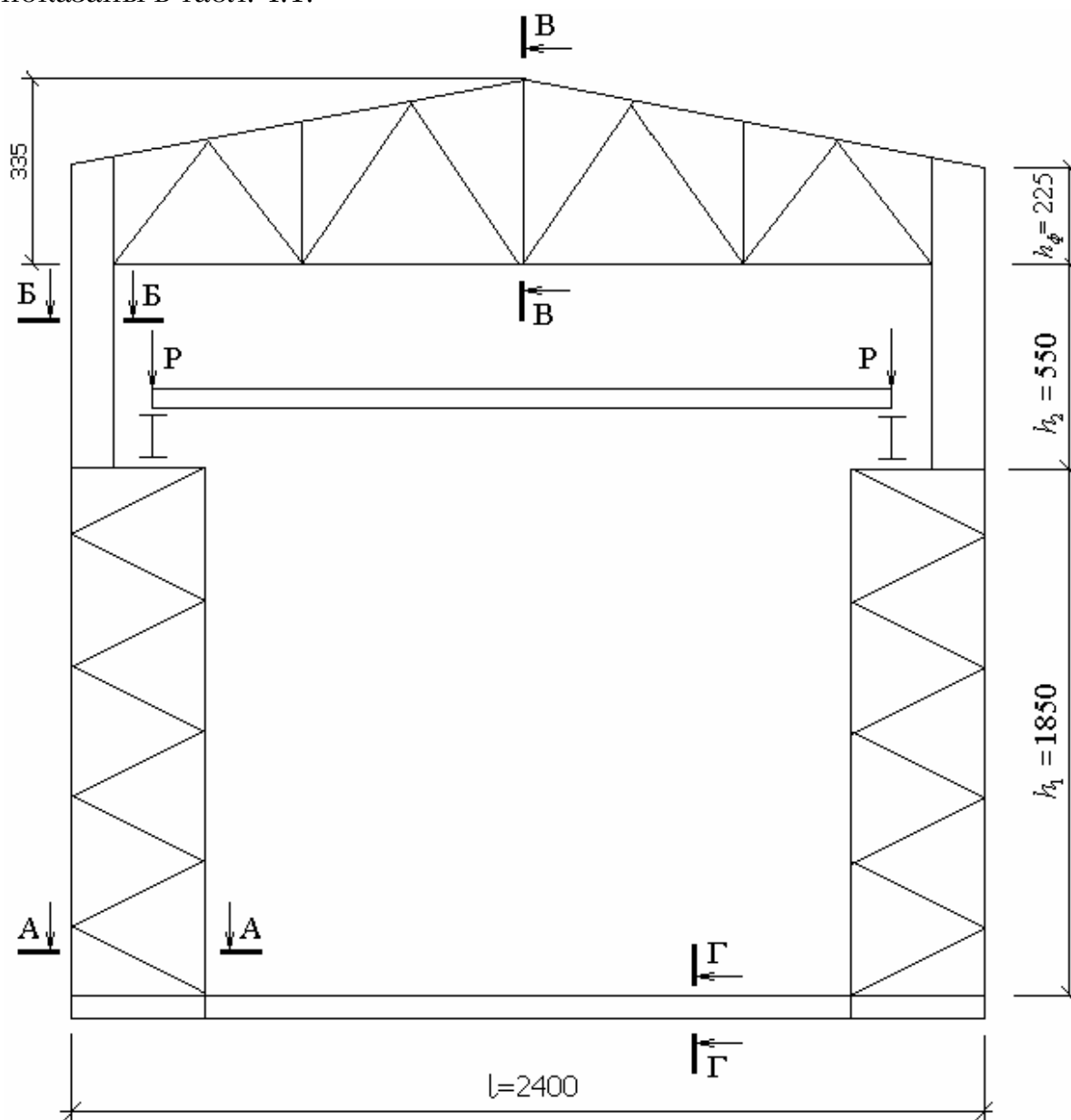


Рис. 4.1. Геометрическая схема рамы.

Рама загружается симметричными сосредоточенными вертикальными силами P , которые прикладываются к колонне через подкрановые балки. Нагрузка создается винтовыми домкратами и контролируется динамометрами растяжения.

Нагрузка передается через стальные подкладки на подкрановые балки.

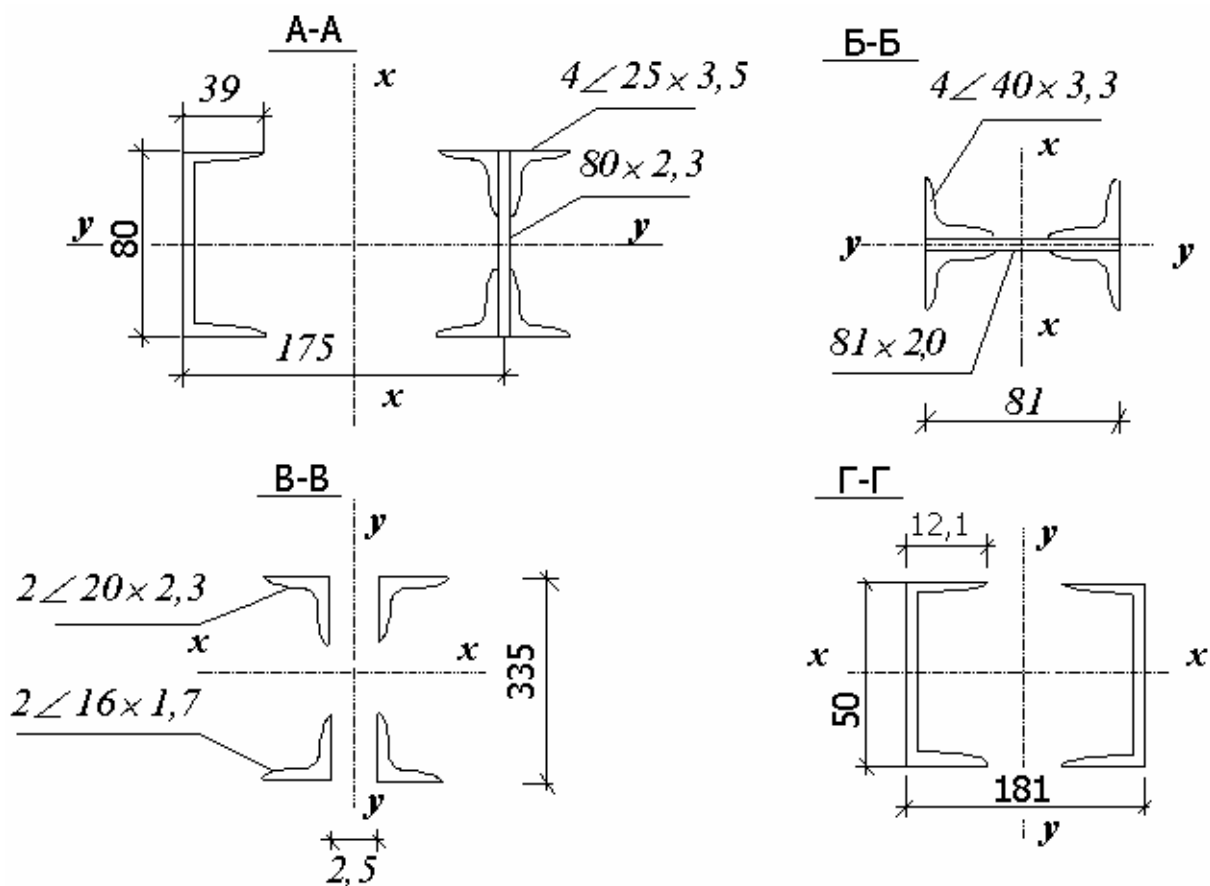


Рис. 4.2 Поперечные сечения элементов рамы.

Таблица 4.1

Геометрические характеристики сечений рамы.

Сечени е	Площадь сечения $A, \text{см}^2$	Момент инерции $J, \text{см}^4$	Длина участка, где сделано сечение, $l, \text{см}$	Отношение жесткостей $EJ / EJ_{\text{Б-Б}}$
1	2	3	4	5
А – А	14,8	979	185	8,7
Б – Б	11,9	113	55	1
В – В	2,8	680	240	1,31
Г – Г	12,3	46	214	1,17

Примечание. Сечению Г–Г соответствует приведенная жесткость стальной фундаментной балки с коэффициентом:

$$n = \frac{E_{\text{ст}}}{E_{\text{ал}}},$$

где $E_{\text{ст}} = 206000 \text{ МПа}$ – модуль упругости стали;

$E_{\text{ал}} = 72000 \text{ МПа}$ – модуль упругости алюминия.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЙ В СЕЧЕНИЯХ КОЛОННЫ

Для измерения деформаций в сечениях ступенчатой колонны используются проволочные тензорезисторы на бумажной основе с базой 5 мм. В каждом сечении наклеено по 4 тензорезистора, месторасположение которых показано на рис. 4.3.

Для снятия показаний используется тензометрический комплекс ТК-2.

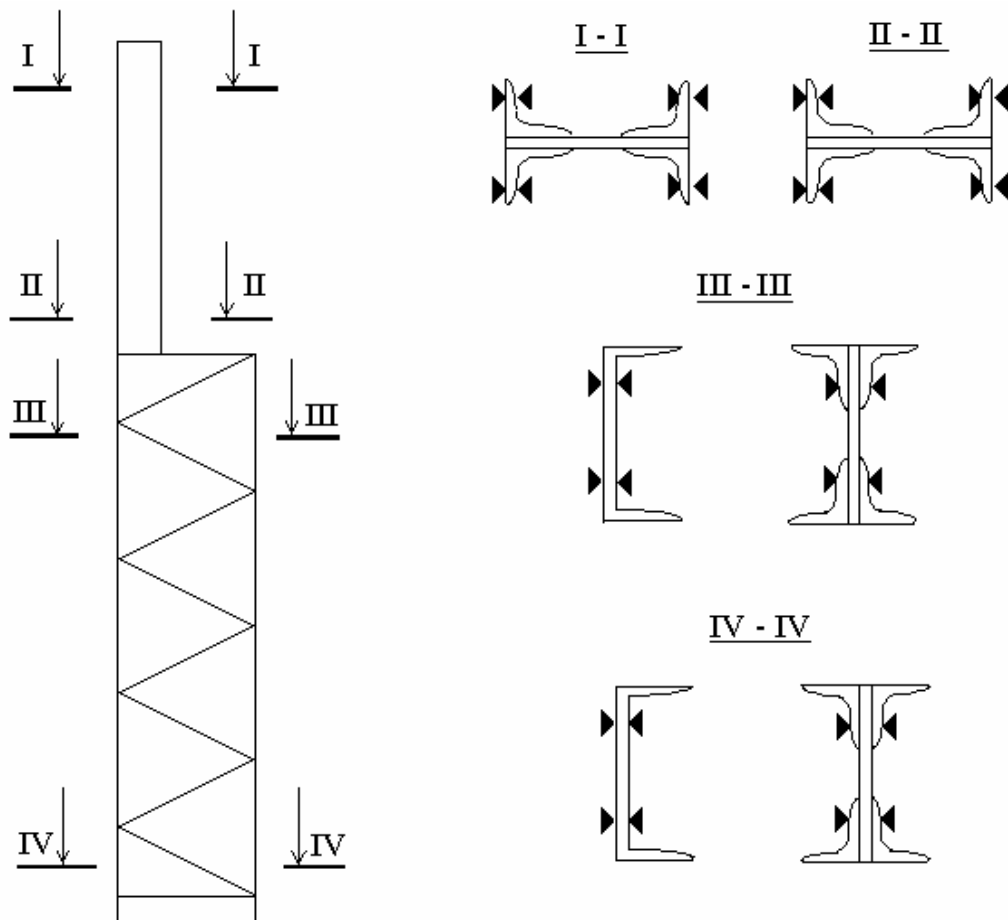


Рис. 4.3. Схема расположения тензорезисторов

Результаты испытаний записываются по форме табл. 4.2. Деформации определяются как разность отсчетов по прибору при нагружении и нулевой нагрузке:

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= (\text{отсч}_p - \text{отсч}_{p_0}) \\ \varepsilon &= \Delta \cdot 1 \cdot 10^{-5} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Напряжения определяются по закону Гука:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E,$$

где E – модуль упругости материала, равный для алюминиевого сплава 72000 МПа.

Таблица 4.2

Ведомость записи и обработки результатов испытаний

Нагрузка P , кН.		Номера тензорезисторов															
0	Отсчет																
	Δ																
	σ																
	$\sigma_{\text{ср}}$																
	Отсчет																
	Δ																
	σ																
	$\sigma_{\text{ср}}$																
0	Отсчет																
	Δ																
	σ																
	$\sigma_{\text{ср}}$																

Примечание: Цена деления ТК-2 $1 \cdot 10^{-5}$.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зарисовать схему наклейки тензорезисторов (см. рис. 4.3).
2. Составить форму табл. 4.2 для записи и обработки экспериментальных данных.
3. Снять нулевые отсчеты по каждому тензорезистору.
4. Нагрузить колонну сосредоточенной нагрузкой и снять отсчеты.
5. Разгрузить колонну и снять отсчеты.
6. Вычислить значения отдельных деформаций по каждому тензорезистору, как разность отсчетов при нагрузке и нулевом нагружении.

Примечание:

- а) при нулевой нагрузке деформации равны нулю;
 - б) при разгрузке могут появиться малые остаточные деформации.
7. Определить напряжения по закону Гука.
 8. Определить средние напряжения в сечениях колонны как среднее арифметическое:

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4}{4}.$$

9. Построить графики напряжений в расчетных сечениях колонны.
10. Сделать выводы.
11. Процесс повторить для другой стороны сечения колонны.

Лабораторная работа № 5

СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ

Цель работы – определить местные деформации и напряжения в стенке балки под действием сосредоточенной силы и изучить характер их распределения.

1. ЛАБОРАТОРНЫЙ ОБРАЗЕЦ

В качестве лабораторного образца используют прокатную двутавровую балку / № 27 длиной 1,2 м из стали С 235 (рис. 5.1). На верхнем поясе балки свободно лежит квадратный рельс сечением 51×51 мм. Предусмотрено два варианта описания балки:

- 1 вариант – балка опирается на две шарнирные опоры;
- 2 вариант – балка опирается на всю поверхность нижнего пояса.

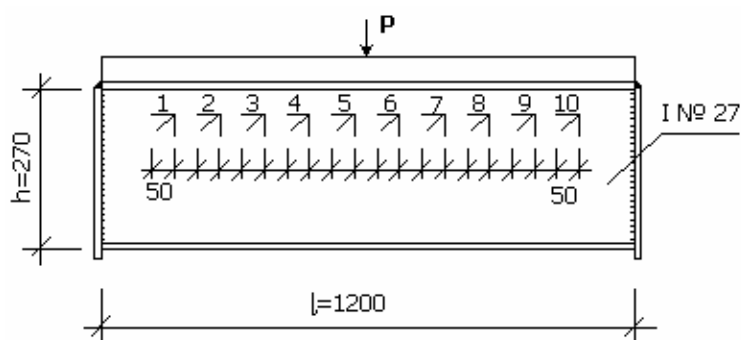


Рис. 5.1 Лабораторный образец

2. НАГРУЖЕНИЕ ОБРАЗЦА

Нагружение производят в универсальной испытательной машине УРМ-50 через цилиндрический шарнир за один этап плавным увеличением нагрузки с помощью гидравлической системы. Нагрузка прилагается в середине пролёта балки с эксцентриситетом относительно стенки балки ввиду возможности смещения рельса.

3. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ИСПЫТАНИИ

Под действием сосредоточенной нагрузки стенка балки испытывает плоское напряжённое состояние. Для исследования напряжённо-деформированного состояния стенки балки используют три тензорезистора в виде прямоугольной розетки (рис.5.2,а), которыми измеряют

деформации по трём направлениям $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_{45^\circ}$ (рис. 5.2,б), а затем по ним определяют главные напряжения.



Рис. 3. Определение деформаций в стенке балки при плосконапряженном состоянии:

а – розетки тензорезисторов; б – направление измеряемых деформаций

Для выявления изменения деформаций по мере удаления от сосредоточенной силы в обе стороны от оси симметрии с шагом 50 мм наклеивают розетки тензорезисторов. Схема их размещения приведена на рис. 5.1. Для измерения деформаций в стенке балки используют 10 розеток.

В лабораторной работе для измерения деформаций используют автоматический измеритель деформаций АИД-4 в комплекте с многоканальным переключателем (коммутирующим устройством).

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ БАЛКИ

После определения значений деформаций $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_{45^\circ}$ (результаты записываются по форме табл. 5.1), находят напряжения по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned}
 \tau_{1,2\max} &= \frac{E}{1+\mu} \sqrt{\frac{(\epsilon_x - \epsilon_{45^\circ})^2 - (\epsilon_y - \epsilon_{45^\circ})^2}{2}}; \\
 \sigma_1 &= \frac{E(\epsilon_x + \epsilon_y)}{2(1-\mu)} + \tau_{1,2\max}; \\
 \sigma_2 &= \frac{E(\epsilon_x + \epsilon_y)}{2(1-\mu)} - \tau_{1,2\max}; \\
 \sigma_y &= \frac{E(\epsilon_y + \mu\epsilon_x)}{1-\mu^2}; \\
 \tau_{xy} &= \frac{E}{2(1+\mu)} (2\epsilon_{45^\circ} - \epsilon_x - \epsilon_y); \\
 \operatorname{tg} \varphi &= \frac{\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}; \quad \operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Таблица 5.1

Ведомость записи и обработки результатов испытаний балки

Нагрузка P , кН	1			2			3			4			5		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°
0															
$P=$															
0															

Нагрузка P , кН	6			7			8			9			10		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{45°
0															
$P=$															
0															

Примечание. Цена деления АИД – $1 \cdot 10^{-5}$

Для стали С 235 принимаются расчётные характеристики:

$E = 2,06 \cdot 10^5$ МПа – модуль упругости;

$\mu = 0,25$ – коэффициент Пуассона;

$\sigma = \frac{E}{2(1+\mu)} = 82400$ МПа – модуль сдвига.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРСОНАЛЬНОЙ ЭВМ

Для вычисления местных напряжений по формулам (1) составлена программа “OPR STB” для персональной ЭВМ на алгоритмическом языке BASIC в диалоговом режиме. Текст программы приведён в приложении.

