

# **ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ СООРУЖЕНИЙ**

## ВВЕДЕНИЕ

В учебных планах подготовки инженеров по специальностям 290300 “Промышленное и гражданское строительство” и 291100 “Мосты и транспортные тоннели” дисциплина “Обследование и испытания сооружений” отнесена к дисциплинам специальности и является профилирующей.

Основная цель преподавания дисциплины – подготовка специалиста, умеющего применять полученные им знания при оценке надежности строящихся и эксплуатируемых сооружений и строительных конструкций. В ней изучаются методы инженерных обследований объектов, подлежащих капитальному ремонту или реконструкции, освидетельствования конструкций при их изготовлении и в процессе эксплуатации, проведения статических и динамических испытаний конструкций, контроля качества материалов.

Настоящее учебное пособие ставит своей целью помочь студентам в дистанционном изучении дисциплины и выполнении предусмотренной учебным планом заочного обучения контрольной работы. Оно содержит основные сведения о методах обследования технического состояния строительных железобетонных, металлических, деревянных и других конструкций и сооружений, методике натуральных и лабораторных статических и динамических испытаний конструкций и их элементов. Изложены способы измерения деформаций в строительных конструкциях при обследованиях и испытаниях, методы и средства наблюдения за трещинами, указаны приборы и оборудование для определения физико-механических характеристик материалов и конструкций, уделено внимание неразрушающим методам определения свойств материала в сооружениях. Приведены руководства по решению задач, предусмотренных при выполнении контрольной работы. В руководствах показана процедура решения поставленных задач и даны примеры расчетов.

## 1. ОБСЛЕДОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ

### 1.1. Общие сведения

Исследование технического состояния строительных конструкций является самостоятельным направлением инженерной деятельности, охватывающим комплекс вопросов, связанных с обеспечением эксплуатационной надежности зданий и сооружений, с проведением ремонтно-восстановительных работ, а также с разработкой проектной документации по реконструкции зданий и сооружений, усилению конструкций.

Объем проводимых обследований увеличивается с каждым годом, что является следствием ряда факторов: физического и морального износа сооружений и конструкций; перевооружения и реконструкции производственных зданий; реконструкции старой малоэтажной застройки; изменения форм собственности; повышения цен на недвижимость, земельные участки и др. Особенно важно проведение обследований после разного рода техногенных и природных воздействий (пожары, землетрясения и т.п.) и при реконструкции старых сооружений и зданий, что часто связано с изменением действующих нагрузок, изменением конструктивных форм и необходимостью учета современных норм проектирования.

Общей целью обследований технического состояния строительных конструкций является выявление степени физического износа, причин, обуславливающих их состояние, физической работоспособности конструкций и разработка мероприятий по обеспечению их эксплуатационных качеств.

В зависимости от поставленных задач обследования сооружения или здания охватывают следующие этапы:

- предварительное обследование;
- детальное инструментальное обследование;
- определение физико-технических характеристик материалов обследуемых конструкций в лабораторных условиях или с помощью неразрушающих методов;

- обобщение результатов обследований.

Детальное инструментальное обследование включает комплекс работ, связанных с выявлением технического состояния конструкций, включая прочностные и теплотехнические показатели; пригодности их к дальнейшей эксплуатации и факторов, формирующих производственную среду помещений, и их количественные показатели.

### 1.2. Предварительное обследование

Основной задачей предварительного обследования является определение общего состояния строительных конструкций и производственной среды, определение состава намечаемых работ и сбор исходных данных, необходимых для составления технического задания на детальное инструментальное обследование.

Состав работ по предварительному обследованию включает:

- общий осмотр объекта;
- общие сведения об объекте, время строительства, сроки эксплуатации;
- общие характеристики объемно-планировочного, конструктивного решений и систем инженерного оборудования;
- особенности технологии производства с точки зрения их воздействия на строительные конструкции;
- фактические параметры производственной среды, наличие агрессивных к строительным конструкциям технологических и других выделений;
- сведения об антикоррозийных мероприятиях;
- гидрогеологические условия и общие характеристики грунтов основания;
- изучение имеющейся технической документации о ранее проводившихся на данном объекте работах по ремонту, усилению и восстановлению эксплуатационной надежности строительных конструкций.

На стадии предварительного визуального обследования устанавливаются по внешним признакам категории техни-

ческого состояния конструкций в зависимости от имеющихся дефектов и повреждений.

В зависимости от имеющихся повреждений техническое состояние конструкции может быть классифицировано по четырем категориям согласно общим признакам, приведенным в таблице 1.1. В таблицах 1.2, 1.3 и 1.4 приводятся данные для оценки по внешним признакам технического состояния железобетонных, каменных и стальных конструкций.

При предварительном обследовании несущих конструкций обращают особое внимание на колонны, ригели рам, стропильные и подстропильные фермы, прогоны, узлы опирания балок на уступы или консоли, несущие элементы фахверков, подкрановые балки, тормозные фермы, стыки соединения элементов конструкций, на сохранность защитного слоя бетона железобетонных конструкций. Очень важно освидетельствование основных рабочих элементов узлов, сварных, болтовых и других соединений.

Методики обследования воздушной среды помещений, терморационного режима, освещенности, химической агрессивности и других параметров подробно изложены в [1,2,6,10,15,20].

На основании предварительного осмотра составляется рабочая программа детального обследования отдельных строительных конструкций и объекта в целом.

Таблица 1.1

**Общая оценка технического состояния при предварительном обследовании зданий и сооружений**

Категория состояния конструкции	Общие признаки, характеризующие состояние конструкции
1	2
I – нормальное	Отсутствуют видимые повреждения и трещины, свидетельствующие о снижении несущей способности конструкций. Выполняются условия эксплуатации согласно требованиям норм и проектной документации. Необходимость в ремонтно-восстановительных работах отсутствует.

1	2
II – удовлетворительное	Незначительные повреждения, на отдельных участках имеются отдельные раковины, выбоины, волосяные трещины (в металлических конструкциях трещины не допускаются). Антикоррозийная защита имеет частичные повреждения. Обеспечиваются нормальные условия эксплуатации. Требуется текущий ремонт с устранением локальных повреждений без усиления конструкций.
III – неудовлетворительное	Имеются повреждения, дефекты и трещины, свидетельствующие об ограничении работоспособности и снижении несущей способности конструкций. Нарушены требования действующих норм, но отсутствует опасность обрушения и угроза безопасности работающих. Требуется усиление и восстановление несущей способности конструкций.
IV – предаварийное или аварийное	Существующие повреждения свидетельствуют о непригодности конструкции к эксплуатации и об опасности её обрушения, об опасности пребывания людей в зоне обследуемых конструкций. Требуется неотложные мероприятия по предотвращению аварий (устройство временной крепи, разгрузка конструкций и т.п.). Требуется капитальный ремонт с усилением или заменой повреждённых конструкций в целом или отдельных элементов

**1.3. Определение геометрических параметров, прогибов и деформации конструкций**

Процесс обследования строительных конструкций включает работы, характерные практически для всех видов конструкций. К ним относятся следующие виды работ:

- обмерные;
- измерения прогибов и деформаций конструкций;
- методы и средства наблюдений за трещинами.

Состав и количество обмерных работ устанавливаются на этапе предварительных обследований и зависит от задач обследования, наличия проектной документации, проведенных ранее работ по ремонту или реконструкции объекта или отдельных его конструкций.

Обмерами определяются конфигурация, размеры, положение в плане и по вертикали конструкций и их элементов. Проверяют основные размеры конструктивной схемы объекта: длины пролетов, высоты колонн, сечения конструкций, узлы опирания и другие геометрические параметры, от величины которых зависит появление деформаций в элементах конструкций.

При проведении обмерных работ положение основных линий, углов и отметок, от которых производят измерения, должно определяться геодезической съемкой в соответствии с требованиями СНиП 3.01.03-84.

Для обмеров отдельных конструкций и их элементов используют рулетки, складные рейки, наборы металлических линеек и угольников разной длины, штангенциркули, уровни, отвесы и т.д.

В процессе натурных обследований результаты обмеров наносятся на предварительно подготовленные копии рабочих чертежей проекта здания или на эскизы для последующего изготовления обмерных чертежей.

Обмерные чертежи выполняют в масштабе 1:100, чертежи фрагментов и узлов – в масштабе от 1:50 до 1:5.

Методики измерения прогибов и деформаций изложены в разделе 3.

#### **1.4. Методы и средства наблюдения за трещинами**

При обследовании строительных конструкций ответственным этапом является изучение трещин, выявление причин их возникновения и динамики развития.