При обращении с программой необходимо последовательно вносить для каждой розетки значения деформаций с учётом знаков по форме:

Для розетки номер n ввести разность отсчетов (значения деформаций)

$$\Delta n = n - (n - 1),$$

где $n=1,2,\dots,10$.

Результатом расчёта являются значения местных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_x, \sigma_y, \tau_{1,2\max}, \tau_{xy}$ для каждой из 10 розеток тензорезисторов, которые вносятся в табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5 . 2

Таблица экспериментальных значений местных напряжений

№ п/п	Местные напряжения, МПа	Номера розеток									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	σ_1										
2	σ_2										
3	σ_x										
4	σ_y										
5	$\tau_{1,2\max}$										
6	τ_{xy}										

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зарисовать схему наклейки розеток тензорезисторов с указанием их местоположения и номера.
2. Составить форму табл. 5.1 для записи и обработки экспериментальных данных для 10 розеток.
3. Включить АИД и снять нулевые отсчёты по всем тензодатчикам, записывая их в табл. 5.1 в строку “Отсчёт”.
4. Загрузить балку вертикальной сосредоточенной нагрузкой и снять отсчёты с АИД по всем тензодатчикам.
5. Разгрузить балку и вновь снять отсчёты.
6. Вычислить значения относительных деформаций по каждому тензодатчику как разность отсчётов при нагрузке и нулевом нагружении.

Примечания:

1. При нулевой нагрузке деформации равны нулю.
2. При разгрузке балки могут появиться остаточные деформации.
7. По значениям относительных деформаций $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_{45^\circ}$ вычислить экспериментальные значения местных напряжений по формулам (1) для каждой розетки на персональной ЭВМ по программе “OPR STB” и записать их в табл. 5.2.
8. По вычисленным значениям построить графики местных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_x, \sigma_y, \tau_{1,2\max}, \tau_{xy}$ в стенке балки.
9. Произвести анализ полученных графиков.
10. Получить теоретические местные напряжения в стенке балки (п.7) и сравнить их с экспериментальными.
11. Произвести испытания балки аналогично описанной выше схеме при описании балки на всю поверхность нижнего пояса (2 вариант).
12. Произвести сравнение напряжённого состояния стенки балки для 1-го и 2-го вариантов опирания и объяснить причины отличия в напряжённом состоянии.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ МЕСТНЫХ НАПЯЖЕНИЙ В СТЕНКЕ БАЛКИ

В стенке балки под действием сосредоточенной нагрузки возникают главные напряжения от общего изгиба:

нормальные

$$\sigma_x = \frac{M_x}{J_x} y;$$

касательные

$$\tau_{xy} = \frac{Q_x \cdot S}{J_x \cdot t_\omega}.$$

Кроме главных напряжений σ_x и τ_{xy} в стенке балки возникают дополнительные местные напряжения, определяемые по СНиП II-23-81* [5]:

максимальные местные напряжения

$$\sigma_{loc,y} = \frac{P}{t_\omega \cdot \ell_{ef}};$$

местные напряжения от распорного воздействия сосредоточенной силы

$$\sigma_{loc,x} = 0,25 \cdot \sigma_{loc,y};$$

местные касательные напряжения от сосредоточенной силы

$$\tau_{loc,xy} = 0,3 \cdot \sigma_{loc,y};$$

напряжение изгиба от местного изгиба стенки

$$\sigma_{f,xy} = \frac{2 \cdot M_t \cdot t_\omega}{J_f};$$

местные касательные напряжения изгиба стенки

$$\tau_{f,xy} = 0,25 \cdot \sigma_{f,xy}.$$

Здесь $\ell_{ef} = c \sqrt[3]{J_{1f} / t_\omega}$ – условная длина распределения местных напряжений (см. рис. 5.1),

где c – коэффициент, учитывающий степень податливости сопряжения пояса и балки ($c=3,25$ – для сварных балок),

$J_{1f} = J_p + J_n = \frac{h \cdot p^4}{12} + \frac{b_f \cdot t_f^3}{12}$ – сумма собственных моментов инерции рельса и пояса;

$J_f = J_{p(кр)} + J_{n(кр)} = 0.1404 \cdot h \cdot p^4 + \frac{(n-0.63)t_\omega^3}{3}$ – сумма собственных моментов кручения рельса и пояса,

здесь $n = \frac{b_f}{t_\omega}$;

P – сосредоточенная сила;

$M_t = P \cdot \ell$ – местный крутящий момент;

ℓ – условный эксцентриситет, принимаемый по СНиП [5] и равный 15 мм;

b_f, t_f – ширина и толщина пояса балки (рис.5.3);

h_p – высота рельса;

$t_{ш}$ – толщина стенки.

Геометрические характеристики сечения балки (I №27)

$J_x = 5010 \text{ см}^4$, $W_x = 371 \text{ см}^3$, $S_x = 210 \text{ см}^3$, $A = 40,2 \text{ см}$.

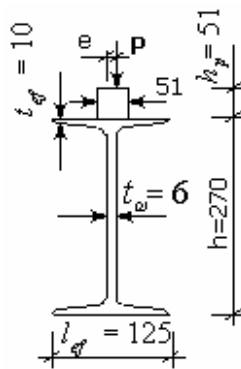


Рис. 5.3. Сечение балки

Стенку балки следует проверить на совместное действие нормальных касательных и местных напряжений на уровне верхних поясных швов (см. рис. 5.1) по формуле

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_{loc,y}^2 - \sigma_x \sigma_{loc,y} + 3\tau_{xy}^2} \leq \beta R_y,$$

где R_y – расчётное сопротивление (для стали ВСтЗсп (С 235) $R_y = 230$ МПа);

β – коэффициент, зависящий от вида балки, равный 1,15.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЯННОЙ ТРЕХШАРНИРНОЙ АРКИ

Цель работы – изучить характер работы клеедосчатой арки под нагрузкой; определить расчетной нагрузки P^r , при которой клееная арка достигает предельного состояния; установить характер распределения нормальных напряжений по высоте поперечного сечения арки при действии нагрузки P^r и сравнить его с результатами теоретических расчетов; измерить прогибы в отдельных точках по длине арки, фиксирование характера изменения ее упругой линии при различных величинах нагрузки P ; выявить характер распределения краевых нормальных напряжений по длине арки при действии нагрузки P^r и сравнить его с результатами теоретических расчетов.

1. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ

1.1. Размеры и схема исследуемой конструкции

Испытания проводят на модели клеедосчатой арки стрельчатого очертания. Поперечное сечение арки – прямоугольное с размерами $b \times h = 34 \times 64$ мм. Арка склеена из четырех сосновых брусков сечением 16×34 мм. Влажность древесины брусков не превышает 15 %.

Очертание полуарки (рис. 6.1) – круговое. Радиус кривизны $R=4108$ мм. Отношение радиуса кривизны к толщине склеиваемых брусков

$$\frac{R}{\delta} = \frac{4108}{16} \approx 257.$$

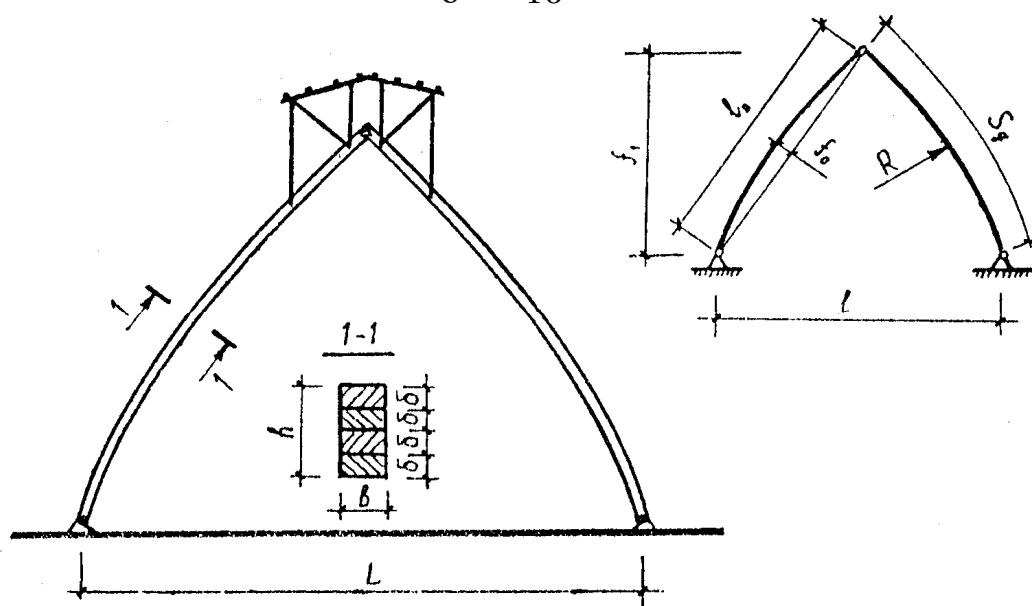


Рис. 6.1. Общий вид и геометрическая схема арки

Размеры арки согласно результатам натурного обмера составляют:
 ширина сечения $b=34$ мм;
 высота сечения $h=64$ мм;
 толщина брусков $\delta=16$ мм;
 пролет $L=2530$ мм;
 расчетный пролет $l=2530$ мм;
 высота $f_1=1800$ мм.

Геометрические характеристики ее поперечного сечения:
 площадь

$$A = bh = 3,4 \cdot 6,4 = 21,76 \text{ см}^2;$$

момент сопротивления

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{3,4 \cdot 6,4^2}{6} = 23,21 \text{ см}^3;$$

момент инерции

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{3,4 \cdot 6,4^3}{12} = 74,27 \text{ см}^4.$$

Статический момент инерции полусечения арки

$$S = \frac{bh^2}{8} = \frac{3,4 \cdot 6,4^2}{8} = 17,41 \text{ см}^3.$$

Параметры полуарки составляют:

длина хорды

$$l_0 = \sqrt{f_1^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} = \sqrt{180^2 + \left(\frac{253}{2}\right)^2} = 220 \text{ см};$$

длина дуги

$$S_d = \sqrt{l_0^2 + \frac{16}{3} f_0^2} = \sqrt{220^2 + \frac{16}{3} \cdot 15^2} = 222,70 \text{ см};$$

радиус кривизны оси

$$r = \frac{l_0^2}{8f_0} + \frac{f_0}{2} = \frac{220^2}{8 \cdot 15} + \frac{15}{2} = 410,80 \text{ см};$$

расчетная длина

$$l = S_d = 222,7 \text{ см};$$

стрела подъема

$$f_0 = 150 \text{ мм}.$$

1.2. Схемы нагружения арки и расстановки приборов

Испытания арки производят на специальной раме, способной воспринять распор этой арки (рис. 6.2). Нагружение ее осуществляют с

помощью натяжной муфты, снабженной силоизмерителем (динамометром) с ценой деления 50 кгс.

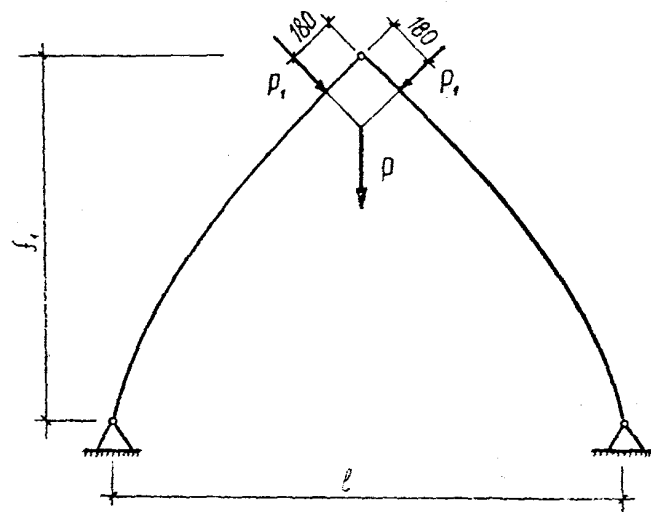


Рис. 6.2. Схема нагружения арки

В процессе испытаний измеряют прогибы арки по ее длине в отдельных точках, для чего используют прогибомеры типа 6 ПАО с ценой деления 0,01 мм.

Для измерения же деформаций в краевых волокнах и по высоте сечения арки применяют тензодатчики с базой $B=20$ мм и автоматический измеритель деформаций типа АИД-2М.

Прогибомеры и тензодатчики (рис. 6.3) ставят по длине арки в симметричных точках относительно ключевого шарнира.

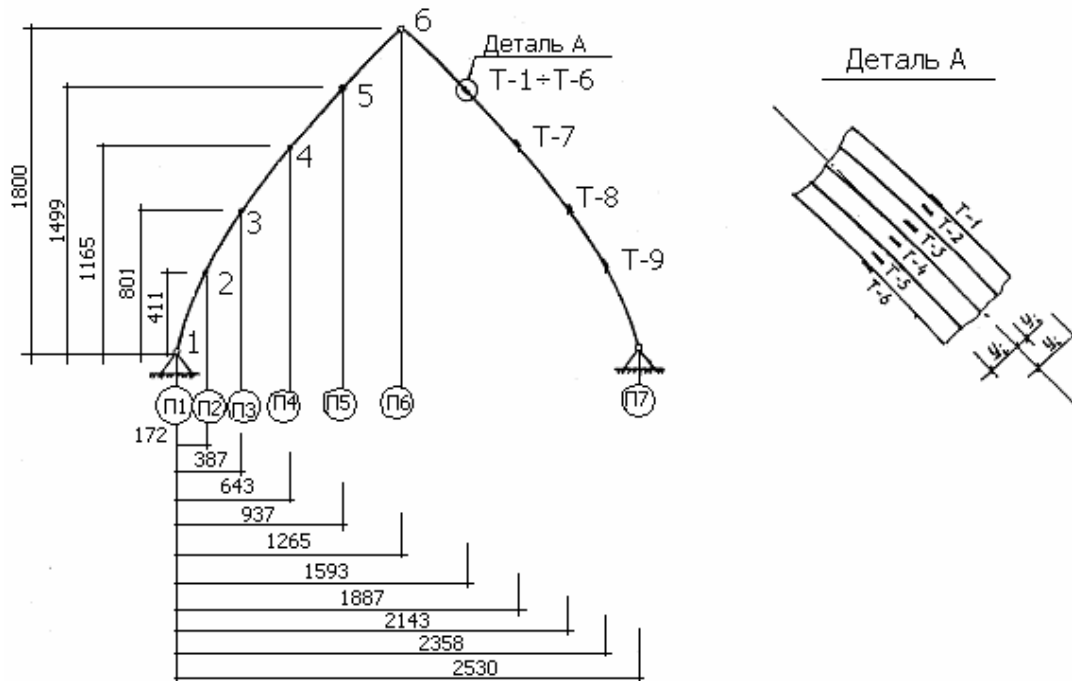


Рис. 6.3. Схема расстановки приборов при нагружении арки:
П – прогибомеры; Т – тензодатчики

2.МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1. Теоретическая часть

Перед началом работы делают необходимые теоретические расчеты. Результаты статического расчета арки на действие единичной нагрузки ($P=1$) приведены в табл. 6.1.

Т а б л и ц а 6 . 1

Номер точки	ПАРАМЕТРЫ						
	координаты, м		усилия			деформации, см	
	X	Y	изгибающий момент M, кН·м	поперечная сила Q, кН	продольная сила N, кН	ΔX	ΔY
1	0,000	0,000	0,000	-0,097	-0,565	0,000	0,000
2	0,172	0,411	-0,029	-0,035	-0,572	-0,001	0,000
3	0,387	0,801	-0,031	0,027	-0,573	-0,001	0,000
4	0,643	1,165	-0,005	0,089	-0,566	0,000	0,000
5	0,937	1,499	0,048	0,150	-0,553	0,000	0,000
6	1,265	1,800	0,000	0,495	-0,603	0,000	0,000
7	1,593	1,499	0,048	0,150	-0,553	0,000	0,000
8	1,887	1,163	-0,005	0,089	-0,566	0,000	0,000
9	2,143	0,801	-0,031	0,027	-0,573	0,001	0,000
10	2,358	0,411	-0,029	-0,035	-0,572	0,001	0,000
11	2,530	0,000	0,000	-0,097	-0,565	0,000	0,000

В сечении с максимальным изгибающим моментом, то есть в точке 5 (см. рис. 6.3), подсчитывают наибольшую величину напряжения в долях нагрузки P . Усилия в этой точке

$$M_5=0,048 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$N_5=0.533 \text{ кН}.$$

Гибкость арки в ее плоскости

$$\lambda = \frac{l_0}{0,289 \cdot h} = \frac{S_d}{0,289 \cdot h} = \frac{222,70}{0,289 \cdot 6.4} = 120,4,$$

где S_d – длина дуги полуарки ($S_d=222,70$ см).

Коэффициент, учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента:

$$\xi = 1 - \frac{\lambda^2}{3000} \cdot \frac{N_6}{A \cdot R_c} = 1 - \frac{120.4^2}{3000} \cdot \frac{0.603 \cdot 10^2}{21.76 \cdot 130} \approx 0.897,$$

где N_6 – продольная сила в коньковом узле арки ($N_6=0,603$ кН).

Максимальные (краевые) сжимающие напряжения в точке 5:

$$\sigma_5 = \frac{N_5}{A} + \frac{M_5}{\xi \cdot W} = \frac{0,533 \cdot 10}{21,76} + \frac{0,048 \cdot 10^3}{0,897 \cdot 23,21} \approx 2,6 \text{ МПа.}$$

Таким образом, при действии на арку силы $P=1$ кН (или двух сил $P_1=0,71$ кН под углом 45°) (см. рис. 6.2) максимальные нормальные напряжения в арке составляют $\sigma=2,6$ МПа. С учетом того, что расчетное сопротивление древесины $R=13$ МПа [1], получают максимальное значение длительно действующей нагрузки на арку $P^r=5$ кН (500 кгс). Эту нагрузку принимают за расчетную.

В сечениях, где поставлены датчики и прогибомеры, подсчитывают значения M и N при нагрузке $P^r=5$ кН. По полученным данным строят эпюры M и N в арке (рис. 6.4).