По степени опасности для несущих и ограждающих конструкций трещины делят на три группы:

- трещины неопасные, ухудшающие только качество лицевой поверхности;
- опасные трещины, вызывающие значительное ослабление сечений, развитие которых продолжается с неослабевающей интенсивностью;

- трещины промежуточной группы, которые ухудшают эксплуатационные свойства, снижают надежность и долговечность конструкций, но не способствуют полному их разрушению.

При наличии трещин на несущих конструкциях зданий и сооружений необходимо организовать систематическое наблюдение за их состоянием и возможным развитием с тем, чтобы выяснить характер деформаций в конструкции и степень их опасности для дальнейшей эксплуатации.

Трещины выявляют путем осмотра поверхностей, а также выборочного снятия с конструкций защитных или отделочных покрытий. Следует определить положение, форму, направление, распространение по длине, ширину раскрытия, глубину, а также установить, продолжается или прекратилось их развитие.

На трещине устанавливают маяк, который при развитии трещины разрывается. Маяк устанавливают в месте наибольшего развития трещины. При наблюдении за развитием трещины по длине концы трещины во время каждого осмотра фиксируют поперечными штрихами. Рядом с каждым штрихом проставляют дату осмотра. Расположение трещин схематично наносят на чертеж развертки стен здания или конструкции, отмечая номера и дату установки маяков. На каждую трещину составляют график ее развития и раскрытия. По результатам систематических осмотров составляют акт, в котором указывают дату осмотра, чертеж с расположением трещин и маяков, сведения об отсутствии или появлении новых трещин.

Маяк представляет собой пластину длиной 200-250 мм, шириной 40-50 мм, высотой 6-10 мм, наложенную поперек трещины. Изготавливают маяк из гипса или цементно-песчаного раствора. В качестве маяка используют также две стеклянные или металлические пластинки, закрепленные одним концом каждая с разных сторон трещины, или рычаж-

ную систему. Разрыв маяка или смещение пластинок по отношению друг к другу свидетельствует о развитии деформаций.

Маяк устанавливают на основной материал стены, удалив предварительно с ее поверхности штукатурку. Рекомендуется размещать маяки также в предварительно вырубленных штрабах. В этом случае штрабы заполняют гипсом или цементно-песчаным раствором.

Осмотр маяков производят через неделю после их установки, затем не реже одного раза в месяц. При интенсивном трещинообразовании обязателен ежедневный контроль.

Ширина раскрытия трещин в процессе наблюдений измеряется при помощи щелемеров или трещиномеров. В журнале наблюдений фиксируют номер и дату установки маяка, место и схему расположения, первоначальную ширину трещины, изменение со временем длины и глубины трещины. В случае деформации маяка рядом с ним устанавливают новый, которому присваивают тот же номер, но с индексом. Маяки, на которых появились трещины, не удаляют до конца наблюдений.

Если в течение 30 суток изменение размеров трещин не будет зафиксировано, их развитие можно считать законченным, маяки можно снять и трещины заделать.

### 1.5. Обследование бетонных и железобетонных конструкций

Оценка технического состояния конструкций по внешним признакам производится на основе определения следующих факторов:

- геометрических размеров и сечений;
- наличия трещин, отколов и разрушений;
- нарушения сцепления арматуры с бетоном;
- наличия разрыва арматуры;
- состояния анкеровки продольной и поперечной арматуры;
- степени коррозии арматуры и бетона.

Данные для оценки технического состояния железобетонных конструкций по внешним признакам приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

#### Оценка технического состояния железобетонных конструкций по внешним признакам

Категории состояния конструкции	Признаки состояния конструкций
1	2
I – нормальное	На поверхности бетона незащищённых конструкций видимых дефектов и повреждений нет или имеются небольшие отдельные выбоины, сколы, волосяные трещины (не более 0.1 мм). Антикоррозийная защита конструкций и закладных деталей не имеет нарушений. Поверхность арматуры при вскрытии чистая, коррозии арматуры нет, глубина нейтрализации бетона не превышает половины толщины защитного слоя. Ориентировочная прочность бетона не ниже проектной. Цвет бетона не изменён. Величина прогибов и ширина раскрытия трещин не превышает допустимую по нормам.
II - удовлетворительное	Антикоррозийная защита железобетонных элементов имеет частичные повреждения. На отдельных участках в местах с малой величиной защитного слоя проступают следы коррозии распределительной арматуры или хомутов, коррозия рабочей арматуры отдельными точками или пятнами; потери сечения рабочей арматуры не более 5%; глубоких язв и пластинок ржавчины нет. Антикоррозийная защита закладных деталей не обнаружена. Глубина нейтрализации бетона не превышает толщины защитного слоя. Изменён цвет бетона, местами отслоение защитного слоя бетона при простукивании. Шелушение граней и рёбер конструкций, подвергшихся замораживанию. Ориентировочная прочность бетона в пределах защитного слоя ниже проектной не более 10%. Удовлетворяются требования действующих норм, относящихся к предельным состояниям I группы; требования норм по предельным состояниям II группы могут быть частично нарушены, но обеспечиваются условия нормальной эксплуатации.

Продолжение табл. 1.2.

Окончание табл. 1.2.

1	2
III - неудовлетворительное	<p>Трещины в растянутой зоне бетона, превышающие их допустимое раскрытие. Трещины в сжатой зоне и в зоне главных растягивающих напряжений, прогибы элементов, вызванные эксплуатационными воздействиями, превышают допустимые более чем на 30%. Бетон в растянутой зоне на глубине защитного слоя между стержнями арматуры легко крошится. Пластинчатая ржавчина или язвы на стержнях оголённой рабочей арматуры в зоне продольных трещин или на закладных деталях, вызывающие уменьшение площади сечения стержней от 5 до 15%. Снижение ориентировочной прочности бетона в сжатой зоне изгибаемых элементов до 30 и в остальных участках – до 20%. Провисание отдельных стержней распределительной арматуры, выпучивание хомутов, разрыв отдельных из них, за исключением хомутов сжатых элементов ферм вследствие коррозии стали (при отсутствии в этой зоне трещин). Уменьшенная против требований норм и проекта площадь опирания сборных элементов при коэффициенте заноса <math>K=1.6</math> (см. примечание). Высокая водо- и воздухопроницаемость стыков стеновых панелей.</p>
IV- предаварийное или аварийное	<p>Трещины в конструкциях, испытывающих знакопеременные воздействия, в том числе пересекающие опорную зону анкеровки растянутой арматуры; разрыв хомутов в зоне наклонной трещины в средних пролётах многопролётных балок и плит, а также слоистая ржавчина или язвы, вызывающие уменьшение площади сечения арматуры более 15%; выпучивание арматуры сжатой зоны конструкций; деформация закладных и соединительных элементов; отходы анкеров от пластин закладных деталей из-за коррозии стали в сварных швах, расстройство стыков сборных элементов с взаимным смещением последних; смещение опор; значительные (более 1/50 пролёта) прогибы изгибаемых элементов при наличии трещин в растянутой зоне с раскрытием более 0.5 мм; разрыв хомутов сжатых элементов ферм; разрыв хомутов в зоне наклонной трещины; разрыв отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне; раздробление бетона и выкрошивание заполнителя в сжатой зоне. Снижение прочности бетона в сжатой зоне изгибаемых элементов и в остальных участках более 30%. Уменьшенная против требований норм и проекта площадь опирания сборных элементов. Существующие трещины, прогибы и другие повреждения, которые свидетельствуют об опасности разрушения конструкций и возможности их обрушения.</p>

**Примечания:** 1. Для отнесения конструкции к перечисленным в таблице категориям состояния достаточно наличие хотя бы одного признака, характеризующего эту категорию.

2. Предварительно напряжённые железобетонные конструкции с высокопрочной арматурой, имеющие признаки II категории состояния, относятся к III категории, а имеющие признаки III категории – соответственно к IV категории в зависимости от опасности обрушения.

3. При уменьшенной против требований норм и проекта площади опирания сборных элементов необходимо провести ориентировочный расчёт опорного элемента на срез и смятие бетона. В расчёте учитываются фактические нагрузки и прочность бетона.

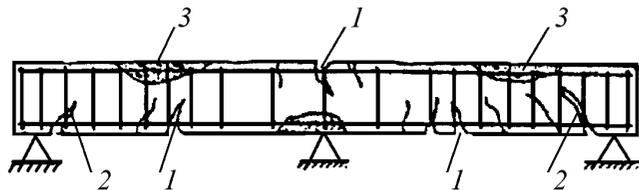
4. Отнесение обследуемой конструкции к той или иной категории состояния при наличии признаков, не отмеченных в таблице, в сложных и ответственных случаях должно производиться на основе анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций, выполняемых специализированными организациями.

Определение геометрических параметров конструкций и их сечений, ширины и глубины раскрытия трещин производится по рекомендациям, изложенным выше. При этом фиксируются все отклонения от проектного положения.