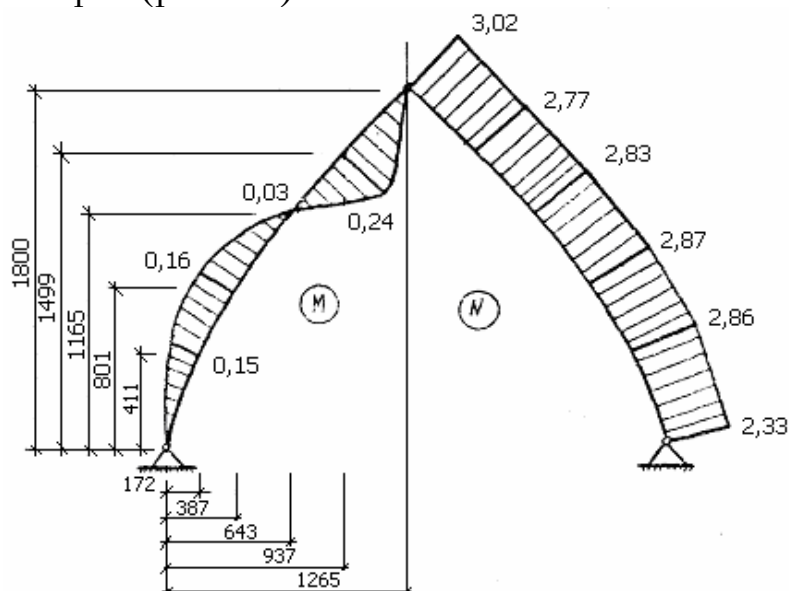


Рис. 6.4. Эпюры M и N в арке при нагрузке $P^r = 5$ кН

Теоретические значения нормальных напряжений по высоте сечения в точках, где поставлены датчики (см. рис. 6.3), при действии нагрузки определяют по формуле

$$\sigma_i = -\frac{N}{A} \pm \frac{M}{\xi \cdot I} \cdot y_i,$$

где y_i – расстояние от нейтральной оси до центров точек расположения датчиков (см. рис. 6.3), а теоретические значения краевых (максимальных) напряжений по длине арки в точках, где поставлены датчики (см.рис. 6.3) – по формуле

$$\sigma_i = -\frac{N_n}{A} \pm \frac{M_n}{\xi \cdot W},$$

где n – номер сечения арки ($n= 1, 2, 3, \dots$).

2.2 Экспериментальная часть

2.2.1. Порядок проведения эксперимента

До начала испытаний арку устанавливают на металлическую раму с шарнирно-неподвижными опорными узлами. С целью выполнения нагружения этой арки к ее коньковому узлу навешивают приспособление, снабженное натяжной муфтой и динамометром. Для более же полного и правильного включения всех приборов в работу и исключения смятий арки в местах приложения сосредоточенных сил, а также опорных реакций нагружение ее осуществляется два раза. Первое нагружение такой арки производят от нулевой нагрузки до нагрузки, равной P^r (при этом снимают отсчеты по приборам до и после нагружения), второе же нагружение осуществляют поэтапно. На каждом из этих этапов величину нагрузки принимают равной $\approx 0,2 P^r$, по приборам снимают отсчеты и записывают их в журналы для записи испытаний (табл. 6.2, 6.3).

2.2.2. Обработка результатов испытаний

Перед началом обработки результатов испытаний производят вычисление (см. табл. 6.2, 6.3) приращений отсчетов приборов ΔC и суммы этих приращений $\Sigma \Delta C$.

Для перевода полученных результатов вычислений по отсчетам прогибомеров в линейные размеры их умножают на цену деления прогибомеров (то есть на $K_{\text{п}}=0,01$ мм).

Относительные деформации арки в точках постановки тензодатчиков подсчитывают по формуле

$$\varepsilon_i = \Sigma \Delta K_T,$$

где K_T – цена деления прибора АИД ($K_T=10^{-5}$).

Для перехода от относительных деформаций к напряжениям их умножают на модуль упругости древесины, принятый равным 10^4 МПа:

$$\sigma_i = \varepsilon_i \cdot E.$$

2.2.3. Анализ результатов испытаний

Зная экспериментальные величины абсолютных перемещений деформаций и напряжений в арке, строят графики их распределения (рис. 6.5, 6.6).

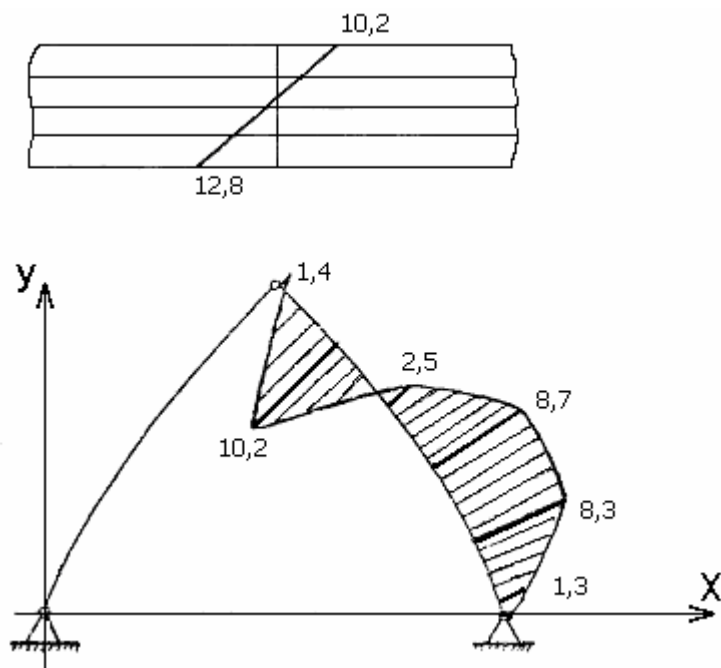


Рис. 6.5. Графики распределения нормальных напряжений арки:
 а – по высоте сечения; б – по длине (для крайних сжимающих напряжений)

Для сравнения теоретических и экспериментальных величин на полученные графики (см. рис. 6.5, 6.6) наносят теоретические значения соответствующих величин (желательно цветными линиями).

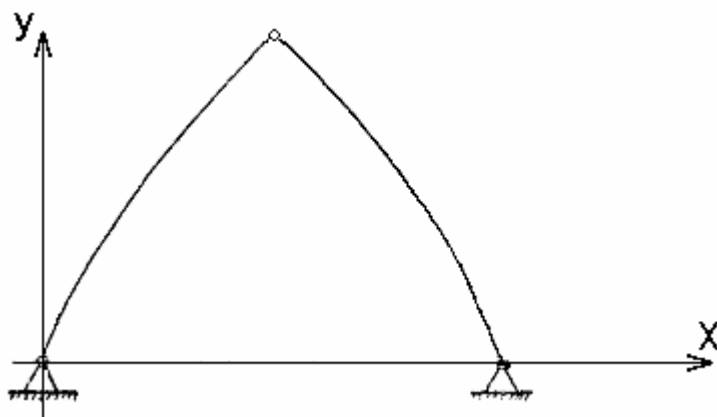


Рис. 6.6. График характера изменений упругой линии арки

3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

На основе анализа результатов испытаний делают вывод о характере работы сжато изогнутого элемента арки; степени совпадений экспериментальных и теоретических значений деформаций, напряжений и перемещений, а также достаточной точности методов расчета.

Таблица 6.2

ЖУРНАЛ
ДЛЯ ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОГИБОВ АРКИ

Номер этапа	Прогибомеры																					
	П 1			П 2			П 3			П 4			П 5			П 6			П 7			
	C_1	ΔC_1	$\sum \Delta C_1$	C_2	ΔC_2	$\sum \Delta C_2$	C_3	ΔC_3	$\sum \Delta C_3$	C_4	ΔC_4	$\sum \Delta C_4$	C_5	ΔC_5	$\sum \Delta C_5$	C_6	ΔC_6	$\sum \Delta C_6$	C_7	ΔC_7	$\sum \Delta C_7$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
0	0 000																					
1																						
2																						
3																						

Таблица 6.3

ЖУРНАЛ
ДЛЯ ЗАПИСИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ДЕФОРМАЦИЙ АРКИ

		Тензометры																										
Номер этапа	Нагрузка P, кгс	Т-1			Т-2			Т-3			Т-4			Т-5			Т-6			Т-7			Т-8			Т-9		
		O_1	ΔO_1	ΣO_1	O_2	ΔO_2	$\Sigma \Delta O_2$	O_3	ΔO_3	ΣO_3	O_4	ΔO_4	ΣO_4	O_5	ΔO_5	ΣO_5	O_6	ΔO_6	ΣO_6	O_7	ΔO_7	ΣO_7	O_8	ΔO_8	ΣO_8	O_9	ΔO_9	ΣO_9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
0	000																											
1																												
2																												
3																												

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ МЕТОДОМ УПРУГОГО ОТСКОКА

1. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Прочность бетона в строительных конструкциях определяют в соответствии с ГОСТ 22690–88 [1] механическими методами неразрушающего контроля, основанными на предварительно установленных градуированных зависимостях между прочностью бетонных образцов и косвенными физическими характеристиками прочности.

В зависимости от применяемого метода косвенными характеристиками прочности являются:

- значение отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника);
- параметр ударного импульса (энергия удара);
- размеры отпечатка на бетоне (диаметр, глубина и т.п.);
- значение напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска и равного усилию отрыва, делённому на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска;
- значение усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции;
- значение усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства.

Упомянутые методы механического контроля применяются для определения прочности бетона всех видов нормируемой прочности, контролируемых по ГОСТ 18105–2010, а также для определения прочности бетона при проведении обследования строительных конструкций и обработке при контроле качества.

Для данной лабораторной работы по определению прочности бетона рекомендуется метод упругого отскока. Предельные значения прочности бетона, определяемые по этому методу, равны

$$5 \leq R_n \leq 50,$$

где R_n – прочность бетона на сжатие.

2. ПРИМЕНЯЕМЫЙ ИСТРУМЕНТ

Приборы для определения прочности бетона по косвенным характеристикам, должны пройти метрологическую аттестацию по ГОСТ Р 8.568-97* и отвечать следующим требованиям:

1. Твёрдость ударника, бойка или индентора HRC_{Σ} , не менее 51.
2. Шероховатость контактной части ударника или индентора, не более 10.
3. Диаметр ударника или индентора, мм, не менее 10.
4. Допуск перпендикулярности при приложении нагрузки на высоте 100 мм составляет 4 мм.
5. Энергия удара, Дж, не менее 0,7.

Всем этим требованиям отвечает используемый при проведении лабораторной работы склерометр СД-І, выпускаемый НПО «Дальстандарт» (г. Хабаровск). Прибор предназначен для определения прочности бетона на сжатие в диапазоне 5–40 МПа в бетонных и железобетонных конструкциях методом упругого отскока по ГОСТ 22690–88.

3. УСТАНОВЛЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ «КОСВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА – ПРОЧНОСТЬ»

Для определения прочности бетона в конструкциях предварительно устанавливают градуировочную зависимость между прочностью бетона на сжатие и высотой отскока бойка склерометра от поверхности бетонной конструкции. Установка градуировочной зависимости осуществляется путём параллельных испытаний контрольных кубов бетона склерометром и в прессе по ГОСТ 10180–78.

Для установления градуировочных зависимостей используют не менее 15 серий образцов кубов или не менее 30 отдельных образцов кубов. Образцы изготавливают по ГОСТ 10180–78 в разные смены в течение не менее 5 суток из бетона одного состава при той же технологии и при том же режиме тепловлажностной обработки или тех же условиях твердения, что и конструкции, подлежащие контролю.

Размеры образцов для установления градуировочной зависимости в соответствии с ГОСТ 10189–78 должны быть не менее 100×100×100 мм.

В порядке подготовки к данной лабораторной работе изготавливается 30 образцов-кубов размерами 150×150×150 мм, которые затем испытываются.

Методика установления градуировочной зависимости и оценка её погрешности принимаются в соответствии с ГОСТ 22690-88 (см. приложение 7 ГОСТ 22690–88).

Уравнение зависимости «косвенная характеристика-прочность» принималось линейным:

$$R = a_0 + a_1 \cdot H,$$

где R – прочность бетона на сжатие, МПа;

H – косвенная характеристика (отсчёт по шкале прибора).

Коэффициенты a_0 и a_1 рассчитывались по формулам ГОСТ 22690–88 с учётом требований сейсмической обработки результатов испытаний.

Уравнение градуировочной зависимости для бетона конструкций, применяемых в лабораторной работе, выглядит следующим образом:

$$R_H = 3,664 + 0,632 \cdot H.$$

Эта же зависимость может быть представлена графиком (рис. 7.1).

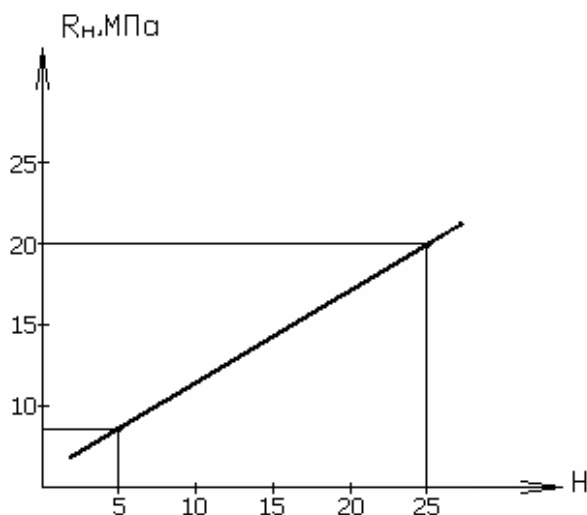


Рис. 7.1. График градуировочной зависимости

4. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

Испытания проводят на участке конструкции площадью от 100 до 600 см².

При проведении испытаний необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. Число испытаний на участке должно быть не менее 5.
2. Расстояние между местами испытаний – 30 мм.
3. Расстояние от края конструкции до места испытания – 50 мм.
4. Толщина конструкции – 100 мм.
5. Расстояние от места проведения испытания до арматуры должно быть не менее 50 мм.

Для проведения испытаний используют железобетонные балочки, отвечающие тем же требованиям, что и кубы-образцы, используемые для построения градуировочной зависимости.

Испытания проводят в следующей последовательности:

– Прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

– Положение прибора при испытании конструкции относительно горизонтали принимают таким же, как при испытании образцов для установления градуировочной зависимости; при другом положении необходимо вносить поправку на показания в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

– Значение косвенной характеристики фиксируют в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

– Среднее значение косвенной характеристики вычисляют на участке конструкции.

Все результаты испытаний заносят в журнал испытаний, форма которого приведена ниже (см. разд. 5).

5. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Все результаты испытания конструкций склерометром СД-I заносятся в журнал испытаний по следующей форме.

После проведения испытаний и оформления результатов испытаний делается вывод о классе прочности на сжатие материала испытанной строительной конструкции.

Журнал определения прочности бетона в конструкции

1. Объект испытания _____
2. Дата испытания _____
3. Наименование конструкции (для сборных конструкций – марка, серия рабочих чертежей) _____

4. Вид бетона и его проектная прочность _____

5. Метод испытания, прибор, параметры испытаний _____

6. Результаты испытаний (записываются по нижеследующей форме табл. 7.1).

Таблица 7.1

Номер конструкции	Дата изготовления	Номер участка испытания	Значения косвенной характеристики прочности бетона		Прочность бетона на сжатие	Примечание
			частные значения	средние значения для участка		

Лабораторная работа №8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ИСПЫТАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы – познакомить студентов с техникой ультразвукового контроля качества бетона, в частности, определения прочности бетона и модуля его упругости, а также определения глубины распространения трещины в бетоне. Кроме того, дает возможность изучить аппаратуру и методику ультразвукового контроля сварных соединений в соответствии с действующими стандартами и нормами.

1. ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОНА

Импульсный ультразвуковой метод при исследовании бетона нашел самое широкое применение. Он особенно удобен в условиях заводского производства различного рода изделий и деталей. Так, в процессе тепловлажностной обработки можно вести непрерывный контроль нарастания прочности бетона по скорости ультразвука. Импульсный метод позволяет дополнить выборочный контроль качества бетона по результатам испытания образцов массовой проверкой выпускаемой продукции. Испытания импульсным методом могут быть повторены сколько угодно раз на одних и тех же изделиях (образцах) без разрушения или повреждения последних и не требуют их специальной подготовки. Импульсный ультразвуковой метод позволяет определять ряд физических характеристик бетона: прочность на сжатие $R_{сж}$, динамический модуль упругости E_g , структурные изменения бетона, глубину поверхностных трещин.

1.1. Определение прочности бетона

Ультразвуковым методом по СТО 36554501-009-2007 находят прочность тяжелых бетонов и бетонов на пористых заполнителях, а также ячеистых и плотных силикатных бетонов. Испытание состоит в измерении времени распространения ультразвука и базы прозвучивания. По измеренным величинам рассчитывают v , а затем по зависимости « $v-R_{сж}$ » – определяют прочность бетона. Основные характеристики ультразвуковых импульсных приборов, используемых для прозвучивания бетона, приведены в табл. 8.1.

Ультразвуковые импульсные приборы для испытания бетонов.
Основные характеристики

Тип прибора	Характеристика приборов				
	Диапазон измерения времени, МКС	База, прозвучивания, мм	Источники питания	Масса, кг	Завод изготовитель
"Бетон-5"	0-399,8	100-1500	Сеть перемен, тока, аккумулятор	8	Опытный завод ВНИИЖелезобетона
УКБ-1 (УКБ-1м)	0-5500	100-1500	Сеть перемен, тока	16	
УФ-90Щ	15-999	100-1000	—«—	6,5	
УК-16П	10-999	100-1000	—«—	6	Завод "Электроточприбор"
УК-12П	0-999	100-1000	—«—	4	
Бетон-8-УБЦ	0,5-999,9	100-1500	—«—	6	Опытный завод ВНИИЖелезобетон

Поверхность бетона, на которой устанавливают щупы (ультразвуковые преобразователи), не должна иметь наплывов и вмятин, а также раковин и воздушных пор глубиной более 3 мм и диаметром более 6 мм. Для обеспечения надежного акустического контакта между бетоном и рабочей поверхностью щупов применяют вязкие контактные среды (смазки) или эластичные прокладки. При испытаниях конструкций и образцов, применяемых для построения зависимости « $v-R_{сж}$ », должна использоваться одинаковая контактная смазка. Измерение базы прозвучивания производят с погрешностью не более $\pm 0,5\%$. При испытании кубов прозвучивание ведут в направлении, перпендикулярном укладке бетонной смеси в форму. Определение производится в кубах на трех уровнях по высоте, при этом разброс не должен превышать 5 %.