В железобетонных конструкциях наиболее часто встречаются следующие виды трещин:

1) в изгибаемых элементах, работающих по балочной схеме (балки, прогоны) возникают трещины (см. рис. 1.), перпендикулярные (нормальные) к продольной оси, вследствие появления растягивающих напряжений в зоне действия максимальных моментов и трещины, наклонные к продольной оси, вызванные главными растягивающими напряжениями в зоне действия существенных перерезывающих сил и изгибающих моментов. Вертикальные и наклонные трещины в пролетных участках балок и прогонов свидетельствуют о недостаточной их несущей способности по изгибающему моменту. В изгибаемых элементах, как правило, появлению трещин способствует также увеличение прогибов и углов поворота. Образование наклонных трещин на опорных концах балок и прогонов свидетельствует о недостаточной несущей способности по наклонным сечениям. Раздробление бетона

сжатой зоны сечений в изгибаемых элементах указывает на истощение несущей способности конструкции;

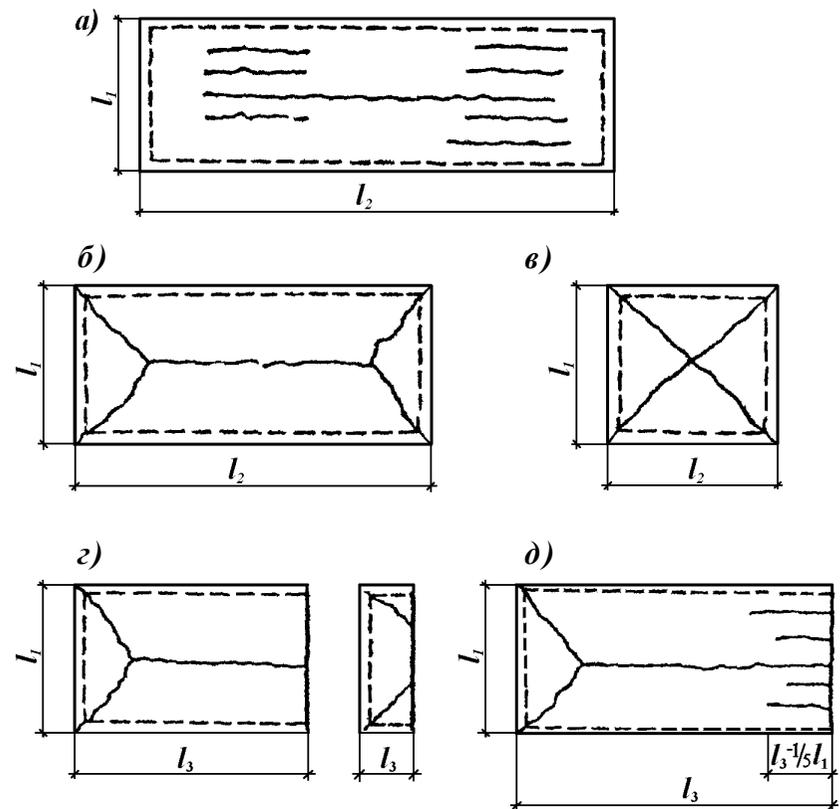


**Рис. 1.** Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах, работающих по балочной схеме:

1 - нормальные трещины в зоне максимального изгибающего момента; 2 - наклонные трещины в зоне максимальной поперечной силы; 3 - трещины и раздробление бетона в сжатой зоне элемента

2) в плитах трещины возникают (см. рис. 2) в средней части плиты (имеют направление поперек рабочего пролета и максимальное раскрытие на нижней поверхности), на опорных участках (имеют направление поперек рабочего пролета и максимальное раскрытие на верхней поверхности плиты). Возникают также радиальные и концевые трещины с возможным отпадением защитного слоя и разрушением бетона плиты и трещины вдоль арматуры по нижней плоскости стены. Трещины на опорных участках плит поперек рабочего пролета свидетельствуют о недостаточной несущей способности по изгибающему опорному моменту. Смятие бетона сжатой зоны указывает на опасность полного разрушения плиты;

3) в колоннах образуются вертикальные и горизонтальные трещины. Трещины на гранях могут появиться в результате чрезмерного изгиба стержней арматуры. Продольные трещины вдоль арматуры в сжатых элементах (рис. 3, а) свидетельствует о разрушениях, связанных с потерей устойчивости (выпучиванием) продольной сжатой арматуры из-за недостаточного количества арматуры поперечной (редко поставлены хомуты). Горизонтальные трещины в железобетонных колоннах не представляют непосредственной опасности, если ширина их не велика, но могут способствовать коррозии металла.



**Рис. 2.** Характерные трещины на нижней поверхности плит:

а - работающих по балочной схеме при  $l_2/l_1 \geq 3$ ; б - опертых по контуру при  $l_2/l_1 < 3$ ; в - то же при  $l_2/l_1 = 1$ ; г - опертых по трем сторонам при  $l_2/l_1 \geq 1,5$ ; д - то же при  $l_2/l_1 > 1,5$

Поперечная трещина через все сечение характерна для растянутого элемента. Такие трещины просматриваются на всех гранях элемента, опоясывают его. Трещины у торцов предварительно напряженных элементов, ориентированные

вдоль арматуры, указывают на нарушение анкеровки арматуры. Об этом свидетельствуют и наклонные трещины в приопорных участках (рис. 3, б). Характерные повреждения в железобетонных фермах с нижним предварительно напряженным поясом показаны на рис. 3, в.

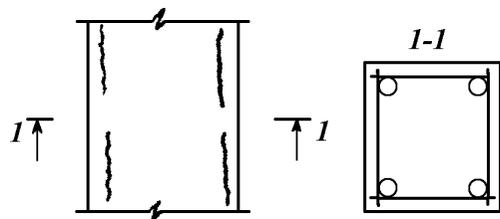


Рис. 3, а. Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах

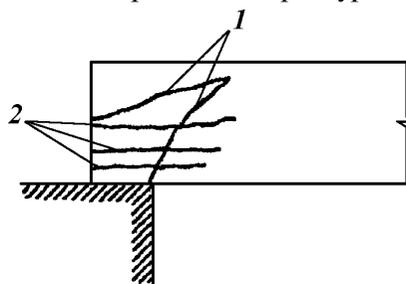


Рис.3, б. Трещины в опорной части предварительно напряженного элемента: 1 - при нарушении анкеровки напряженной арматуры; 2 - при недостаточности косвенного армирования сечения на действие усилия обжатия

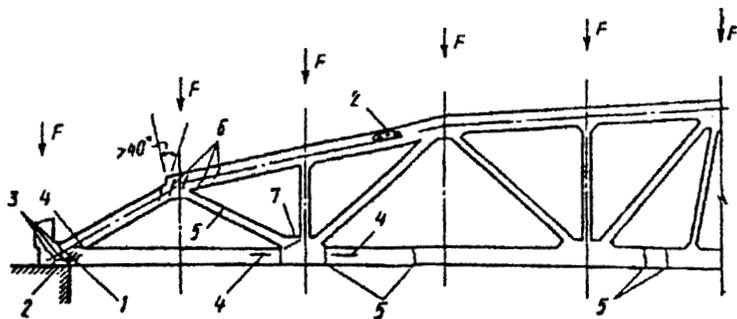


Рис.3. в. Характерные повреждения в железобетонных фермах с нижним предварительно напряженным поясом:

1 - наклонная трещина опорного узла; 2 - откол лещадок; 3 - лучеобразные и вертикальные трещины; 4 - горизонтальная трещина; 5 - вертикальные (нормальные) трещины в растянутых элементах; 6 - наклонные трещины в сжатом поясе фермы; 7 - трещины в узле нижнего пояса в месте примыкания растянутого раскоса

Дефекты в виде трещин и отслоения бетона вдоль арматуры могут быть вызваны и коррозионным разрушением арматуры за счет нарушения сцепления продольной и поперечной арматуры с бетоном. Процессы коррозии железобетонных конструкций (арматуры и бетона) и методы защиты от нее очень сложны и разнообразны (см. [1, 15] и др.).

Подробно вопросы обследования железобетонных конструкций изложены в [1, 2, 6, 14].

### 1.6. Обследование каменных и армокаменных конструкций

При оценке технического состояния каменных конструкций необходимо установить:

- качество кладки, ширину и глубину швов;
- влажностное состояние кирпичных наружных стен;
- степень развития трещин и других деформаций в поврежденной зоне;
- стрелу отклонения или выпучивания стен, столбов и колец;
- процент уменьшения сечения в месте повреждения;
- физико-механические свойства кладки, камня и раствора.

Данные для оценки категории технического состояния каменных конструкций приводятся в таблице 1.3.

Каменная кладка является неоднородным упругопластическим телом, состоящем из камней и швов, заполненных раствором. Этим обуславливаются следующие особенности ее работы: при сжатии кладки усилие передается неравномерно вследствие местных неровностей и неодинаковой плотности отдельных участков затвердевшего ра-

створа. В результате камни подвергаются не только сжатию, но также изгибу и срезу.

Продолжение табл. 1.3

Таблица 1.3

**Оценка технического состояния каменных конструкций по внешним признакам**

Признаки состояния конструкций	Категория состояния конструкций
1	2
I – нормальное	Конструкция не имеет видимых деформаций, повреждений и дефектов. Наиболее напряжённые элементы кладки не имеют вертикальных трещин и выгибов, свидетельствующих о перенапряжении и потере устойчивости конструкций. Снижение прочности камня и раствора не наблюдается. Кладка не увлажнена. Горизонтальная гидроизоляция не имеет повреждений. Конструкция отвечает предъявляемым к ней эксплуатационным требованиям.
II - удовлетворительное	Имеются слабые повреждения. Волосяные трещины, пересекающие не более двух рядов кладки (длиной не более 15 см). Размораживание и выветривание кладки, отделение облицовки на глубину до 15% толщины. Несущая способность достаточна.
III - неудовлетворительное	Средние повреждения. Размораживание и выветривание кладки, отслоение от облицовки на глубину до 25% толщины. Вертикальные и косые трещины (независимо от величины раскрытия) в нескольких стенах и столбах, пересекающие не более двух рядов кладки. Волосяные трещины при пересечении не более четырех рядов кладки при числе трещин не более четырёх на 1 м ширины (толщины) стены, столба или простенка. Образование вертикальных трещин между продольными и поперечными стенами: разрывы или выдёргивание отдельных стальных связей и анкеров крепления стен к колоннам и перекрытиям. Местное (краевое) повреждение кладки на глубину до 2 см под опорами ферм, балок, прогонов и перемычек в виде трещин и площадок, вертикальные трещины по концам опор, пересекающие не более двух рядов. Смещение плит перекрытий на опорах не более 1/5 глубины

1	2
IV – предаварийное или аварийное	<p>заделки, но не более 2 см. В отдельных местах наблюдается увлажнение каменной кладки вследствие нарушения горизонтальной гидроизоляции, карнизных свесов, водосточных труб. Снижение несущей способности кладки до 25%. Требуется временное усиление несущих конструкций, установка дополнительных стоек, упоров, стяжек.</p> <p>Сильные повреждения. В конструкциях наблюдаются деформации, повреждения и дефекты, свидетельствующие о снижении их несущей способности до 50%, но не влекущие за собой обрушения. Большие обвалы в стенах. Размораживание и выветривание кладки на глубину до 40% толщины. Вертикальные и косые трещины (исключая температурные и осадочные) в несущих стенах и столбах на высоте 4 рядов кладки. Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа на 1/3 и более их толщины. Ширина раскрытия трещин в кладке от неравномерной осадки здания достигает 50 мм и более, отклонение от вертикали на величину более 1/50 высоты конструкции. Смещение (сдвиг) стен, столбов, фундаментов по горизонтальным швам или косой штрабе. В конструкции имеет место снижение прочности камней и раствора на 30-50% или применение низкопрочных материалов. Отрыв продольных стен от поперечных в местах их пересечения, разрывы или выдергивание стальных связей и анкеров, крепящих стены к колоннам и перекрытиям. В кирпичных сводах и арках образуются хорошо видимые характерные трещины, свидетельствующие об их перенапряжении и аварийном состоянии. Повреждение кладки под опорами ферм, балок, и перемычек в виде трещин, раздробление камня или смещения рядов кладки по горизонтальным швам на глубину более 20 мм. Смещение плит перекрытий на опорах более 1/5 глубины заделки в стене.</p> <p>В кладке наблюдаются зоны длительного замачивания, промораживания и выветривания кладки и её разрушение на глубину 1/5 толщины стены и более. Происходит расслоение кладки по вертикали на отдельные самостоятельно работающие столбики. Наклоны и выпучивание стен в пределах этажа на 1/3 их толщины и более. Смещение (сдвиг) стен, столбов и фундаментов по горизонтальным швам. Наблюдается</p>

Окончание табл. 1.3

1	2
	<p>полное корродирование металлических затяжек и нарушение их анкеровки. Отрыв продольных стен от поперечных в местах их пересечения, разрывы и выдергивание стальных связей и анкером, крепящих стены к колоннам и перекрытиям.</p> <p>Горизонтальная гидроизоляция полностью разрушена. Кладка в этой зоне легко разбирается с помощью ломика. Камень крошится, расслаивается. При ударе молотком по камню звук глухой.</p> <p>Наблюдается разрушение кладки от смятия в опорных зонах ферм, балок, перемычек. Происходит разрушение отдельных конструкций и частей здания. В конструкциях наблюдаются деформации и дефекты, свидетельствующие о потере ими несущей способности свыше 50%. Возникает угроза обрушения. Необходимо запретить эксплуатацию аварийных конструкций, прекратить технологический процесс и немедленно удалить людей из опасных зон. Требуются срочные мероприятия по исключению аварии и обрушения конструкций – установка стоек, упоров и т.п.</p>
<p><b>Примечания:</b> 1. Для отнесения конструкции к перечисленным в таблице категориям состояния достаточно наличия хотя бы одного признака, характеризующего эту категорию.</p> <p>2. Отнесение обследуемой конструкции к той или иной категории состояния при наличии признаков, не отмеченных в таблице, в сложных и ответственных случаях, особенно с остановкой производства, должно производиться на основе детальных инструментальных обследований, выполняемых специализированными организациями.</p>	

Среди возможных причин возникновения дефектов следует выделить механические, в том числе динамические, коррозионные, температурные, влажностные воздействия, а также дефекты, обусловленные неравномерностью осадок оснований. Они могут быть вызваны разной степенью загрузки соседних участков стен, разностью технологических условий на смежных участках, а также следствием вымывания грунта из-под фундамента грунтовыми водами, замачивания просадочных грунтов и др.

Важным этапом обследования каменных конструкций является установление деформативно-прочностных характеристик кладки. Обнаруженные в несущих каменных конст-

рукциях трещины следует оценивать с позиции работы кладки при сжатии. Различают четыре стадии работы кладки под нагрузкой при ее сжатии, приведенные на рис. 4.

Основными внешними признаками отклонения или выпучивания стен являются: смещение или выход из гнезд в каменных стенах концов балок междуэтажных перекрытий; тоже стропил, обрешетки крыши и т.п.; наличие вертикальных трещин; отслоение наружных стен от внутренних поперечных в местах взаимного примыкания. Отклонение стен, даже самое незначительное, можно обнаружить по наличию трещин в штукатурке потолков около карнизов вдоль обследуемых стен. Протяженность таких трещин в уровне того или иного этажа показывает присутствие отклонений стены в пределах ее длины.

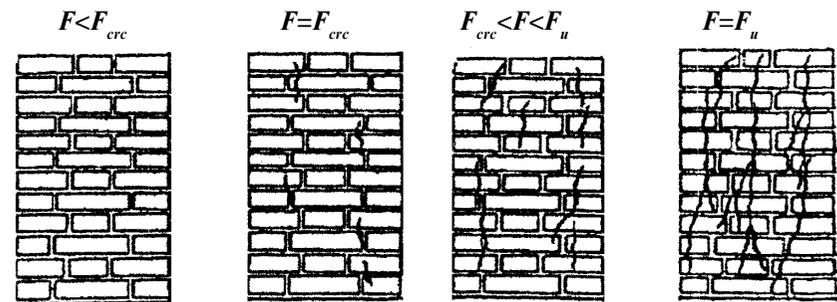


Рис. 4. Стадии работы кладки при сжатии:

$F$  - усилие в кладке;  $F_{crc}$  - усилие в кладке, при котором образуются трещины;  $F_u$  - разрушающее усилие

При определении качества кладки отмечают вид и сорт кирпича (красный, силикатный, пустотелый и т. п.), его качество (железняк, нормальный, алый, недожог и т.п.), а также вид раствора (цементный, известковый и т.д.).

Фактическую толщину горизонтальных швов кладки устанавливают замером высоты 5-10 рядов кладки и соответствующим подсчетом средних значений. Если в среднем толщина горизонтальных швов превышает 12 мм, то кладка считается пониженной прочности, и необходимо вводить к предельным сопротивлениям коэффициент снижения.

При обследовании армокаменных конструкций следует особое внимание уделить состоянию арматуры и защитного слоя цементного раствора.