Время t распространения ультразвука может измеряться как способом сквозного, так и поверхностного прозвучивания. Для первого способа $R_{сж}$ определяют по предварительно полученной градуировочной зависимости « $v-R_{сж}$ »; для второго способа – по зависимости « $t-R_{сж}$ ». Значение v , в м/с вычисляют по формуле:

$$v = 10^3 l/t,$$

где l – база прозвучивания, в мм.

При применении метода поверхностного прозвучивания щупы устанавливаются по одной плоскости изделия на постоянной базе ($l = 100 - 400$ мм). При сквозном прозвучивании щупы могут располагаться соосно или по диагонали (см. рис. 8.1).

Измерение способом поверхностного прозвучивания применяют в тех случаях, когда имеется односторонний доступ к конструкции (изделию).

Для построения градуировочных зависимостей « $v-R_{сж}$ » и « $t-R_{сж}$ » изготавливают не менее 15 серий образцов по ГОСТ10180-78. Изменения прочности в образцах достигают за счет изменения расхода цемента и в/ц отношения. Возраст исследуемой конструкции не должен отличаться от возраста образцов, испытанных для построения градуировочных зависимостей более чем на 50 %.

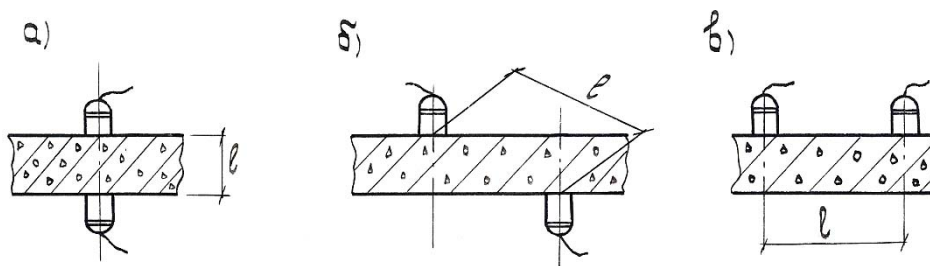


Рис. 8.1. Схемы способов прозвучивания бетона:
а – соосный; б – диагональный; в – поверхностный

Для зависимости « $v-R_{сж}$ » размер кубов должен быть не менее $10 \times 10 \times 10$ см; для « $t-R_{сж}$ » – не менее $15 \times 15 \times 15$ см или $10 \times 10 \times 30$ см.

Следует помнить, что на зависимость « $v-R_{сж}$ » по-разному влияют многие технологические факторы: тип и состав крупного заполнителя, расход цемента, вид тепловой обработки, марка цемента, его минералогический состав, тонкость помола и содержание минеральных добавок и т.п.

Во всех этих случаях достоверность полученных зависимостей необходимо проверять в соответствии с СТО 36554501-009-2007. При выполнении лабораторной работы по оценке прочности бетона ультразвуковым методом рекомендуется пользоваться зависимостью « $v-R_{сж}$ » приведенной на рис.8.2.

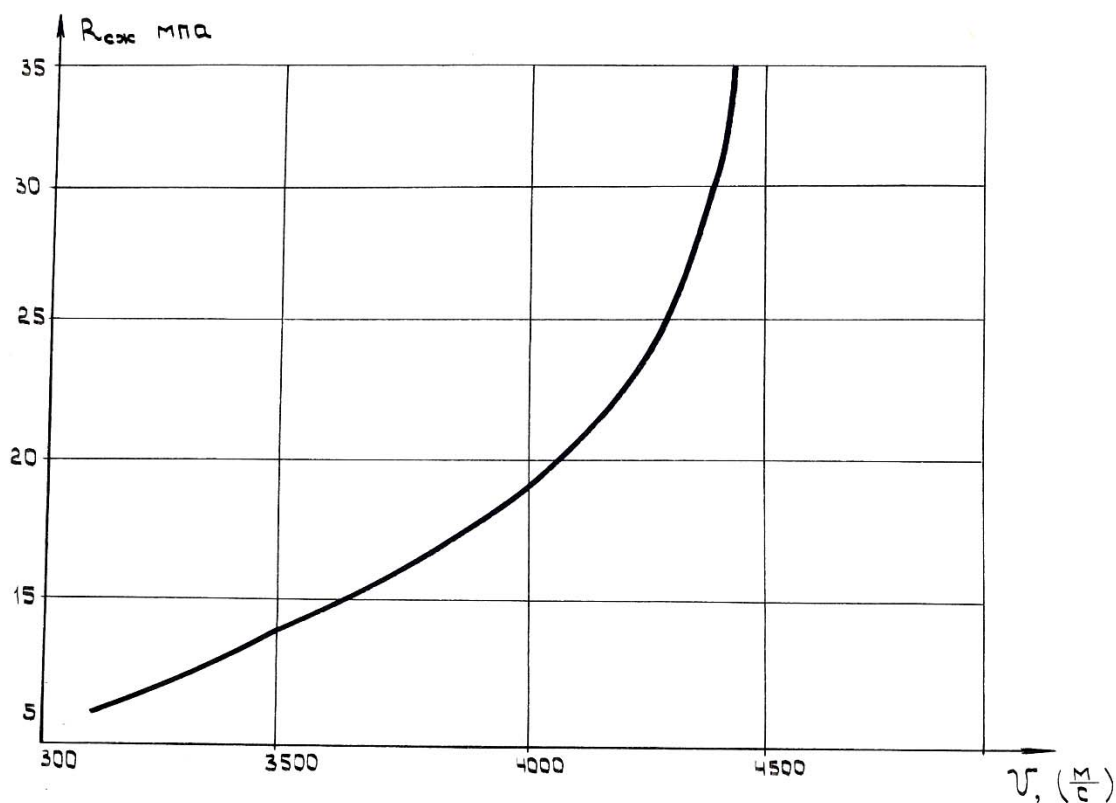


Рис. 8.2. Зависимость прочности бетона при сжатии $R_{сж}$ от скорости ультразвука v

П р и м е ч а н и е . Зависимостью можно пользоваться при исследовании бетонов на портландцементе, сурском песке, гранитном щебне, прошедших тепловлажностную обработку, возраста до 10 лет. Выполнение указанных требований обеспечивает оценку прочности бетона конструкций с погрешностью не более 15 %.

1.2. Определение динамического модуля упругости бетона

Данные о скорости прохождения через бетон продольных ультразвуковых волн позволяют определить динамический модуль упругости бетона, н/см², по формуле

$$E_d = \frac{\gamma \cdot v^2}{K \cdot 981 \cdot 10^2},$$

где v – скорость продольных ультразвуковых волн, см/с;

γ – объемная масса бетона, г/см³;

K – эмпирический коэффициент, определяемый для массивного бетона по формуле

$$K = \frac{1 - \mu_d}{(1 + \mu_d)(1 - 2\mu_{ст})};$$

где $\mu_{ст}$ – коэффициент Пуассона, статический;

μ_d – коэффициент Пуассона, динамический, находится по табл. 8.2.

Т а б л и ц а 8 . 2

Возраст бетона, сут.	μ_d для бетона	
	пропаренного	нормального твердения
до 7 сут	0,25	0,3
от 7 до 20	0,23	0,26
от 20 до 28	0,20	0,23
более 28	0,2	0,2

1.3. Определение глубины трещин в бетоне

Метод измерения глубины трещин по снижению скорости ультразвука основан на почти полном отражении импульсов от трещины, наполненной воздухом; таким образом, первым импульсом, прошедшим в звукоприемник, является импульс, который дифрагировал у дна трещины. Способ расположения щупов показан на рис. 8.3.

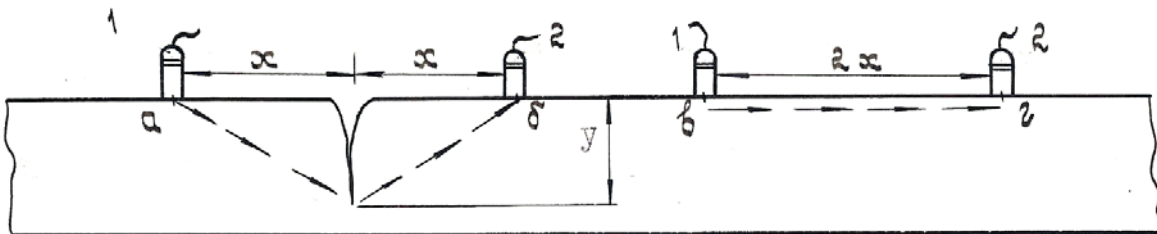


Рис. 8.3. Определение глубины трещины в бетоне способом поверхностного прозвучивания:

1 – звукоизлучающий щуп; 2 – звукоприемный щуп; Y – глубина трещины

Если щупы находятся на равных расстояниях x от середины трещины (участок а-б), то можно определить время (мкс), затраченное на то, чтобы дифрагирующий импульс обошел вокруг дна трещины, по формуле

$$t_1 = \sqrt{\frac{4x^2 + 4y^2}{v^2}}.$$

Время распространения импульса вдоль поверхности неповрежденного бетона того же состава (участок в-г) принимают за t_0 , тогда

$$t_0 = \frac{t_1^2}{t_0^2} = 1 + \frac{y^2}{x^2}.$$

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что глубину трещины можно определить из выражения

$$y = \frac{v_0}{2} \sqrt{t_1^2 - t_0^2};$$

где $v_0 = \frac{2x}{t_0} \left(\frac{\text{см}}{\text{мкс}} \right);$

t_1 – время распространения импульса на участке с трещиной, мкс;

t_0 – то же, на участке без трещины, мкс;

$2x$ – акустическая база, т.е. расстояние между щупами, см.

1.4. Определение структурных изменений бетона при его нагружении

Если бетонный элемент, испытывающий воздействие осевой сжимающей нагрузки, прозвучивать ультразвуком в направлении, перпендикулярном действию силы, то можно заметить, что скорость ультразвука изменяется в зависимости от интенсивности нагрузки. В начале загрузки за счет обжатия бетона скорость ультразвука обычно возрастает. По мере того, как увеличивается трещинообразование в бетоне, прирост скорости ультразвука уменьшается, а затем его скорость начинает падать. Структурные изменения бетона принято характеризовать нижней границей трещинообразования R_t^0 , которой соответствует v_{\max} . Методика эксперимента сводится к следующему.

Образец с закрепленными на нем щупами становится на нижнюю подушку пресса и центрируется по геометрической оси (рис. 8.4).

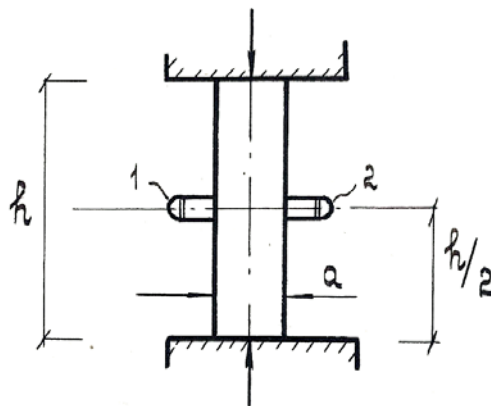


Рис. 8.4. Схема испытания образца при его одноосном сжатии:
1 и 2 – ультразвуковые щупы

Непосредственно перед загрузкой образца определяется время прохождения через него ультразвуковых импульсов (нулевой отсчет). Нагрузка осуществляется ступенями, примерно равными $0,1R_{пр}$.

На каждой ступени делается кратковременная выдержка для снятия отсчета по ультразвуковому прибору. Данные о времени прохождения ультразвука через образец на каждой ступени нагружения записываются в журнал испытания (табл. 8.3). По результатам эксперимента строится зависимость: напряжение-приращение скорости ультразвука « $\sigma_{сж}-v$ » (рис. 8.5.)

Таблица 8.3

Журнал испытания

Номер этапа	Нагрузка $P, Н$	Напряжение $\sigma = \frac{P}{F},$ Н/см ²	Время прохожде- ния ультра- звука t	Скорость ультразвука $v = \frac{a}{t},$ см/ мкс	Примечание

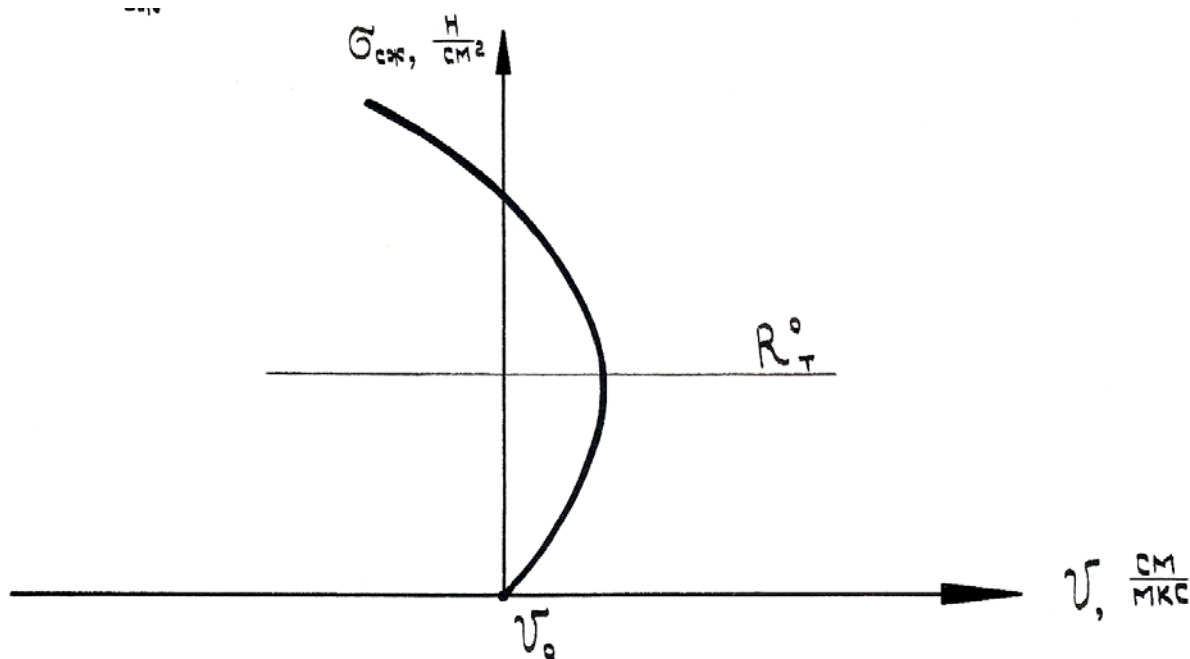


Рис. 8.5. Зависимость скорости ультразвука от напряжений сжатия бетона

По характеру кривой « $\sigma_{сж}$ - v » делается вывод о характере структурных изменений нагруженного бетона и определяется положение нижней параметрической точки микротрещинообразования R_t^0 .

2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Для выявления дефектов в швах сварных соединений применяют различные методы и средства. Наиболее распространена ультразвуковая дефектоскопия, основанная на отражении и преломлении ультразвуковых волн при переходе их из одной среды в другую. В результате ультразвуковым методом можно выявить различные дефекты в материалах: микро- и макротрещины, раковины, воздушные полости, включения инородных тел, плотность которых отличается от плотности основного материала и др.

2.1. Методы выявления дефектов ультразвуком

Метод ультразвуковой дефектоскопии металлов и других материалов впервые был разработан и практически применен в Советском Союзе в 1928-1930 гг. профессором С.Я. Соколовым.

По характеру излучения необходимо отметить:

а) метод непрерывного излучения (по такому принципу были разработаны первые дефектоскопы С.Я.Соколовым);

б) импульсный метод (через определенные малые промежутки времени посылаются короткие серии колебаний высокой частоты).

По направлению ультразвуковых волн различают два приема прозвучивания:

а) сквозное;

б) с использованием «отражения» (эхо-метод).

Наибольшего применения при ультразвуковой дефектоскопии сварных швов получил эхо-импульсный метод. При эхо-импульсном методе щуп-излучатель посылает через сварной шов импульсы ультразвуковых волн, которые при встрече с дефектом отражаются от него и улавливаются щупом-приемником. Эти импульсы фиксируются на экране электронной трубки дефектоскопа в виде пиков, свидетельствующих о наличии дефекта. Измеряя время от момента посылки импульса до приема обратного сигнала, можно определить и глубину залегания дефекта. Основное достоинство метода состоит в том, что контроль можно проводить при одностороннем доступе к сварному шву.

В настоящее время широко применяются дефектоскопы типа УЗД-7Н, УЗД-НИИМ-5, УЗД-60, УДМ-1М, ДУК-11ИМ, ДУК-13.

Дефектоскопы укомплектованы призматическими щупами-искателями с углами ввода ультразвукового луча 30, 40, 50°. В комплект приборов также входят прямые щупы, с помощью которых ультразвуковые колебания вводятся перпендикулярно поверхности контролируемого изделия.

Ультразвуковые дефектоскопы в зависимости от количества щупов и схемы их включения могут быть двухщуповые и однощуповые. В однощуповых дефектоскопах, с принципом работы которых можно ознакомиться на блок-схеме рис. 8.6, функции ввода и приема ультразвуковых колебаний выполняются одним щупом, что возможно потому, что прием отраженного сигнала происходит во время пауз между импульсами, когда никаких других сигналов, кроме отраженных на пьезоэлектрическую пластинку, не поступает. В качестве индикаторов дефектов применяются электронные трубки.

Задающий генератор, питаемый переменным током, вырабатывает электрические колебания, передаваемые на генератор импульсов и пьезоэлектрический щуп. В последнем высокочастотные колебания преобразуются в механические колебания ультразвуковой частоты и посылаются в контролируемое изделие.

В интервалах между отдельными высокочастотными импульсами пьезоэлектрический щуп при помощи электронного коммутатора подключается к приемному усилителю, который усиливает получен-

ные от щупа отраженные колебания и направляет их на экран электроннолучевой трубки. Пьезоэлектрический щуп попеременно работает как измеритель и как приемник ультразвуковых волн.