Подробно вопросы обследования каменных и армокаменных конструкций изложены в [1,2,6,14,18].

### 1.7. Обследование стальных конструкций

Дефекты и повреждения стальных конструкций в зависимости от причин, их вызывающих можно разделить на следующие группы:

1. Повреждения от силовых воздействий (статических и динамических) – разрывы, потеря устойчивости, трещины, расшатывание соединений, деформации выше предельных и т.д.

2. Повреждения от механических воздействий – вмятины, прогибы, искривления, истирание и т.п.

3. Повреждения от физических воздействий – коробление и разрушение при высоких температурах, хрупкие трещины при отрицательных температурах.

4. Повреждения от электрохимических и физико-химических воздействий – коррозия металла.

Оценку степени конкретных повреждений производят по допускаемым отклонениям на соответствующие дефекты, регламентируемые СНиП II-23-81\*. Данные для оценки категории технического состояния конструкций по внешним признакам приводятся в таблице 1.4.

Оценку технического состояния конструкций по внешним признакам производят на основе определения следующих факторов:

- геометрических размеров конструкций и их сечений;
- наличия разрывов элементов конструкций;
- наличия искривлений элементов;
- состояния антикоррозийных защитных покрытий;
- дефектов и механических повреждений;
- состояния сварных, болтовых и заклепочных соединений; степени и характера коррозии элементов и соединений;

· отклонения элементов от проектного положения (расстояния между осями ферм, прогонами, отметок опорных узлов и ригелей и т.п.);

· прогибов и деформаций.

Таблица 1.4

### Оценка категории технического состояния стальных конструкций по внешним признакам

Признаки состояния конструкций	Категория состояния конструкций
I - нормальное	Отсутствуют признаки, характеризующие износ конструкций и повреждения защитных покрытий
II - удовлетворительное	Местами разрушено антикоррозийное покрытие. На отдельных участках коррозия отдельными пятнами с поражением до 5% сечения, местные погнутости от ударов транспортных средств и другие повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 5%.
III - неудовлетворительное	Прогибы изгибаемых элементов превышают 1/150 пролёта. Пластинчатая ржавчина с уменьшением площади сечения несущих элементов до 15%. Местные погнутости от ударов транспортных средств и другие механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 15%. Погнутость узловых фасонки ферм.
IV - предаварийное или аварийное	Прогибы изгибаемых элементов более 1/75 пролёта. Потеря местной устойчивости конструкций (выпучивание стенок и поясов балок и колонн). Срез отдельных болтов или заклёпок в многоболтовых соединениях. Коррозия с уменьшением расчётного сечения несущих элементов до 25% и более. Трещины в сварных швах или околошовной зоне. Механические повреждения, приводящие к ослаблению сечения до 25%. Отклонения ферм от вертикальной плоскости более 15 мм. Расстройство узловых соединений от проворачивания болтов или заклёпок; разрывы отдельных растянутых элементов; наличие трещин в основном материале элементов; расстройство стыков и взаимное смещение опор. Требуется срочные мероприятия по исключению аварии и обрушения конструкций.
<p><b>Примечания:</b> 1. Для отнесения конструкции к перечисленным в таблице категориям состояния достаточно наличие одного признака, характеризующего эту категорию.</p> <p>2. Отнесение обследуемой конструкции к той или иной категории состояния, при наличии признаков, не отмеченных в таблице, в сложных и ответственных случаях должно производиться на основе анализа напряжённо-деформированного состояния конструкций, выполняемых специализированными организациями.</p>	

При обследовании отдельных видов стальных конструкций следует учитывать их особенности и условия эксплуатации.

Основной особенностью конструкций покрытий является наличие тонкостенных и гибких стержней, имеющих сложную конфигурацию сечения. Конструкции покрытий имеют довольно четкую расчетную схему, дающую близкое соответствие теоретических расчетных и действительных усилий в элементах. В результате конструкции покрытий имеют мало не учтенных резервов несущей способности и очень чувствительны к общим и местным перегрузкам в период эксплуатации.

Наиболее чувствительны к перегрузкам прогоны кровли, получающие остаточные прогибы и теряющие прямолинейность. Чувствительны к общим и местным нагрузкам сжатые стержни решетки в средней части ферм, имеющие в фермах с уклоном верхнего пояса  $1/8 - 1/12$  пролета большую длину и гибкость. Такие стержни могут потерять устойчивость.

При обследовании конструкций покрытий обращают внимание на:

- трещины в стыковых накладках и узловых фасонках поясов стропильных и подстропильных ферм, особенно растянутых элементов;
- криволинейность поясов и решеток ферм, особенно сжатых элементов, остаточные прогибы ферм;
- состояние узлов ферм, особенно опорных.

Расчет колонн производится на суммарное воздействие большого числа нагрузок, вероятность одновременного воздействия которых весьма мала. Поэтому фактические усилия в колоннах зачастую значительно меньше расчетных и колонны обладают запасами несущей способности, а также лучше сопротивляются механическим воздействиям и имеют большую стойкость коррозии. При обследовании колонн и связей по колоннам уделяют внимание общей геометрической форме колонн, местным прогибам, вмятинам и повреждениям поясов и элементов решетки, качеству сварных

швов в соединениях, состоянию анкерных креплений, поврежденным коррозией элементам.

При оценке технического состояния стальных конструкций, пораженных коррозией, определяют вид коррозии, ее количественную характеристику. Основные виды коррозии: сплошная – коррозия распределена по всей поверхности; пятнами; язвенная – отдельные или множественные повреждения, глубина и поперечные размеры которых (до нескольких миллиметров) соизмеримы; точечная – разрушение в виде отдельных мелких (не более 2 мм в диаметре) и глубоких язвочек. К количественным показателям коррозионных поражений относятся их площадь, глубина язв, величина потери сечения, скорость коррозии. Величину потери сечения выражают в процентах начальной толщины.

Сварной шов и околошовная зона могут быть наиболее вероятными очагами возникновения коррозии и трещин. Обследованию сварных соединений уделяют особое внимание. Проводят внешний осмотр, определяют размеры катетов швов, измеряют обнаруженные повреждения.

Выявление повреждений болтовых и заклепочных соединений проводят их внешним осмотром. Проверяют плотность соединений, подвижность заклепок. Ослабление заклепок обнаруживается также по ржавым подтекам из под головки и по венчикам пыли вокруг нее.

Выявленные фактические характеристики конструкций и их элементов сопоставляют с требованиями нормативных документов – СНиП II-23-81\* “Стальные конструкции. Нормы проектирования”, СНиП III-18-75 “Металлические конструкции. Правила производства и приемки работ”, других нормативных документов. На основании результатов обследований производятся расчеты несущей способности элементов и конструкции в целом с целью разработки рекомендаций по дальнейшей их эксплуатации и восстановлению их несущей способности.

Подробно вопросы обследования металлических конструкций изложены в [1,2,4,6,19].

### 1.8. Обследование деревянных конструкций

Древесина – эффективный строительный материал, но он имеет ряд отрицательных свойств: неоднородность строения и пороки (сучки, косослой и др.), быстрое увлажнение, набухаемость, низкая огнестойкость, быстрое разрушение грибами и жучками. Поэтому обеспечение долговечности деревянных конструкций зависит от выполнения требований к древесине и деревянным конструкциям, изложенных в СНиП II-25-80 и СНиП 2.01.08-85 и ГОСТах 8486-86Е, 2625-83, 9462-88 и 9363-88.

Основными признаками, характеризующими техническое состояние деревянных конструкций, являются: прочностные показатели, прогибы и деформации, влажностное состояние, биоповреждение (грибками и жуками), коррозия металлических накладок, скоб, хомутов, болтов и др.

При обследовании особое внимание уделяют проверке состояния защиты от увлажнения атмосферными осадками, грунтовыми и талыми водами, производственными водами и др.; противопожарной защиты и защиты от гнилостных грибков и насекомых-древоточцев.

Признаками поражения деревянных конструкций грибом являются: спертый грибной запах в помещении, наличие образований на поверхности конструкций, изменение цвета, потеря прочности, растрескивание. Признаками поражения жуками-древоточцами являются: наличие отверстий и выпадение из них бурой муки.

Следует обратить внимание при обследовании на состояние изоляции узлов опирания несущих деревянных конструкций на фундаменты, кирпичные стены, колонны и другие элементы конструкций при непосредственном их контакте, состояние подкладок (подушек) в опорных частях несущих деревянных конструкций, которые должны быть из антисептированной древесины.

Проверку состояния древесины пола, перегородок, подшивки потолков, опор балок и ферм производят путем выборочных вскрытий. В междуэтажных перекрытиях вскрытие осуществляют на участках между балками на площади не менее 0,5 кв.м. На накатах убирают засыпку, а с поверхности

перегородок и потолков – штукатурку на участках 30×30 см. Вскрытие целесообразно производить также и в местах прохождения водопроводных и канализационных труб.

Результаты обследований и определения фактических характеристик деревянных конструкций и их элементов сопоставляют с требованиями СНиП II-25-80, СНиП 2.03.11-85 и других нормативных документов. Проводятся проверочные расчеты и разрабатываются рекомендации по дальнейшей эксплуатации и восстановлению их несущей способности и эксплуатационной надежности. Более подробную информацию по обследованию состояния деревянных конструкций можно получить в [1,2,6,15] и др.

### 1.9. Ограждающие конструкции

Определение технического состояния ограждающих конструкций производят визуально и путем инструментальных исследований.

**Стены.** При визуальном осмотре определяют конструктивную схему стен (несущие, самонесущие или навесные) и вид материалов, тип кладки, толщину швов для кирпичных и блочных стен; состояние участков опирания балок, прогонов, плит на стены; наличие дефектных участков, трещин, отклонений от вертикали, а также разрушение защитного слоя; наличие высолов, потеков и др. Проводят проверку состояния водоотводящих устройств на крышах (желобов, труб, карнизных свесов), подоконных сливов и т.д. В местах разрушения защитных устройств определяют состояние несущих элементов стен.

Основной причиной образования трещин, разрушения и деформации стен является периодическое их увлажнение и высыхание в сочетании с знакопеременными перепадами температур. Не малую роль играет неравномерная осадка фундаментов.

В помещениях с высокой влажностью или мокрыми технологическими процессами разрушение стен происходит вследствие ухудшения свойств материала пароизоляции или плотного наружного слоя, способствующего накоплению влаги в толще стены в зимних условиях.

В процессе надстройки этажей часто перегруженными оказываются стены нижнего этажа, о чем свидетельствуют вертикальные трещины, а в более сложных случаях – раковинобразное отваливание участков кирпичных стен.

**Покрытия и кровли.** Техническое состояние конструкций покрытия определяется состоянием его несущей и ограждающей частей. Из всех элементов ограждающей части покрытия в наиболее сложных условиях находится кровля. Она подвергается воздействию солнечной радиации, больших температурных перепадов, атмосферных осадков и агрессивных примесей в них, механическим воздействиям.

Осмотр покрытия производят со стороны кровли и стороны помещений. При этом определяют:

- конструктивные схемы покрытия, карнизных узлов, закладных деталей креплений;
- состояние нижней поверхности покрытия, в том числе наличие коррозии бетона и арматуры;
- состояние защитных покрытий;
- толщину элементов покрытия и кровли;
- наличие дефектных участков (трещин, пробоин, прогибов), высолов, потеков, конденсата, пыли, их распространение и причины появления.

При обследовании кровель из рулонных материалов обследуют:

- состояние защитного слоя, крупнозернистой подсыпки;
- состояние изоляции у мест примыкания к выступающим конструкциям или инженерному оборудованию;
- состояние изоляции в местах пропуска через кровлю водосточных воронок, ограждений и т.п.;
- просадку участков кровли, механические повреждения;
- фактический уклон кровли и его соответствие проекту;
- состояние поверхности изоляционных слоев – вмятины, воздушные и водяные мешки и потеки мастик в швах, соответствие направления приклейки уклону и проекту.

Определяют величины подъема ковра на вертикальную стенку, выявляются случаи растрескивания ковра, губча-

тость и оплывание приклеивающих мастик, надежность заделки ковра в местах примыканий.

При обследовании стальных кровель проверяют состояние окраски, плотность фальцев, желобков, свесов и крепление их к костылям, состояние настенных желобов, лотков и воронок водосточных труб, наличие пробоин в кровле, состояние покрытий брандмауэров, дымовых и вентиляционных труб.

Для кровель из штучных материалов (черепицы, асбестоцементных листов) измеряют величины продольных и поперечных нахлесток и свеса за карнизную доску; соответствие проекту количества и размещения креплений; наличие фартуков в местах примыкания к вертикальным конструкциям и воротников из оцинкованной стали к трубам; покрытие коньков и ребер фасонными элементами, плотность прилегания элементов кровли к обрешетке, наличие и состояние ходов по кровле.

**Полы.** Состав работ по обследованию конструкций пола существенно зависит от назначения помещения и условий их эксплуатации. Учитывая широкий диапазон видов и характера воздействий на полы различных гражданских и производственных зданий, при определении эксплуатационных требований следует руководствоваться СНиП 2.03.13-88 “Полы” и СНиП II-3-79\* “Строительная теплотехника”.

Подробная информация об обследованиях ограждающих конструкций дана в [1, 2, 6].

### 1.10. Обследование оснований и фундаментов

Обследование оснований и фундаментов является наиболее сложным из за многообразия фактов, влияющих на состояние сооружений.

Обследование грунтов оснований проводят специализированные организации в соответствии с требованиями СНиП 1.02.07-87, СНиП 2.01.14-83 и ГОСТов 5180-84, 12248-78, 20276-85. В настоящем пособии рассмотрены в основном вопросы обследования состояния конструкций фундаментов.

Обследования включают на подготовительном этапе изучение проектной документации, инженерно-геологических и других имеющихся материалов, отражающих особенности

площадки обследуемого объекта. В состав работ полевого обследования входит отрывка шурфов для вскрытия фундамента, обследование технического состояния фундаментов и инструментальное определение прочностных характеристик материала конструкции фундамента и грунтов основания.

Необходимое количество шурфов зависит от целей обследования, планировочного и конструктивного решения здания и технического состояния строительных конструкций. Шурфы отрывают на глубину ниже уровня подошвы фундамента на 0,5 м. При необходимости в шурфах бурят контрольные скважины. При отрывке шурфов грунты тщательно осматриваются через каждые 20-30 см. Отбор образцов грунта обычно берут из уровня подошвы фундамента. В необходимых случаях шурфы проходят с креплением стенок. Воду откачивают насосами. Отбор образцов грунта обычно берут из уровня подошвы фундамента. Образец шурфа проведен на рис. 5, а.

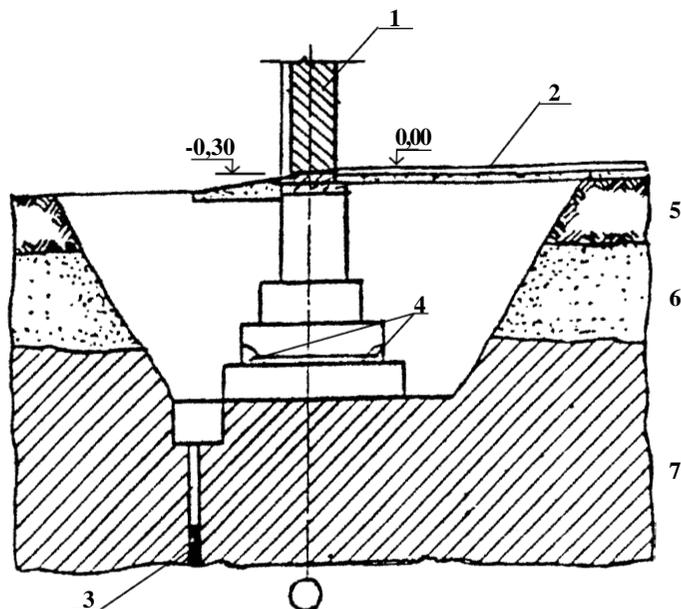


Рис. 5, а. Образец шурфа:

1-кирпичная стена; 2-полы по грунту; 3-скважина в шурфе; 4-места вскрытия фундамента; 5, 6, 7- грунтовые слои

Ленточные фундаменты вскрываются непосредственно по отвесной грани стены, столбчатые в одном углу при стесненных условиях и симметрии конструкции, на две стороны или по периметру (см. рис.5, б). Вскрывать фундамент одновременно по всему периметру не допускается. Вскрытие выполняют участками длиной не более 1,5 м.

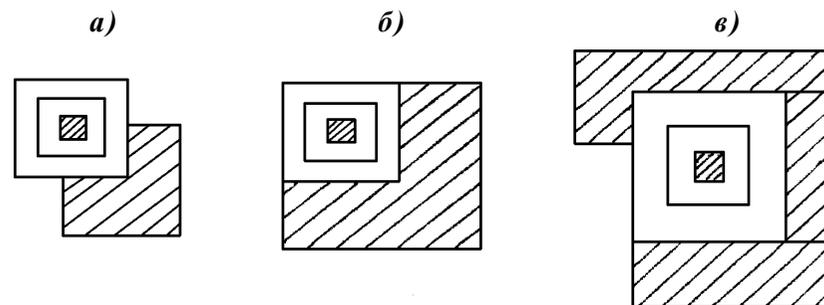


Рис. 5, б. Способы вскрытия столбчатых фундаментов:

а-“на угол”; б-“на две стороны”; в-“по периметру”

Из открытых шурфов выполняют осмотр фундаментов, определяют тип, форму в плане, размеры фундамента, глубину заложения и конструктивное решение. При обследовании свайных фундаментов в каждом шурфе измеряют их диаметр, шаг и среднее количество на 1 м фундамента. В фундаментах под сборные железобетонные колонны измеряют толщину стенок стаканной части и ее высоту. Вскрытием определяют наличие арматуры, ее диаметр, шаг и степень коррозии.