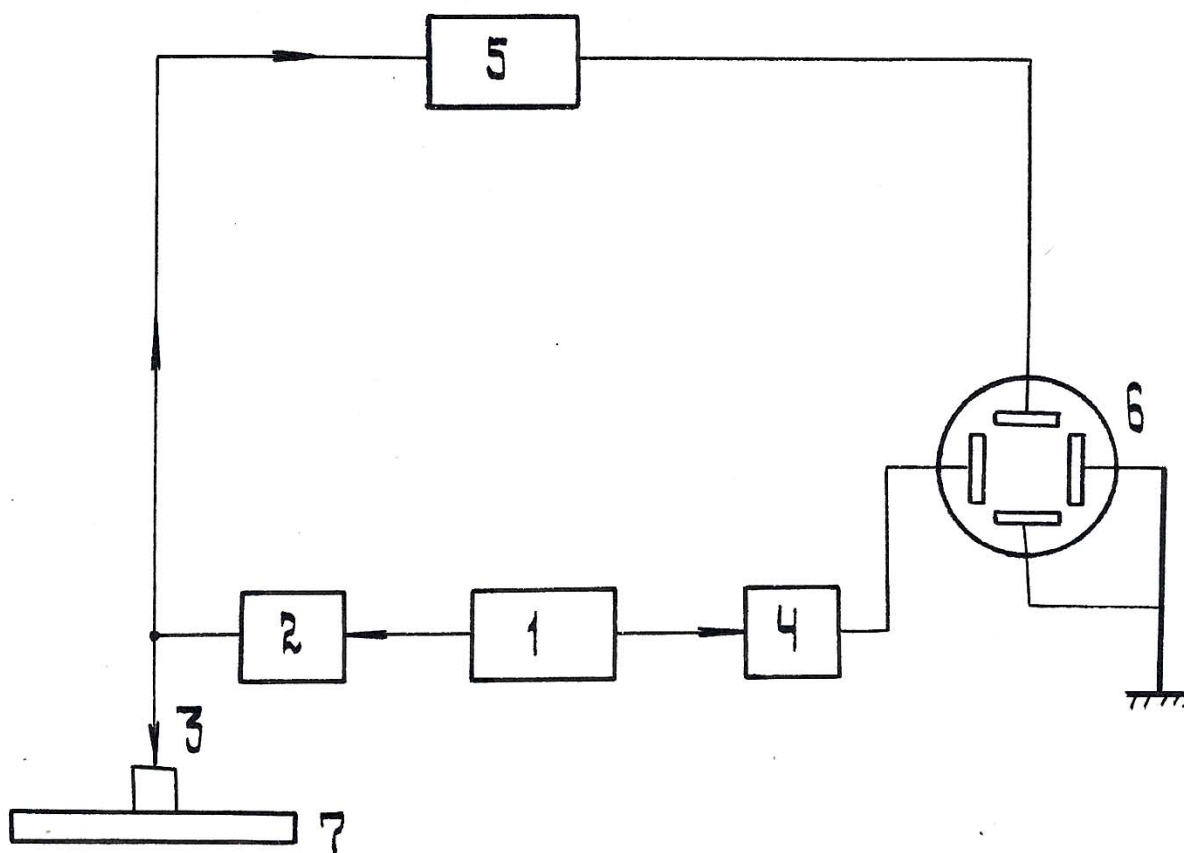


Рис. 8.6. Типовая блок-схема импульсного ультразвукового однощупового дефектоскопа:

1 – задающий генератор; 2 – генератор импульсов; 3 – пьезоэлектрический щуп; 4 – генератор развертки; 5 – приемный усилитель; 6 – электронно-лучевая трубка; 7 – контролируемое изделие

Генератор развертки обеспечивает развертку электронного луча трубки, который прочерчивает на экране трубки линию с пиком начального импульса.

При отсутствии дефекта в изделии импульс дойдет до нижней поверхности изделия, отразится от нее и возвратится в щуп. В щупе механические колебания ультразвуковой частоты снова преобразуются в высокочастотные электрические колебания, поступают в приемный усилитель и подаются на отклоняющие пластины электронной трубки. При этом на экране возникает второй пик данного импульса. Если на пути ультразвука встретится дефект, то часть волн отразится от него раньше, чем данный сигнал достигнет пьезоэлектрического щупа.

Эта часть волн усиливается приемным усилителем, подается на электронную трубку и на ее экране возникнет пик импульса от дефекта, который расположится между начальным и данным импульсами.

Благодаря синхронной работе генератора развертки луча, генератора импульсов и других устройств дефектоскопа, взаимное расположение импульсов на экране электронной трубки характеризует глубину расположения дефекта. Расположив на экране электронной трубки масштабные метки времени, можно с достаточной точностью определить глубину замеченного дефекта.

2.2. Методика ультразвукового контроля качества сварных соединений

Для контроля качества швов сварных соединений используют импульсные ультразвуковые дефектоскопы, позволяющие измерять координаты расположения отражающей поверхности. В комплект приборов должны входить стандартные образцы для измерения основных параметров контроля и приспособления для ограничения пределов перемещения искателей и уточнения координат дефектов.

Ультразвуковому контролю подвергают швы сварных соединений, форма и протяженность зоны которых позволяют перемещать искатели в пределах, обеспечивающих прозвучивание всего сечения шва акустической осью ультразвукового луча. Поверхность сварного соединения, по которой перемещают искатель, не должна иметь вмятин и неровностей, должна быть защищена от брызг металла, грязи и отслаивающейся окалины и покрыта слоем жидкой контактирующей среды. Требования к подготовке поверхности оговариваются техническими условиями.

Обычно перед началом ультразвукового контроля поверхность сварного соединения зачищают наждачной бумагой на расстоянии 50-80 мм с каждой стороны шва. Зачищенную поверхность непосредственно перед контролем тщательно протирают и наносят на нее слой контактной смазки (автол; компрессорное, трансформаторное или машинное масло). Затем проверяют правильность показаний дефектоскопа на эталонах сварных швов с заранее определенными дефектами.

Контроль стыковых соединений проводят путем поочередной установки щупа по обеим сторонам проверяемого шва.

В процессе контроля щуп-искатель плавно перемещают вдоль обеих сторон шва по зигзагообразной линии, периодически поворачивая его на 5-10° в обе стороны для выявления различно расположенных дефектов (рис. 8.7).

Прозвучивание изделия производят прямым или отраженным лучом. При толщине металла более 20 мм стыковые соединения проверяют прямым лучом (рис. 8.8).

При толщине металла менее 20 мм наплыв шва не дает возможности установить щуп так, чтобы ультразвуковой луч проходил через корень шва.

В этом случае контроль осуществляют однократно или двукратно определенными лучами (рис. 8.9). При толщине металла менее 8 мм его прозвучивают многократно отраженным лучом.

Пределы перемещения щупа поперек шва зависят от угла ввода луча и способа прозвучивания и определяются по номограммам.

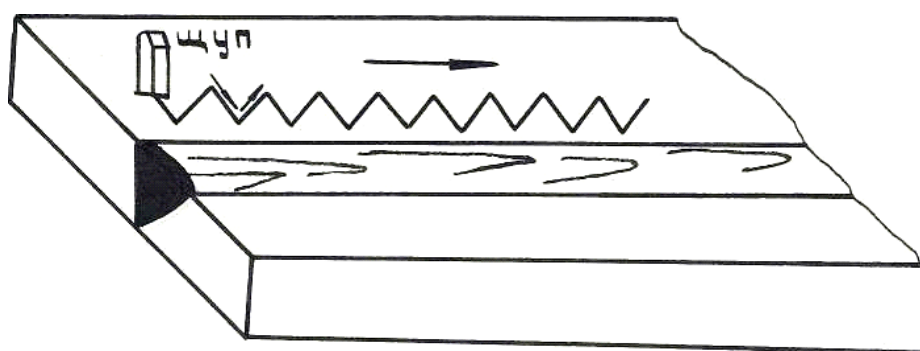


Рис. 8.7. Схема перемещения щупа по поверхности изделия

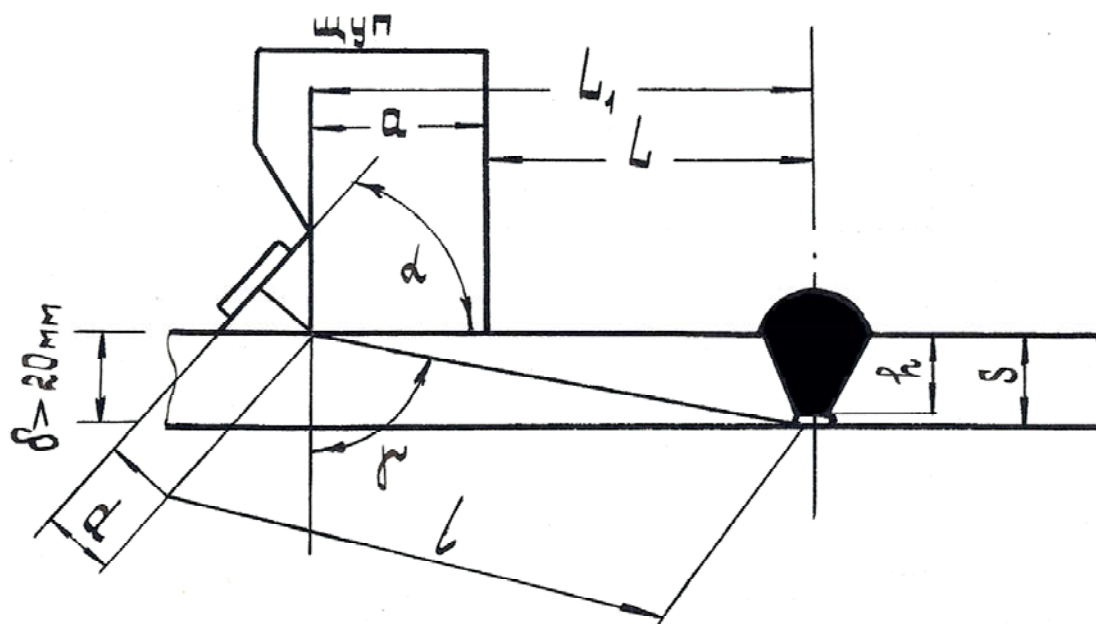


Рис. 8.8. Схема прозвучивания сварного шва прямым лучом

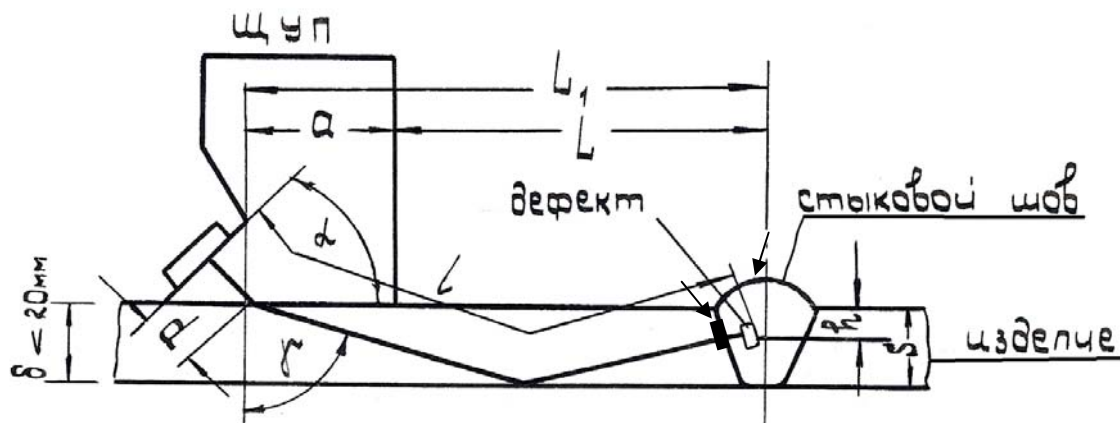


Рис. 8.9. Схема прозвучивания сварного шва однократно отраженным лучом

При обнаружении дефекта в сварном шве на экране дефектоскопа появляется импульс. Условную его протяженность измеряют длиной зоны перемещения щупа-искателя вдоль шва, в пределах которой наблюдается появление и исчезновение импульса.

Условную протяженность дефекта l определяют как разность глубин, измеренных в крайних положениях щупа-искателя, в которых появляется и исчезает импульс при перемещении щупа перпендикулярно оси шва (рис. 8.10).

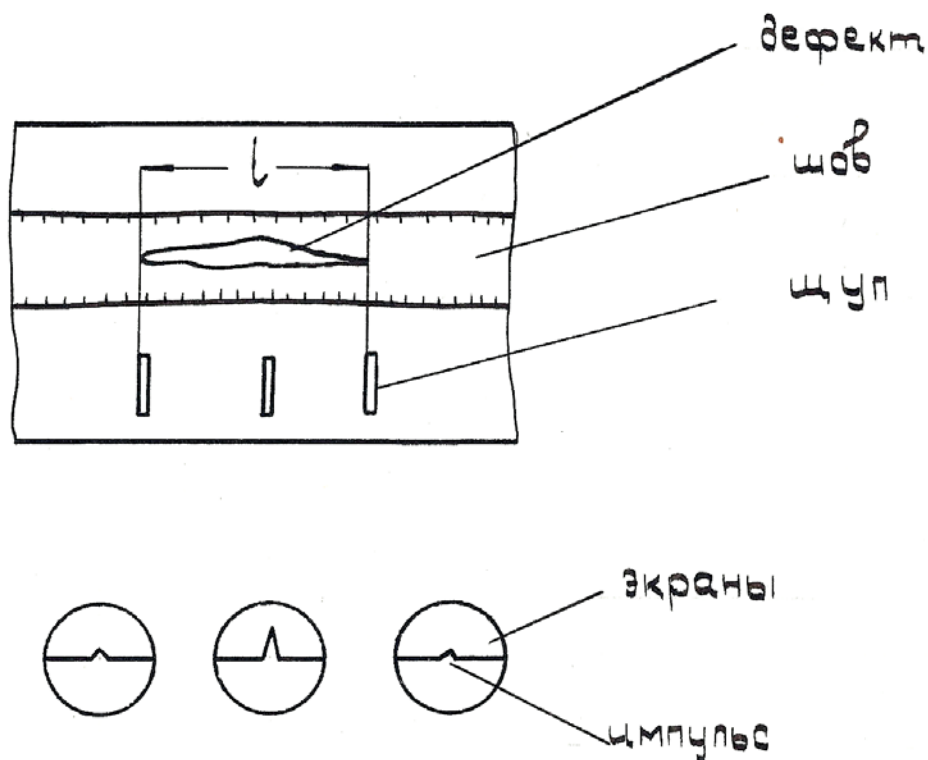


Рис. 8.10. Схема определения размеров дефекта в сварном шве (протяженностью l)

Условную высоту дефектов, имеющих большую протяженность, измеряют в месте, где импульс от дефекта имеет наибольшую амплитуду (рис. 8.11).

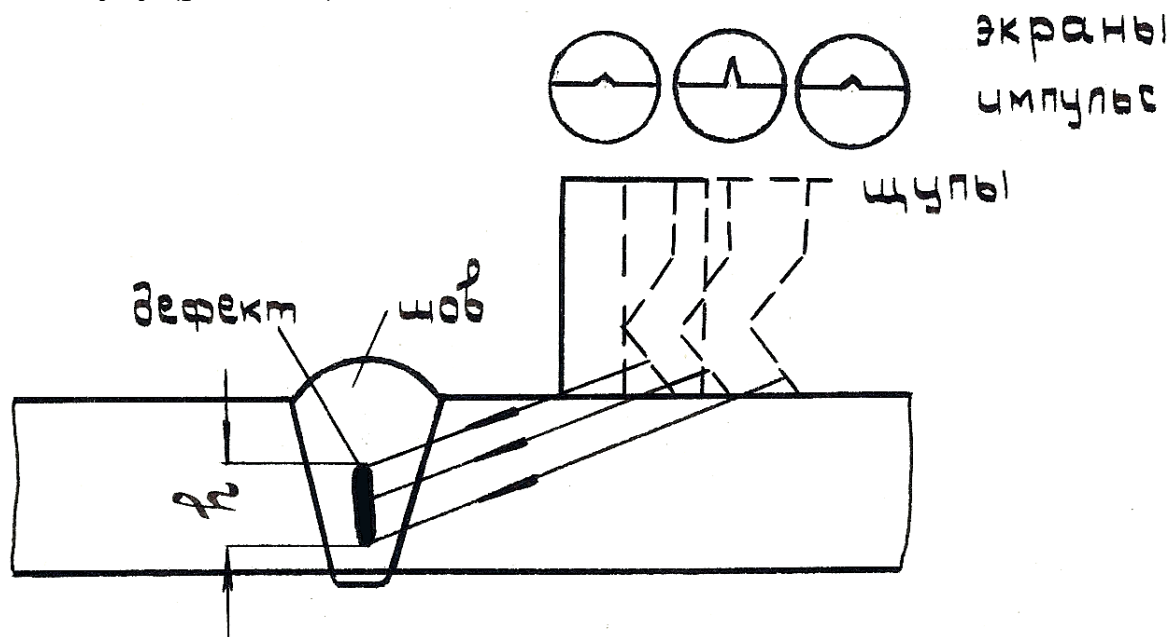


Рис. 8.11. Схема определения размеров дефекта в сварном шве (высотой « h »)

Глубину залегания дефекта определяют при помощи глубиномера – жидкостного или электронного, дающего отметку времени на экране электроннолучевой трубки.

Основные расчетные формулы для различных схем прозвучивания, изображенных на рис. 8.8 и 8.9, выглядят следующим образом.

Для схемы на рис. 8.8:

$$h = (e - d) \cos \gamma;$$

$$l = (e - d) \sin(\gamma - a).$$

Для схемы на рис. 8.9:

$$h = 25 - (e - d) \cos \gamma;$$

$$l = (e - d) \sin(\gamma - a).$$

В представленных формулах:

γ – угол преломления луча;

$$\sin \gamma = \sin \alpha \frac{C_n}{C_m};$$

α – угол падения луча;

C_m – скорость ультразвука в металле;

C_n – скорость ультразвука в призме ~ 3000 м/с;

h – глубина залегания дефекта;

e – отсчет по шкале глубиномера, деленный пополам;

d – путь луча в призме щупа;

s – толщина основного металла;

a – расстояние от передней грани щупа до точки выхода ультразвукового луча из призмы;

l – длина (протяженность) дефекта.

Качество проверенных сварных швов в соединениях оценивают в соответствии с требованиями, приведенными в соответствующих технических условиях.

При проведении ультразвуковой дефектоскопии сварных швов особое внимание должно быть уделено вопросам техники безопасности. Так, ультразвуковой дефектоскоп должен быть заземлен медным проводом сечением не менее 2,5 мм².