В монолитных фундаментах на грунтах, насыщенных водой, проверяют наличие бетонной подготовки под подошвой, толщина которой не должна быть меньше 10 см.

При фундаментах под стальные колонны каркаса проверяют состояние подливки под стальную плиту башмака, измеряют диаметр анкерных болтов и расстояния между ними, действительную толщину элементов базы колонны, наличие шайб и затяжку гаек на анкерных болтах.

Обследуя фундаменты из бутовых камней и кирпичной кладки определяют прочность камня и раствора, выявляют повреждения и дефекты в соответствии с указаниями раздела 1.6 настоящего пособия.

Если обнаружены деформации осадочного характера в конструкциях надземной части, устанавливают наблюдения за осадками конструкций путем установки маяков по трещинам, а также с применением геодезических или других инструментальных наблюдений при осадках, просадках и кренах в пределах значительных площадей здания.

Результаты обследования фундаментов должны содержать: краткое описание объекта, оценку физико-механических свойств грунтов оснований, данные о повреждениях и дефектах фундаментов, оценку прочностных характеристик материалов по данным инструментальных и лабораторных испытаний и результатов расчетов несущей способности грунтов оснований и конструкции фундаментов.

Подробно обследование оснований и фундаментов изложено в [6,12,13,21] и др.

### **1.11. Особенности обследования строительных конструкций зданий, поврежденных пожаром**

На здание, подвергшееся воздействию пожара, представителями “Госпожнадзора” составляется акт “Описание пожара”. В этом документе указываются дата, время, место возникновения пожара, продолжительность горения, место нахождения очага, средняя температура в помещении во время пожара, средства тушения, причина, площадь уничтоженных помещений, объем поврежденных конструкций и другая информация, связанная с фактом пожара.

На первом этапе проводят предварительное обследование. Его целью является общая оценка состояния конструкций по внешним признакам и установление необходимости проведения детальных обследований. Решаются следующие задачи:

- оценка повреждения конструкций по внешним признакам и классификация их по степени повреждения в соответствии с контролируемыми показателями и характером повреждений для различных конструкций;

- анализ возможности нахождения людей в различных зонах здания в зависимости от степени повреждения конструкций;

- обобщение и анализ акта “Описание пожара”;

- определение мест для размещения подмостей, лестниц, освещения и других приспособлений, связанных с необходимостью выполнения работ по детальному обследованию.

Детальному обследованию подвергают конструкции, относящиеся к средней, сильной или аварийной степени повреждения. При этом выполняют, как правило, инструментальные обследования конструкций с определением расчетных прочностных показателей материалов.

На основе инструментальных определений прочностных показателей материалов производят проверочные расчеты для установления их остаточной несущей способности. Полученные результаты сравнивают с расчетными значениями и требованиями соответствующих СНиП, и на этой основе разрабатывают рекомендации по дальнейшей эксплуатации, ремонту и восстановлению эксплуатационных качеств конструкций.

Нормативы и указания по обследованию зданий и конструкций, подвергшихся воздействию пожара, изложены в [1, 6, 11, 16, 22].

## **2. ИСПЫТАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

### **2.1. Общие сведения**

Решая инженерные задачи, разнообразие которых неуклонно возрастает, строительное производство широко прибегает к экспериментальным методам исследования работы конструкций и сооружений. Эти методы становятся неотъемлемой частью создания новых и усиления действующих конструкций, контроля состояния конструкции в изготовлении

и в процессе эксплуатации. Испытания являются основным критерием достоверности расчета и надежности сооружения.

Исследование деформаций в сооружении или его элементах позволяет составить верное представление о действительной работе конструкции и степени приближения методики расчета к реальному ее состоянию под воздействием нагрузок, о достоверности применяемых расчетных схем, расчетных сопротивлений материала и т.д.

Испытания сооружений имеют многовековую историю. Сооружения древности возводились в эпоху, когда отсутствовала наука о конструкциях и материалах. Поэтому единственным критерием оценки надежности сооружения был опыт его строительства и эксплуатации. Сооружения в сущности испытывались собственным весом в течение длительного времени их существования, так как временные нагрузки в сооружениях древности имели очень малые величины по отношению к собственному весу сооружения. Аварии по существу были примером испытаний сооружений разрушающей нагрузкой.

Экспериментальные исследования строительных конструкций и материалов, опирающиеся на научную основу, появились одновременно с созданием начал строительной механики в XVIII веке. В дальнейшем испытание стало неотъемлемой частью разработки новых конструкций. Опыты позволили изучить действительную работу сооружений, сравнивать результаты теоретических расчетов с экспериментальными и дали возможность совершенствовать методику расчета сооружений.

Накопленный к началу XX века опыт проектирования позволил создать метод расчета конструкций по допускаемым напряжениям, изучить вопросы общей и местной устойчивости конструкций и их элементов. Переход в нашей стране и за рубежом к методам расчета по предельным состояниям, относящийся к 40-50 годам XX столетия, также связан и основан на широком проведении и накоплении опыта испытаний натуральных сооружений и их моделей.

Создателем первой крупной экспериментальной школы в России был Н.С. Стрелецкий. Его работы посвящены испытаниям мостовых конструкций. В области строительных конструкций примышленных и гражданских зданий основоположником экспериментальной школы был Ю.А. Ниллендер. Большой вклад в развитие и совершенствование теории и техники испытаний внесли отечественные ученые В.З. Власов, А.А. Гвоздев, Е.Е. Гибшман, К.С. Завриев, И.Л. Корчинский, В.И. Красиков, И.М. Робинovich, Н.Н. Аистов, К.И. Безухов, Н.Н. Максимов.

Методика экспериментальных работ и измерительная техника за последние годы значительно усовершенствовались. При современных исследованиях используются электрическая, оптическая и электронная измерительная аппаратура и компьютерная техника. Наиболее широкое распространение получили электротензометрические, индуктивные, струнные, пьезоэлектрические датчики. Применение этих датчиков облегчило измерения, дало возможность получать большее количество данных, вести измерения с автоматической записью результатов, вынести записывающую аппаратуру из зоны, находящейся в непосредственной близости от объекта измерений.

Все это позволило углубить исследования, распространить их на изучение сложного напряженного состояния пространственных конструкций, работы конструкции за пределами упругости и т.д.

Широкое развитие получили дефектоскопия и определение внутренних напряжений без разрушений исследуемого образца или конструкции (электромагнитные методы, ультразвук, радиометрия).

Параллельно активно развивались и теоретические методы строительной механики, базирующиеся на опыте эксплуатации сооружений.

Встает вопрос, можно ли теперь отказаться от проведения испытаний конструкций? Не оставить ли это дело только в компетенции ученых?

К сожалению, во многих случаях отказаться от проведения испытаний не представляется возможным.

В нормативных документах предусмотрено проведение испытаний целого ряда сооружений и их элементов в процессе изготовления, строительства и эксплуатации. Сюда входят приемочные испытания конструкций и деталей на заводе, приемочные испытания сооружений, испытания опытных конструкций, испытания перед реконструкцией сооружений, перед решением об усилении конструкций и т.д.

Необходимость испытаний диктуется несовершенством расчетов, неоднородностью материалов и т.д., вследствие чего не удастся учесть все факторы, влияющие на работу конструкции в процессе ее изготовления, строительства и эксплуатации. Достоверно оценить действительные свойства материалов, определить степень заделки элементов в узлах, выявить пространственную работу конструкции можно лишь с помощью вероятностных методов, т.е. путем эксперимента. При проектировании пространственных конструкций сложных очертаний теоретические приемы решения задач тем более не совершенны.

Введение в расчет различных допущений упрощает решение задачи, но снижает точность определения напряженного состояния и не дает уверенности в достаточном совпадении результатов расчета с одноименными характеристиками действительной конструкции. Это особенно касается конструкций из железобетона – комплексного материала, который работает часто при наличии трещин в растянутой зоне. К тому же качество железобетона во многом зависит от выполнения технологических требований во время изготовления конструкции.