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Цель и задачи обследования строительных конструкций зданий и сооружений.
2. Методы обследования зданий и сооружений.
3. Расчетные схемы конструкций и действительная работа сооружения.
4. Испытания конструкций в натуральную величину и на моделях.
5. Принцип моделирования конструкций при проведении испытаний.
6. Виды нагрузок, применяемых при испытании конструкций и зданий.
7. Дефекты строительных конструкций.
8. Способы определения прочности строительных материалов.
9. Определение физико-механических характеристик материалов неразрушающими методами.
10. Основы метрологии и стандартизации в строительстве, контроль качества конструкций.
11. Основы теории планирования эксперимента.
12. Погрешности измерений, чувствительность и диапазон измерений.
13. Измерительные приборы для проведения статических испытаний конструкций.
14. Методы и средства измерения деформаций для определения усилий.
15. Методика и техника тензометрии.
16. Информационно-измерительные системы.
17. Методы обработки статических испытаний.
18. Особенности обработки результатов динамических испытаний.
19. Определение физико-механических характеристик строительных материалов неразрушающими методами.
20. Механические методы испытания.
21. Акустические методы испытания конструкций.
22. Определение модуля упругости, коэффициента Пуассона прочности бетона акустическим методом.
23. Радиационные методы изучения физико-механических свойств материалов.
24. Дефектоскопия материалов, конструкций, сварных швов радиационным методом.
25. Определение дефектов в металлоконструкциях.
26. Определение положения арматуры и защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях магнитными методами.
27. Ультразвуковая дефектоскопия.

28. Цели, задачи и особенности проведения методами натуральных испытаний.
29. Осмотр объекта, изучение документации при натуральных обследованиях конструкций зданий и сооружения.
30. Инструментальные измерения геометрических и физических параметров конструкций.
31. Характеристики измерительных приборов, используемых для натуральных испытаний.
32. Порядок проверочного расчета строительных конструкций.
33. Техническое заключение по результатам испытания конструкций.
34. Динамические нагрузки на конструкции.
35. Резонансные явления при динамических нагрузках.
36. Усталостные разрушения в подкрановых конструкциях.
37. Ударные нагрузки и их последствия.
38. Основные динамические характеристики конструкций и сооружений.
39. Основы моделирования при испытании конструкций.
40. Математическая обработка результатов испытания конструкций.
41. Влияние коррозии металла на несущую способность металлических конструкций. Определение степени повреждения.
42. Биологические повреждения деревянных конструкций, защита их от повреждений.
43. Причины повреждения защитного слоя бетона и коррозия арматуры железобетонных конструкций.
44. Геодезические приборы, применяемые за осадками зданий.
45. Задачи технической службы по эксплуатации зданий и сооружений.
46. Основы метрологии и стандартизации в строительстве, контроль качества продукции.
47. Мониторинг состояния строительных конструкций и зданий.
48. Изменение расчетных схем и нагрузок в период эксплуатации.
49. Влияние фактической расчетной схемы конструкции и прочности материала на несущую способность зданий.
50. Способы нагружения конструкций при их испытании.
51. Оценка ошибок измерительных приборов при испытании строительных конструкций.
52. Объяснить степень ответственности зданий от их назначения.
53. Как определить напряженное состояние в конструкциях по полученным данным экспериментального исследования?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение практических занятий по лабораторным работам №1-№8 является существенным дополнением к теоретическому курсу «Обследование и испытание зданий и сооружений».

Лабораторные работы следуют параллельно читаемому курсу, что позволяет закрепить пройденный материал путем непосредственного общения с измерительной аппаратурой, приборами, образцами и моделями конструкций. Студенты своими руками устанавливают приборы, регулируют их, снимают отсчеты при нагружениях, изучают устройства и их действие в рабочем состоянии.

Перед началом испытания образцов проводят тщательное инструментальное обследование их состояния: выявляют необходимые размеры, армирование железобетонных конструкций, прочность материала – бетона и стали. Теоретическими расчетами определяют деформации и напряженное состояние в рассматриваемых сечениях, которые являются основными критериями для сравнения с экспериментальными данными.

Особое значение имеет выбор расчетной схемы при испытании изделий и конструкций. В лабораторных условиях геометрическая схема, характер опор и вид нагрузки должны строго соответствовать ГОСТ на испытание конкретных образцов. В натуральных условиях прочность материала конструкций, как правило, определяют неразрушающими способами и редко с отбором образцов, который снижает прочность существующего элемента. Испытание конструкции, например, железобетонной плиты перекрытия проводят по фактической расчетной схеме с учетом свободного опирания по торцам плиты с частичным защемлением на опорах. Для выключения из работы соседних плит очищают продольные швы от раствора и строительного мусора. Плита должна свободно деформироваться независимо от диска перекрытия. Нагрузки при испытаниях принимаются фактические, возникающие при эксплуатации, причем предельные. Плиту перекрытия не доводят до разрушения и делают заключение о ее пригодности к дальнейшей эксплуатации.

Опыт проведения занятий по данному курсу свидетельствует о большой пользе проведения практических занятий по лабораторным работам в освоении теоретических знаний дисциплин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27751-88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету [Текст]. – М.: Стройиздат, 1988. – 5 с.
2. СП 20.13330.2011 СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия [Текст]. – М., 2011. – 80 с.
3. СНиП II-21-81. Каменные и армокаменные конструкции [Текст]. – М., 1983. – 40 с.
4. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М., 1995. – 79 с.
5. СП 16.13330.2011. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции [Текст]. – М., 2011. – 172 с.
6. СП 64.1333.2011. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции [Текст]. – М., 2011. – 88 с.
7. СП 22.13330.2011. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений [Текст]. – М., 2011. – 182 с.
8. СП 24.13330.2011. СНиП 2.02.02-85. Свайные фундаменты [Текст]. – М., 2011. – 86 с.
9. Металлические конструкции [Текст] / под ред. Ю.И. Кудишина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 688 с.
10. Постановление правительства РФ от 16 февраля 2008 г. №87 [Текст]. – М., 2008. – 25 с.
11. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих конструкций зданий и сооружений [Текст]. – М., 2003. – 35 с.
12. ВСН-53-86(р). Правила оценки физического износа жилых зданий [Текст]. – М.: 1987. – 50 с.
13. ВСН-57-88(р). Положение по техническому обследованию жилых зданий [Текст]. – М., 1985. – 40 с.
14. ВСН 58-88(р). Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. Нормы проектирования [Текст]. – М., 1990. – 32 с.
15. Руководство по эксплуатации строительных конструкции производственных зданий промышленных предприятий [Текст]. – М., 1981.
16. РТМ 1652-9-89. Руководство по инженерно-техническому обследованию, оценке качества и надежности строительных конструкций зданий и сооружений [Текст] / ПРОЕКТНИИСПЕЦХИММАШ. – М., 1990. – 186 с.

17. СП 28.13330.2010. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. – М.: 2010. – 45 с.
18. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции [Текст]. – М., 1987. – 83 с.
19. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожаром [Текст] / НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1987.
20. СНиП 12-01-2004. Организация строительства [Текст]. – М., 2005. – 23 с.
21. Градостроительный кодекс Российской Федерации [Текст].
22. СНиП I-2. Строительная терминология [Текст] / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1980. – 32 с.
23. СП 29.13330.2011. СНиП 2.03.13-88. Полы [Текст]. – М., 2011. – 64 с.
24. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятия. Надземные конструкции и сооружения [Текст]. – М.: Стройиздат, 1992. – 192 с.
25. СНиП 2.08.01-89*. Жилые здания [Текст]. – М., 1990. – 17 с.
26. СП 51.13330.2011. СНиП 23-03-2003. Защита от шума [Текст]. – М., 2011. – 42 с.
27. СП 53-101-98. Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций [Текст]. – М., 2004. – 30 с.
28. Федеральный закон Российской Федерации №123-ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]. – М., 2008. – 117 с.
29. Усиление несущих железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований [Текст] / А.Б. Голышев, П.И. Кривошеев, П.М. Козелецкий [и др.]. – К.: Логос, 2004. – 219 с.
30. СНиП 2.08.02-89*. Общественные здания и сооружения [Текст] / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1990. – 50 с.
31. СНиП 2.09.02-85*. Производственные здания [Текст] / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1997 – 16 с.
32. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 148 с.
33. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.04-84) [Текст] / ЦНИИпромзданий Госстроя СССР, НИИЖБ Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 192 с.

34. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования») [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 152 с.

35. Рекомендации по усилению каменных конструкций зданий и сооружений [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1984. – 36 с.

36. Металлические конструкции: в 3 т. Т.3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование усиление и испытание конструкций зданий и сооружений. (Справочник проектировщика) [Текст] / под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИпроектстальконструкция им. Н.П. Мельникова) – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 528 с.

37. Землянский, А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / А.А. Землянский. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 240 с.

38. Калинин, А.А. Обследование, расчет и усиление зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / А.А. Калинин. – М.: АСВ, 2002. – 160 с.

39. Гучкин, И.С. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий [Текст]: учеб. пособие / И.С. Гучкин. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. – 296 с.

40. Реконструкция зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие для строит. спец. вузов / А.Л. Шагин, Ю.В. Бондаренко, Д.Ф. Гончаренко, В.Б. Гончаров; под ред. А.Л. Шагина. – М.: Высш. шк., 1991. – 352 с.

41. Абрашитов, В.С. Техническая эксплуатация, обследование и усиление строительных конструкций: учеб. пособие / В.С. Абрашитов. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 218 с.

42. Туманов, А.В. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений: учеб. пособие / А.В. Туманов, В.А. Туманов. – Пенза: ПГУАС, 2012. – 156 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Методы и средства измерений конструкций и систем здания [13]

Т а б л и ц а I

№ п/п	Измеряемый параметр	Допустимые отклонения (ссылка на нормативные документы)	Методы и средства контроля
1	2	3	4
1	Уклон поверхностей элементов здания	Отмостка (СНиП III-10-75), крыша (СНиП 3.04.01-87), полы (СНиП 3.04.01-87)	Уровень строительный с ценой деления 15 мин ГОСТ 9416-83
2	Неравномерная осадка фундаментов	Предельно допустимые деформации (СНиП 2.02.01-83)	Нивелир ГОСТ 24846-81, гидростатический нивелир
3	Крен здания	СНиП 2.02.01-83	Теодолит ГОСТ 10529-86
4	Ширина раскрытия трещин в бетонных и железобетонных конструкциях	СНиП 2.03.01-84	Оптические измерительные приборы, шаблон-толщиномер, дистанционный метод
5	Глубина трещин в бетонных и железобетонных конструкциях	На толщину защитного слоя	Щупы ГОСТ 882-75*
6	Прогибы плит, балок, ригелей	Относительный прогиб бетонных и железобетонных конструкций (СНиП 2.03.01-84), деревянных (СНиП II-25-80)	Нивелир ГОСТ 24846-81 с оптической насадкой, рейка с миллиметровыми делениями, гидростатический нивелир
7	Отклонение бетонных и железобетонных конструкций от вертикали, продольный изгиб, выпучивание	СНиП 3.03.01-87	Теодолит ГОСТ 10529-86 с оптической насадкой и рейкой с миллиметровыми делениями
8	Смещение граней панелей стен в нижнем сечении относительно разбивочных осей	СНиП 3.03.01-87	Штангенциркуль ГОСТ 166-80
9	Отклонение параметров кирпичной кладки	СНиП 3.03.01-87	Штангенциркуль ГОСТ 166-80*, линейка ГОСТ 427-75*, рулетка ГОСТ 2502-80

Продолжение прил. 1

Продолжение табл. I

1	2	3	4
10	Относительное смещение вертикальных и горизонтальных граней торцов стеновых панелей в крестообразном шве	Не более 10 мм	Шаблон
11	Ширина шва между наружными стеновыми панелями	СНиП 3.04.01-87	Штангенциркуль ГОСТ 166-80*, дистанционный метод
12	Разность отметок потолка в углах помещения	СНиП 3.03.01-87	Нивелир ГОСТ 24846-81
13	Разность отметок лицевых поверхностей смежных плит перекрытия	СНиП 3.03.01-87	Штангенциркуль ГОСТ 166-80*
14	Адгезия герметика в швах наружных панельных стен	Не менее предела прочности герметика при растяжении	Метод определения сцепления материалов по ГОСТ 26589-85. Адгезиометр типа АГ-2
15	Толщина пленки герметика в швах наружных панельных стен	СНиП 3.04.01-87	Металлический щуп ГОСТ 882-75*, устройство на базе индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм ГОСТ15593-70*
16	Температура воздуха	СНиП 2.08.01-85	Термометр ГОСТ 112-78*Е, термограф ГОСТ 6416-75*Е
17	Влажность воздуха	СНиП 2.08.01-85	Психометр, гигрограф ГОСТ 23382-78*
18	Температура поверхности конструкций и трубопроводов	ГОСТ 26254-84 СНиП 2.04.05-86 СНиП II-3-79**	Термощуп с полупроводниковым термосопротивлением ЭТП-М, контактные термометры, ИК-приборы, ГОСТ 6923-84
19	Скорость воздушного потока	СНиП 2.08.01-85	Анемометр, термоанемометр ГОСТ 6376-74*, ГОСТ 7193-74*
20	Объем воздуха, удаляемого из помещения за 1 ч.	СНиП 2.08.01-85	Секундомер ГОСТ 5072-79*Е, линейка ГОСТ 427-75
21	Плотность теплового потока через ограждающую конструкцию, тепловую изоляцию трубопроводов	СНиП II-3-79** Нормы проектирования тепловой изоляции для трубопроводов и оборудования	Измеритель теплового потока ИТП, ИТП-7, ИТП-11 тепловизор, инфракрасные термометры
22	Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций	СНиП II-3-79**	Метод определения сопротивления воздухопроницанию

Продолжение прил. 1

Продолжение табл. I

1	2	3	4
23	Характеристика звукоизоляции ограждений уровень шума звукоизоляция от воздушного и ударного звука	СНиП II-12-77	Шумомер ГОСТ 17187-81, метод измерения звукоизоляции внутренних конструкций, ГОСТ 27296-87
24	Освещенность	СНиП 2.08.01-85	Люксметр ГОСТ 14841-80*, метод измерения освещенности по ГОСТ 24940-81
25	Уровень вибрации конструкций	–	Аппаратура для вибрационного контроля ГОСТ 26044-83
26	Объемная масса материалов	В соответствии с проектом	Методы определения: кирпич ГОСТ 6427-75, бетон ГОСТ 12730.0-78
27	Прочность: бетона раствора кирпича древесины металла	В соответствии с проектом	Молоток ПМ-2 ГОСТ 22690.1-77; ГПНВ-5; ГПНВ-4 ГОСТ 22690.3-77; 22690.4-77; метод отрыва со скалыванием ГОСТ 21243-75; ультразвуковой метод ГОСТ 17624-87 ГОСТ 24992-81 ГОСТ 24332-80 ГОСТ 16483.2-70* ГОСТ 1479-84, твердость по Бринеллю ГОСТ 9012-59
28	Выявление пустот в кладке	То же	Дефектоскоп акустический прибор типа РВП
29	Определение наличия металла, толщины защитного слоя и сечения арматуры в железобетонных конструкциях	То же	Металлоискатель МИМ, измеритель защитного слоя ИЗС-101 метод по ГОСТ 22904-78
30	Прочность сцепления кирпича с раствором	СНиП II-22-81	Метод по ГОСТ 24992-81
31	Глубина коррозионного поражения арматуры и закладных деталей	По расчету	Штангенциркуль ГОСТ 166-80*
32	Линейные размеры конструкций	В соответствии с проектом	Линейка ГОСТ 427-75*, рулетка ГОСТ 11900-66
33	Состояние гидроизоляции полов в санузлах и ванных комнатах	Отсутствие протечек при испытаниях	Заливка пола водой слоем до 2 см с выдержкой 6 ч

Продолжение прил. 1

Продолжение табл. I

1	2	3	4
34	Влажность материалов: древесины бетона, кирпича утеплителя	ГОСТ 23166-78 ГОСТ 475-78 ГОСТ 12730.0-78 СНиП II-3-79** СНиП II-3-79**	Электронный влагомер ГОСТ 24477-80 ВСКМ ГОСТ 26375-84 диэлькометрический метод ГОСТ 25611-83 Метод по ГОСТ 21718-84
35	Параметры, характеризующие качество отделочных работ: ровность поверхности стен отклонения от вертикали и горизонтали неровности поверхности полов	СНиП 3.04.01-87 ГОСТ 23166-78 ГОСТ 475-78 СНиП 3.04.01-87	Рейка длиной 2 м, штангенциркуль ГОСТ 166-80 Рулетка ГОСТ 7502-80 Линейка ГОСТ 427-75, отвесы, уровень ГОСТ 9416-83
36	Скрытие дефекты сварных соединений металлических элементов	СНиП III-18-85	Дефектоскоп ГОСТ 24732-81*, ГОСТ 23858-79
37	Толщина антикоррозионного покрытия металлических связей и закладных деталей	СНиП 2.03.11-85	Толщиномер ГОСТ 11358-74*
38	Глубина проникания антисептика в элементы деревянных конструкций	СНиП 3.03.01-87	Отбор проб по ГОСТ 16483.0-78*
39	Температура воды в трубопроводах	СНиП 2.04.05-86; СНиП 2.04.01-85; графики регулирувания температуры воды	Термометр технический стеклянный ртутный ГОСТ 215-73Е и ГОСТ 112-78Е, термошуп ЭТП-М ГОСТ 12877-76*, термометр поверхностный ТП-1
40	Температура сливаемой воды	СНиП 2.04.01-85	Термометр технический стеклянный ртутный ГОСТ 215-73Е
41	Давление воды или свободный напор у водоразборных кранов	СНиП 3.01.03-85: проект	Манометр технический пружинный класса не ниже 1,5 с пределами измерений от 0 до 1 МПа ГОСТ 8625-77*Е
42	Расход воды	Проект	Расходомер или водомер (проектный): мерный бак вместимостью 10 л; секундомер механический ГОСТ 5072-79*Е
43	Уклон трубопроводов	Проект, СНиП 3.01.03-85	Уровень (уклономер) ТУ 25-11-760-72
44	Вертикальность	СНиП 3.01.03-85	Отвес стальной строительный ГОСТ 7948-80
45	Линейные размеры между осями трубопроводов, опорами (креплениями и т.п.)	Проект, СНиП 3.01.03-85	Линейка ГОСТ 427-75, рулетка ГОСТ 7502-80

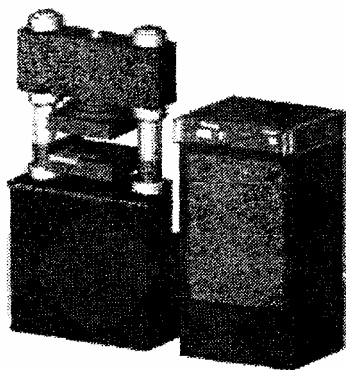
Продолжение прил. 1

Окончание табл. I

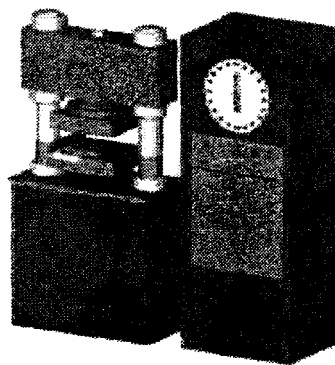
1	2	3	4
46	Расстояние от пола до низа отопительного прибора, между отопительным прибором и стеной, от верха отопительного прибора до низа подоконной доски	СНиП 3.01.03-85	Линейка ГОСТ 427-75; рулетка ГОСТ 7502-80
47	Радиус изгиба труб, овальность труб, перпендикулярность фланцев к оси трубы	СНиП 3.01.03-85	Наборы металлических угольников, шаблонов ГОСТ 4126-82, ГОСТ 3749-77, штангенциркуль ГОСТ 166-80*
48	Усилие выдергивания средств крепления	СНиП 3.01.03-85	Динамометр пружинный переносной ДПУ-0-2 ГОСТ 13837-79* с пределом измерений от 10 до 100 Н (10-100 кгс)

Приборы и оборудование
для определения прочности строительных конструкций

1. ГОСТ 8905-82. Испытательные прессы типа ИП.



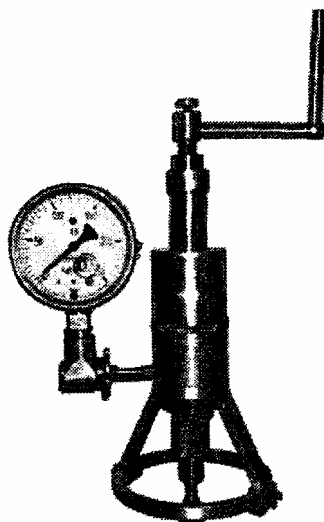
ИП-0



ИП-1

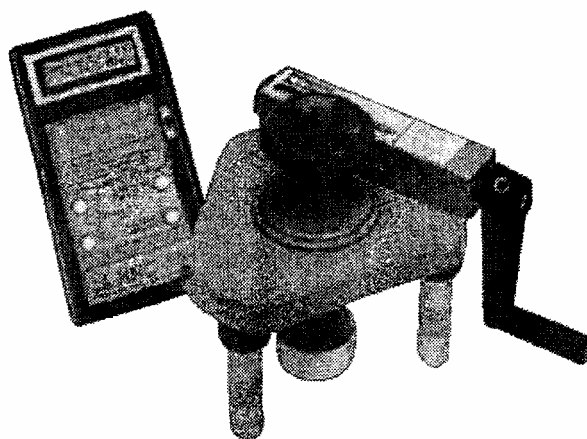
Предназначены для статических испытаний на сжатие стандартных образцов бетонов по ГОСТ 10180 и других строительных материалов на предельные нагрузки 100, 500, 1000 и 2000 кН.

2. ГОСТ 22690-88. Прибор ПИБ (типа ГПНВ-5).



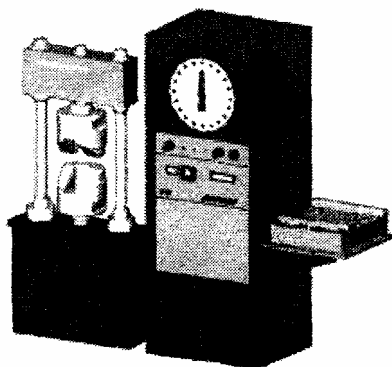
Предназначены для определения прочности легких бетонов в диапазоне 5...40 МПа и тяжелых бетонов в диапазоне 10...100 МПа методом отрыва со скалыванием по ГОСТ 22690 в конструкциях и образцах.

3. ГОСТ 22690-88 ТУ 4271-004-12585810-01. Прибор ПОС 30-МГ4 (типа ГПНВ-5).



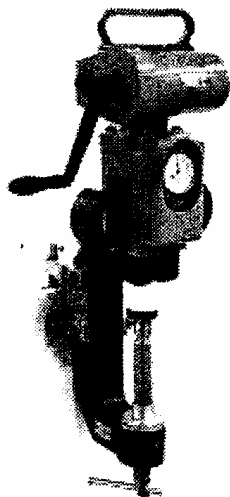
Прибор предназначен для контроля прочности бетона монолитных и сборных железобетонных изделий и конструкций методом отрыва со скалыванием в соответствии с ГОСТ 22690. Область применения прибора – контроль прочности бетона на предприятиях стройиндустрии и объектах строительства, а также при обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений.

4. ТУ 25-7733.013-94. Разрывные машины типа ИР-0.



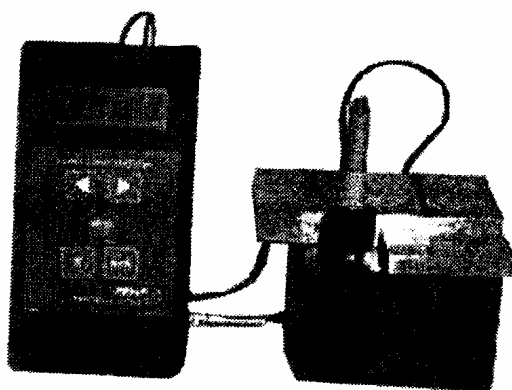
Предназначены для статических испытаний образцов металлов, арматурной стали, образцов из листового и круглого проката, и других строительных материалов на растяжение при нормальной температуре по ГОСТ 1497 с предельными нагрузками 100, 200 и 500 кН.

5. ГОСТ 9012-59 ТУ 25-7701.0060-89. Твердомер для металлов переносной ТБП-5013.



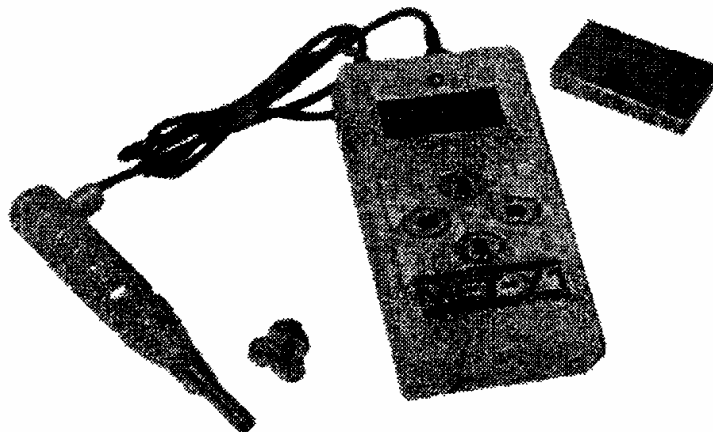
Измерение твердости металлов по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012 при температуре окружающей среды от +10 до +35 °С и относительной влажности $65 \pm 15 \%$.

6. ГОСТ 9013-59. Твердомеры для металлов электронные ТЭМП-2, ТЭМП-3.



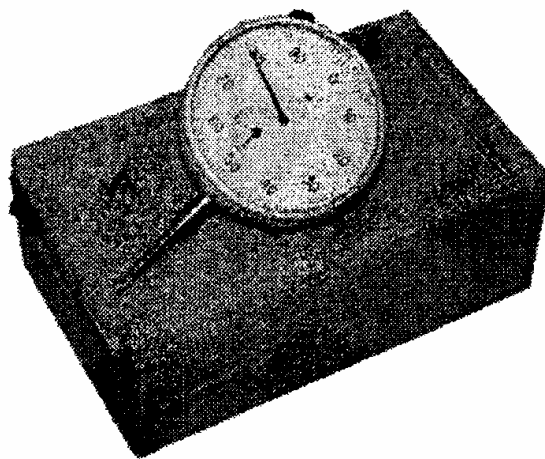
Предназначены для неразрушающего контроля твердости металлов в производственных и лабораторных условиях по шкалам Бринелля, Роквелла, Виккерса и Шора. Принцип действия твердомеров – динамический.

7. ГОСТ 9013-59. Твердомер портативный ультразвуковой МЕТ-У1 универсальный.



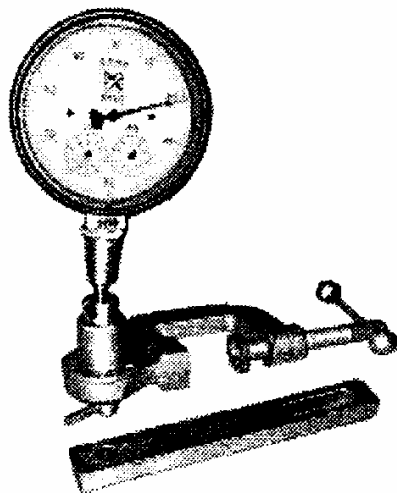
Предназначен для измерения твердости изделий из металлов и сплавов по шкалам Роквелла, Бринелля, Виккерса и Шора.

8. ГОСТ 577-68 ТУ 2-034-611-84. Индикаторы типа ИЧ.



Предназначены для измерения линейных размеров абсолютным и относительным методами, определения величины отклонений от заданной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей в машиностроении, приборостроении и других отраслях промышленности.

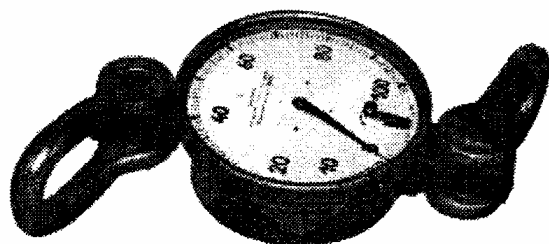
9. ТУ 2-034-328-74. Прогибомер ПАО-6.



Предназначен для определения величины перемещения отдельных точек конструкций при нагружении их статическими нагрузками: прогибов строительных, мостовых и других ферм, арок, сводов, прогонов, балок, выгибов стоек, осадок фундаментных свай, определения углов поворотов сечений и т.д.

Измеряется относительное перемещение проволок, натянутых и прикрепленных к нагружаемой конструкции в контрольных точках (в стандартном исполнении используются 3 прогибомера).

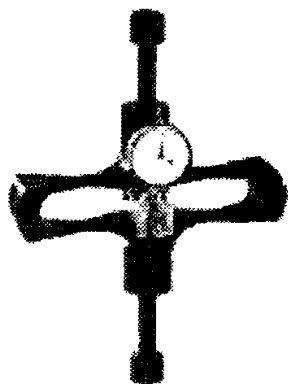
10. ГОСТ 13837-79 ТУ 25-06.1258-81 ТУ 25-06.2088-83. Динамометры растяжения типа ДПУ.



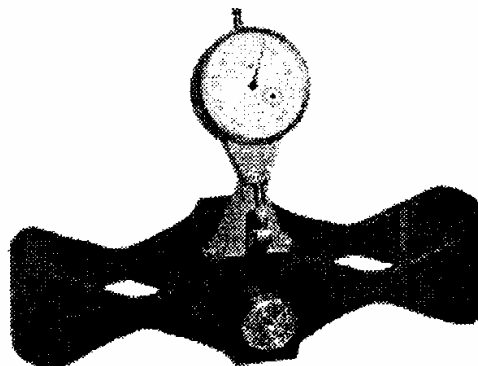
Предназначены для измерения статических растягивающих усилий, отградуированных в килоньютонах, в помещениях лабораторного типа при температуре окружающей среды от 10 до 35 °С и относительной влажности не более 80 %.

Продолжение прил. 1

11. ГОСТ 9500-60. Динамометры образцовые растяжения (ДОРМ) и сжатия (ДОСМ).



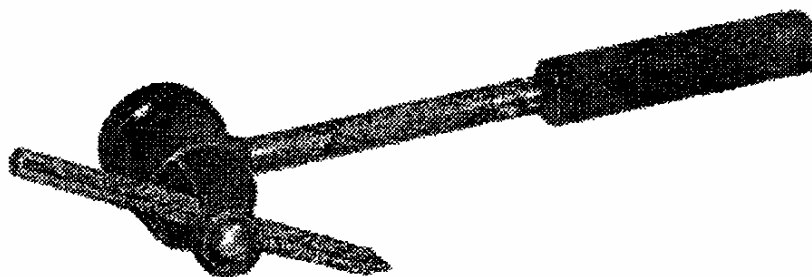
ДОРМ



ДОСМ

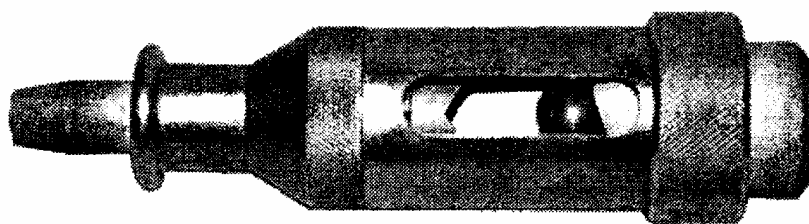
Предназначены для поверки рабочих средств измерений в помещениях лабораторного типа при температуре окружающей среды от 10 до 35 °С и относительной влажности не более 80 %.

12. ГОСТ 22690-88. Молоток Кашкарова.



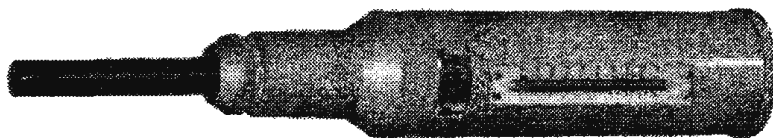
Предназначен для определения прочности бетона в конструкциях методом ударного воздействия по размеру отпечатка по ГОСТ 22690.

13. ГОСТ 22690-88. Эталонмер.



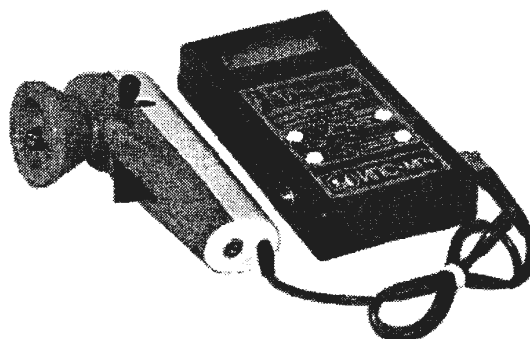
Предназначен для определения марки эталонных стержней к молотку Кашкарова при отсутствии разрывной машины.

14. ГОСТ 22690-88. Склерометр ОМШ-1.



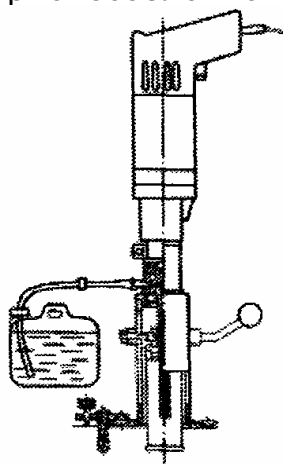
Предназначен для оценки прочности бетона на сжатие методом упругого отскока в бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях по ГОСТ 22690.1, ГОСТ 22690.

15. ГОСТ 22690-88 ТУ 7618.002.12585810-94. Склерометр электронный ИПС-МГ4.



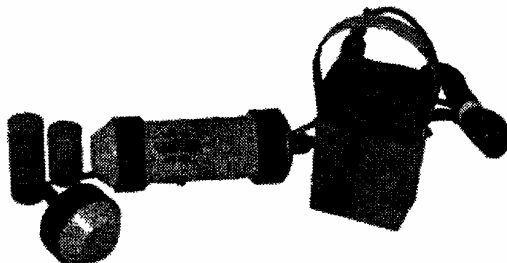
Предназначен для неразрушающего контроля прочности бетона, железобетонных изделий и конструкций методом ударного импульса по ГОСТ 22690. Прибор позволяет также оценивать физико-механические свойства материалов в образцах и изделиях (прочность, твердость, упруго-пластические свойства), выявлять неоднородности, зоны плохого уплотнения, наличие расслоений и др.

16. ТУ 22-166-21-90. Приспособление «БурКер».



Предназначено для выбуривания цилиндрических кернов в бетонных конструкциях с целью определения прочности бетона на сжатие по ГОСТ 10180.

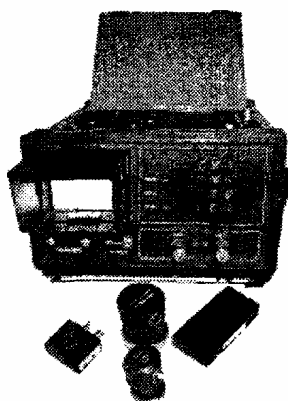
17. ГОСТ 17624-87. Прибор ультразвуковой УИС-23.



Предназначен для определения прочности бетона, сборных и монолитных бетонных конструкций и железобетонных изделий по ГОСТ 17624; контроля качества огнеупорных бетонных изделий по ГОСТ 24830; определения прочности при сжатии кирпича и камней силикатных по ГОСТ 24332; определения скорости распространения упругих продольных волн в твердых породах по ГОСТ 21153,7; обнаружения дефектов, несплошностей в изделиях и материалах.

Прибор может быть использован в строительстве, геологии, химической промышленности.

18. ГОСТ 17624-87. Прибор ультразвуковой УК-10ПМС.



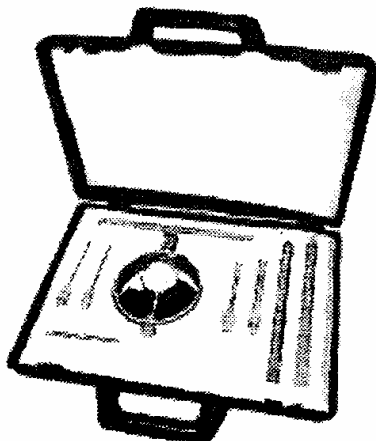
Предназначен для неразрушающего контроля физико-механических характеристик изделий из стеклопластиков, пластмасс, бетона и др. материалов методом поверхностного прозвучивания по ГОСТ 17624. Используется в машиностроении, судостроении, авиастроении, строительной индустрии, угольной и других отраслях промышленности.

19. ГОСТ 17624-87. Прибор ультразвуковой УК-14П.



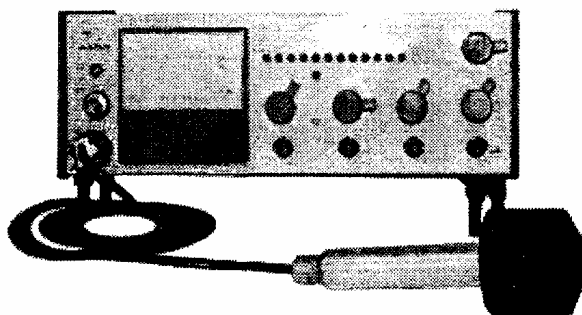
Предназначен для определения прочности бетона в сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкциях с максимальными размерами не более 3 м в диапазоне 10...50 МПа с погрешностью не выше 12 % по ГОСТ 17624; контроля твердения бетона в сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкциях в процессе тепловой обработки и твердения их в естественных условиях по ГОСТ 24467; контроля качества огнеупорных бетонных изделий по ГОСТ 24830; определения прочности при сжатии кирпича и камней силикатных по ГОСТ 24332; определения скорости распространения упругих продольных волн в твердых породах по ГОСТ 21153.7 путем измерения времени (скорости) распространения ультразвуковых колебаний. Может быть использован для обнаружения дефектов типа несплошностей (зон расслабления и нарушения адгезионного сцепления) в изделиях из бетона путем измерения длительности фронта первого вступления принятого сигнала.

20. ГОСТ 20276-99. Пенетрометр грунтовой ПГ-1.



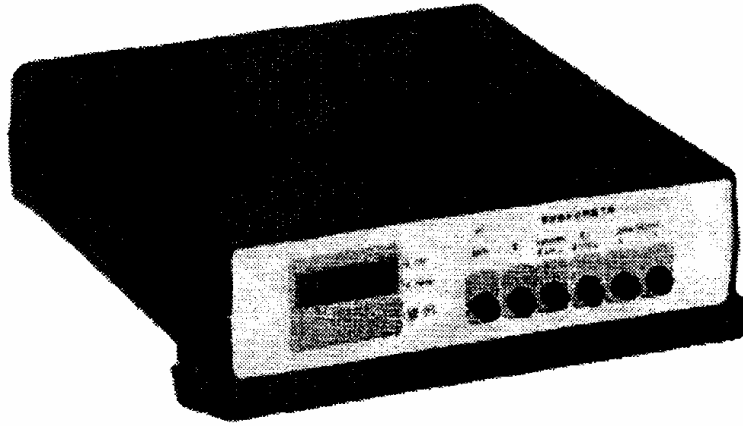
Предназначен для выполнения операционного контроля качества земляного полотна методом измерения сопротивления пенетрации. Позволяет определить модуль упругости, угол внутреннего трения, удельного сцепления и коэффициента уплотнения.

21. ТУ 25-06.2527-83. Измеритель шума и вибрации ВШВ-003-М2.



Предназначен для измерения уровня звука с частотными характеристиками А, В, С; уровня звукового давления в диапазоне частот 2 Гц...18 кГц и октавных полосах в диапазоне частот от 2 Гц до 8 кГц в свободном и диффузных полях; средних квадратических значений виброускорения и виброскорости: в промышленности и жилых кварталах, при разработке и контроле качества изделий, при исследованиях и испытаниях машин и механизмов.

22. ТУ 25-7705.0018-88. Виброметр ВВМ-210.



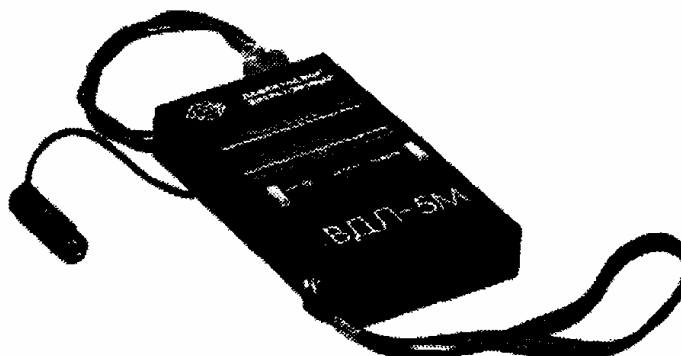
Предназначен для измерения параметров вибрации (виброскорости и виброускорения) работающего оборудования и машин.

23. ГОСТ 12997-84. Прибор ВИСТ-1М.



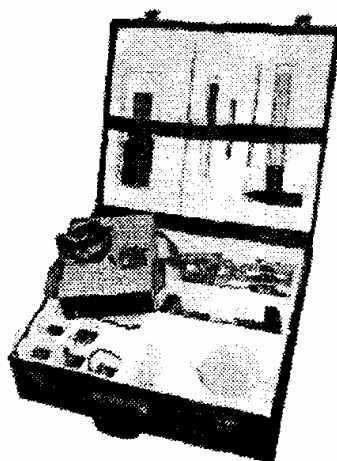
Предназначен для измерения амплитуды, частоты и временных колебаний различных виброустановок, применяемых для уплотнения бетонной смеси при изготовлении железобетонных изделий, а также для измерения параметров вибрации других объектов.

24. ГОСТ 21105-75. Дефектоскоп ВДЛ-5М.



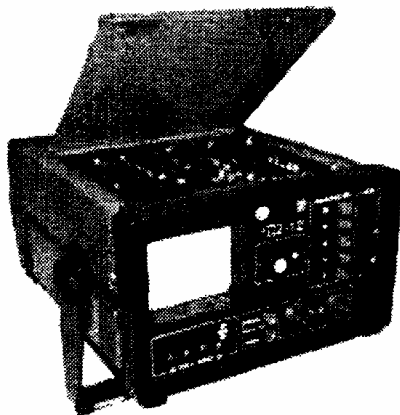
Предназначен для обнаружения и оценки глубины поверхностных несплошностей и трещин в стальных конструкциях и деталях.

25. ГОСТ 23858-79. Дефектоскоп сварки арматуры «Арматура-1».



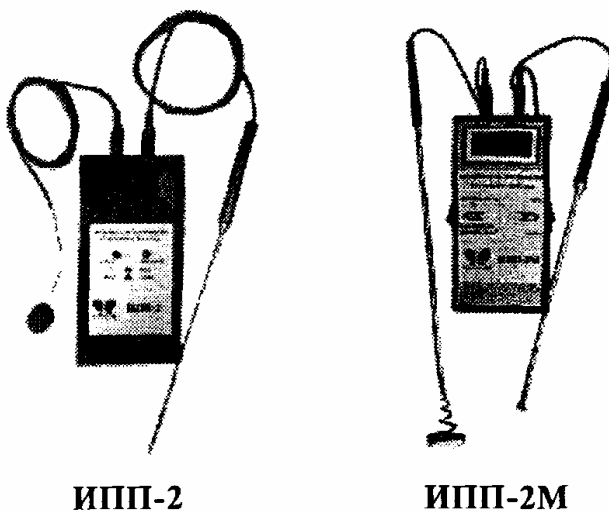
Предназначен для ультразвукового контроля качества сварных стыковых соединений стержней арматуры по ГОСТ 23858 при монтаже сборных и возведении монолитных железобетонных конструкций и зеркально-теневого метода контроля, а также входит в комплект инструмента и приспособлений, предназначенных для подготовки сварного соединения к контролю.

26. ГОСТ 23049-84. Дефектоскоп ультразвуковой УД2-12.



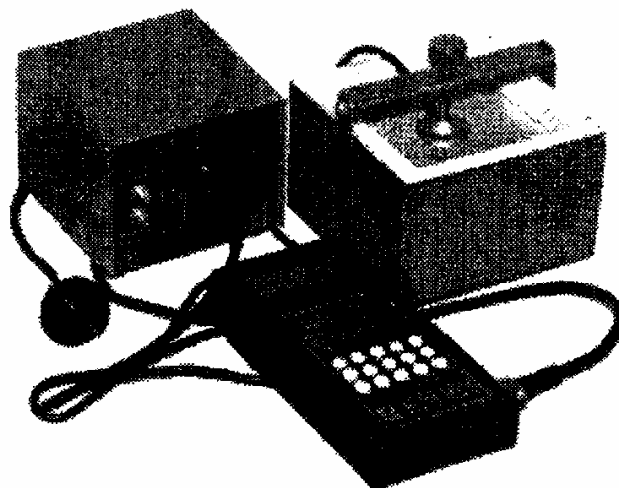
Предназначен для контроля продукции с целью обнаружения дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов, полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, для измерения глубины и координат их залегания, измерения отношений амплитуд сигналов от дефектов.

27. ГОСТ 25380-82. Измерители плотности тепловых потоков ИПП-2 и ИПП-2М.



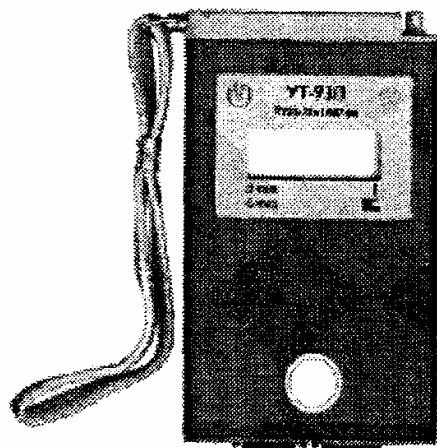
Предназначены для измерения тепловых потоков, проходящих через одно- и многослойные ограждающие конструкции сооружений по ГОСТ 25380.

28. ГОСТ 7076-99 ТУ 4276-002-01227131-97. Прибор ИТП-МГ4.



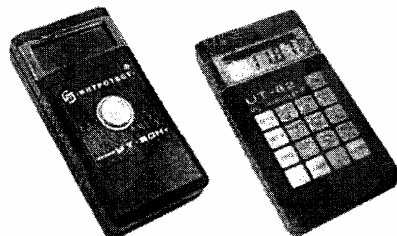
Предназначен для определения теплопроводности строительных материалов в образцах методом измерения плотности стационарного теплового потока по ГОСТ 7076 и методом теплового зонда в образцах и изделиях.

29. ТУ 25-7761.007-86. Толщиномер ультразвуковой УТ-93П.



Предназначен для измерения толщины изделий из конструкционных металлических сплавов при одностороннем доступе к ним.

30. ГОСТ 23049-84. Толщиномеры ультразвуковые типа УТ-82 и УТ-80М.



УТ-80М

УТ-82

Предназначены для измерения толщины различных изделий при одностороннем доступе к ним.

31. ГОСТ 28277-89. Толщиномеры типа А1207.



А1207С

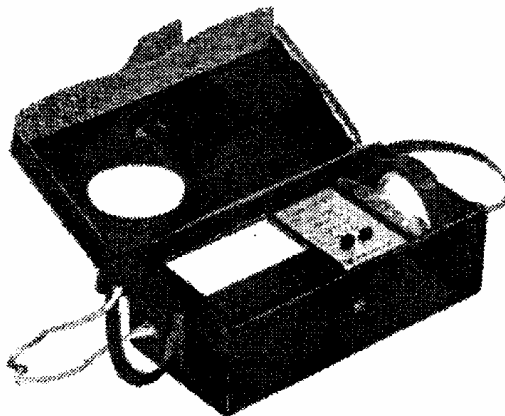
А1207

Предназначены для измерения толщины стенок металлических труб, котлов, сосудов и обшивок с шероховатостью поверхностей до Rz160, а также для измерения толщины изделий из пластика.

Прибор А1207 может также применяться для оценки износа рельсов. Встроенная система адаптации в А1208 и А1209 (патент РФ №2082160) позволяет контролировать корродированные трубы малого диаметра и плоские изделия с гладкими поверхностями с помощью одного УЗ-преобразователя.

Приборы могут применяться в химической, пищевой, нефтегазовой промышленности, судостроении, судоремонте, тепловой и атомной энергетике, на трубопрокатных, машиностроительных и транспортных предприятиях, в коммунальном хозяйстве.

32. ТУ 25-04-3098-76. Люксметр Ю-116.



Предназначен для контроля освещенности, создаваемой лампами накаливания и естественным светом.

33. ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические требования.

34. ГОСТ 22520-85*. Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП. Общие технические условия.

35. ГОСТ 28836-90. Датчики силоизмерительные тензорезисторные. Общие технические требования и методы испытаний.

36. ГОСТ 166-89*. Штангенциркули. Технические условия.

37. ГОСТ 427-75*. Линейки измерительные металлические. Технические условия.

38. ГОСТ 3749-77*. Угольники поверочные 90°. Технические условия.

39. ГОСТ 5378-88. Угломеры с нониусом. Технические условия.

40. ГОСТ 5584-75*. Индикаторы рычажно-зубчатые с ценой деления 0,01 мм. Технические условия.

41. ГОСТ 6507-90*. Микрометры. Технические условия.

42. ГОСТ 7470-92. Глубиномеры микрометрические. Технические условия.

43. ГОСТ 7502-98. Рулетки измерительные металлические. Технические условия.

44. ГОСТ 9696-82*. Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм. Технические условия.

Нормативные документы для испытания
строительных материалов и конструкций

1. ГОСТ 26877-91.Metalлопродукция. Методы измерения отклонений формы.
2. ГОСТ 30342-96. Трубы металлические. Методы отбора проб, заготовок и образцов для механических и технологических испытаний.
3. ГОСТ 1497-84*. Металлы. Методы испытания на растяжение.
4. ГОСТ 2999-75*. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.
5. ГОСТ 3248-81*. Металлы. Метод испытания на ползучесть.
6. ГОСТ 3565-80*. Металлы. Метод испытания на кручение.
7. ГОСТ 7268-82*. Сталь. Метод определения склонности к механическому старению по испытанию на ударный изгиб.
8. ГОСТ 9012-59*. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
9. ГОСТ 9013-59*. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.
10. ГОСТ 9454-78*. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
11. ГОСТ 9651-84*. Металлы. Метод испытания на растяжение при повышенных температурах.
12. ГОСТ 23677-79*. Твердомеры для металлов. Общие технические требования.
13. ГОСТ 26126-84*. Контроль неразрушающий. Соединения паяные. Ультразвуковые методы контроля качества.
14. ГОСТ 30415-96*. Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом.
15. ГОСТ 22536.1-88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения общего углерода и графита.
16. ГОСТ 22536.2-87*. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения серы.
17. ГОСТ 22536.3-88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения фосфора.
18. ГОСТ 22536.4-88. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения кремния.

Продолжение прил. 2

19. ГОСТ 22536.5-87*. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения марганца.

20. ГОСТ 22536.14-88. Сталь и чугун. Методы спектрографического анализа.

21. ГОСТ 12503-75*. Сталь. Методы ультразвукового контроля. Общие требования.

22. ГОСТ 30415-96*. Сталь. Неразрушающий контроль механических свойств и микроструктуры металлопродукции магнитным методом.

23. ГОСТ 5781-82*. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.

24. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия.

25. ГОСТ 12004-81*. Сталь арматурная. Методы испытаний на растяжение.

26. ГОСТ 16483.7-71*. Древесина. Методы определения влажности.

27. ГОСТ 16483.10-73*. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон.

28. ГОСТ 16483.11-72*. Древесина. Метод определения условного предела прочности при сжатии поперек волокон.

29. ГОСТ 16483.23-73*. Древесина. Метод определения предела прочности при растяжении вдоль волокон.

30. ГОСТ 16483.24-73*. Древесина. Метод определения модуля упругости при сжатии вдоль волокон.

31. ГОСТ 16483.26-73*. Древесина. Метод определения модуля упругости при растяжении вдоль волокон.

32. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытаний нагружением. Правила оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.

33. ГОСТ 22362-77. Конструкции железобетонные. Метод измерения силы натяжения арматуры.

34. ГОСТ 22904-93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры.

36. ГОСТ 24332-88. Кирпич и камни силикатные. Ультразвуковой метод определения прочности при сжатии.

37. ГОСТ 10060.0-95. Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие положения.

38. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам .

39. ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.

40. ГОСТ 12730.2-78. Бетоны. Метод определения влажности.

41. ГОСТ 12730.3-78. Бетоны. Метод определения водопоглощения.

42. ГОСТ 12730.4-78. Бетоны. Метод определения показателей пористости.

43. ГОСТ 12730.5-84*. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.

44. ГОСТ 12852.0-77. Бетон ячеистый. Общие требования к методам испытаний.

45. ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.

46. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.

47. ГОСТ 22783-77. Бетоны. Метод ускоренного определения прочности на сжатие.

48. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона.

49. ГОСТ 24545-81. Бетоны. Методы испытаний на выносливость.

50. ГОСТ 27677-88. Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний.

51. ГОСТ Р 52892-2007. Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию.

52. ГОСТ Р 52804-2007. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	7
Лабораторная работа № 1 МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	13
Лабораторная работа № 2 ТАРИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ ПРИ ПОМОЩИ ТАРИРОВОЧНОЙ БАЛКИ	27
Лабораторная работа № 3 ИСПЫТАНИЕ ФЕРМЫ В СОСТАВЕ ОДНОЭТАЖНОЙ ОДНОПРОЛЕТНОЙ РАМЫ	34
Лабораторная работа № 4 ИСПЫТАНИЯ СТУПЕНЧАТОЙ КОЛОННЫ В СОСТАВЕ ОДНОЭТАЖНОЙ ОДНОПРОЛЕТНОЙ РАМЫ	40
Лабораторная работа № 5 СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ СТАЛЬНОЙ БАЛКИ	45
Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЯННОЙ ТРЕХШАРНИРНОЙ АРКИ	52
Лабораторная работа № 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА НА СЖАТИЕ МЕТОДОМ УПРУГОГО ОТСКОКА	61
Лабораторная работа № 8 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ИСПЫТАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ	66
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	84
ПРИЛОЖЕНИЯ	87

Учебное издание

Абрашитов Валентин Султанович
Туманов Вячеслав Александрович
Тамбовцев Евгений Николаевич
Туманов Антон Вячеславович

**ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**
Лабораторный практикум

Учебное пособие

Второе издание, дополненное и переработанное

Редактор В.С. Кулакова
Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 19.05.14. Формат 60x84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 7,0.
Заказ № 150. Тираж 80 экз.



Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.