Значение испытаний еще более возрастает в тех случаях, когда появляется необходимость в усилении конструкции из-за роста нагрузок или реконструкции технологического цикла.

Таким образом, экспериментальные методы исследования работы материалов, конструкций и сооружений, приемоч-

ных испытаний на заводе, испытания перед реконструкцией и т. д. является завершающим этапом проверки всех применяемых в расчетах предпосылок. Они имеют важное значение для теории и практики современного строительства.

## **2.2. Классификация видов испытаний конструкций и сооружений**

Испытания можно разделить по назначению, характеру внешних воздействий, видам испытаний и теоретической схеме.

По назначению испытания подразделяются на:

- испытания вновь построенных сооружений или изготовленных конструкций с целью проверки их соответствия проектным и нормативным требованиям в отношении несущей способности, жесткости, трещиностойкости и возможности приемки в эксплуатацию;

- испытания эксплуатируемых сооружений с целью выявления фактической несущей способности, жесткости и трещиностойкости для заключения о работоспособности или в связи с усилением;

- испытания, связанные с научными исследованиями, которые являются, как правило, составной частью экспериментально-теоретических исследований;

- испытания опытных конструкций перед внедрением их в массовое производство;

- испытания периодически отбираемых образцов конструкций, которые выпускаются на заводах в больших количествах, с целью проверки качества применяемых материалов и выполнения правил по изготовлению конструкций.

Имеются следующие виды испытаний:

- натурные испытания (выполняются в процессе строительства, после возведения и во время эксплуатации);

- испытания моделей. Этот вид занимает важное место при создании новых конструкций и сооружений;

- лабораторные испытания образцов материалов.

По теоретической схеме испытания можно подразделить на:

- линейные (растяжение, сжатие);
- плоские (изгиб и т.д.);
- пространственные.

По характеру внешних воздействий испытания различаются на испытания статической и динамической нагрузкой.

В первом случае сооружения загружаются неподвижными нагрузками в определенном порядке с нарастающим увеличением этих нагрузок.

Динамические испытания проводят при переменных или пульсирующих (вибрационных) нагрузках, создаваемых с помощью специальных вибромашин, перемещающихся грузов или ударных нагрузок.

При испытании могут быть поставлены следующие задачи:

- определение несущей способности конструкции;
- определение напряженного состояния;
- определение действительных деформаций;
- изучение работы новой конструкции;
- установление влияния дефектов и отступлений от проекта на действительную работу сооружения;
- изучение работы существующей конструкции с целью выявления объемов усиления при реконструкции или ремонте;
- разработка методов расчета;
- установление расчетной схемы или скрытых резервов прочности.

### 2.3. Организация проведения испытаний

Выполнение экспериментальных работ обычно поручается специальным лабораториям и станциям. Лишь несложные испытания выполняются силами строительных, эксплуатирующих или изготавливающих организаций.

Испытаниями руководит подготовленный работник.

Цели и задачи излагаются в техническом задании на проведение экспериментальных работ. В нем же указывается, сколько и каких конструкций испытывается, на что следует обратить особое внимание.

В состав подготовительных работ входят:

- отбор испытываемых конструкций и образцов;
- изучение технической документации;
- освидетельствование конструкции перед испытаниями;
- составление рабочей программы и проекта испытаний;
- подготовка испытываемой конструкции, оборудования и приборов.

Отбор или изготовление испытываемых образцов выполняют при проверке качества серийно выпускаемых изделий или при испытаниях, проводимых в научных целях.

Опытные конструкции обычно выполняются в трех экземплярах.

При проверке качества серийно выпускаемых изделий отбирается один образец из партии в 100 и более штук, но не менее двух, если в партию входит до 200 изделий (под партией понимается продукция, выпускаемая по единой технологии без длительного перерыва). Во время приемочных испытаний подвергается проверке элементы конструкции в количестве не менее 5% от их общего числа. При отборе не следует брать лучшие или худшие по внешнему виду образцы. Обычно выбирают образцы рядовые.

На отобранные или опытные конструкции составляется техническая документация, характеризующая примененные материалы, соблюдение технологии изготовления и соответствие проекту. Например, для железобетонной конструкции данные о составе бетона, прочность и деформативность арматуры, прочность кубиков и данные технической (проектной) и исполнительной документации.

Освидетельствование состоит в проверке размеров конструкций, сечений элементов и соединений, тщательном осмотре поверхности конструкции в целом с целью обнаружения дефектов.

Контрольными замераами проверяют общую геометрическую схему конструкции (длину, расчетный пролет, высоту, строительный подъем, наличие искривлений и т. п.). Такие работы выполняют с помощью геодезических инструментов и данные сверяют с технической документацией.

При осмотре поверхностей выявляют раковины, отколы и т.д. Особое внимание обращают на узловое соединения, стыки. Дефекты зарисовываются в журнал и отмечаются на конструкции. Это позволяет при испытании проследить за дальнейшим их развитием.

Визуальный контроль производится с помощью подсобных принадлежностей: луп, линз, зеркал и перископов для осмотра скрытых мест в конструкции.

Если в этом есть необходимость, дефекты материала выявляют с помощью ультразвука, им же определяют прочность бетона и т.д.

Освидетельствование дает возможность установить наиболее слабые и сомнительные узлы, за которыми в процессе испытаний ведется особое наблюдение. В необходимых случаях назначаются места отбора проб (например, образцов бетона) для их испытания. Контрольные образцы изготавливаются из заготовок, взятых из менее напряженных частей конструкции.

Результаты освидетельствования заносятся в ведомости дефектов, составляется акт освидетельствования, в котором фиксируются основные данные технической и технологической документации.

Программа испытаний – основной методический документ, в котором излагаются цели и методика испытаний, включая план и порядок их проведения, используемая аппаратура.

Программа непременно должна включать:

- обмерочные чертежи испытываемой конструкции с фактическими геометрическими размерами, жесткостными характеристиками, ведомостями дефектов и повреждений;

- результаты поверочного расчета конструкции на испытательные нагрузки с учетом фактических размеров элементов. При этом необходимо вычислить ожидаемые величины перемещений, усилий, моментов и деформаций в точках измерения, определить значение нагрузки, при которой меняется характер работы конструкции, величину разрушающей нагрузки;

- определение количества ступеней нагружения и разгрузки и величин приращения измеряемых при испытании параметров;

- установление сечений, узлов и конкретных точек, в которых будут выполняться измерения;

- определение требуемой точности измерения и подбор измерительной аппаратуры с необходимыми параметрами точности и диапазона.

В программе испытаний должны быть также предусмотрены мероприятия по технике безопасности, которые обязательно должны включать:

- инструкцию по проведению испытаний с четким распределением обязанностей членов бригады и их взаимодействия;

- план испытательного стенда с указанием размещения агрегатов, опасных зон, пульта управления;

- наличие и размещение страхующих устройств, предотвращающих обрушение испытываемой конструкции и падение грузов, устройств аварийного сброса нагрузки;

- нагружения и разгрузки, исключающие возможность травмирования персонала.

Программу составляют для получения достоверных результатов испытаний, сравнимых с проектными данными, а также для использования единой методики в выполнении

нии испытаний с тем, чтобы иметь возможность обобщения результатов испытаний конструкций, проведенных в разное время.

### 3. ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ

Экспериментальные исследования сводятся к измерению деформаций, возникающих при приложении нагрузки. Конструкция деформируется в зависимости от схемы приложения и величины внешних сил, технических характеристик строительного материала и геометрических характеристик рассматриваемой конструкции.

Исследования проводятся в соответствии с программой испытаний, которая, как это отмечалось выше, регламентирует рабочую схему испытаний конструкций, величины испытательных нагрузок, схемы и порядок их приложения, размещение и тип измерительных приборов, а также содержит указания по проведению испытаний.

#### 3.1. Рабочая схема испытываемой конструкции

Рабочей схемой называют статическую схему, которая принимается при испытании конструкции. В ней отражаются: условия опирания и закрепления испытываемой конструкции на опорах, схема приложения нагрузок. Чаще всего рабочая схема та же, которая была принята при составлении проекта конструкции. Не исключено принятие иной схемы, если это вызвано изменениями работы конструкции при ее усилении или другим причинам.

Схема расположения нагрузок должна вызвать такое напряженное и деформативное состояние в конструкции, которое наиболее полно отвечает действительной ее работе при наиболее невыгодных сочетаниях нагрузки.

В рабочей схеме должно быть уделено особое внимание устойчивости элементов конструкции. Неверное прило-

жение нагрузки может вызвать потерю устойчивости этих элементов, не отражающую действительную работу элемента в расчетной схеме.

Схема загрузки при испытании однопролетных разрезных плит показана на рис. 6. По этой схеме плиты загружают на участке, равном трем длинам плиты.

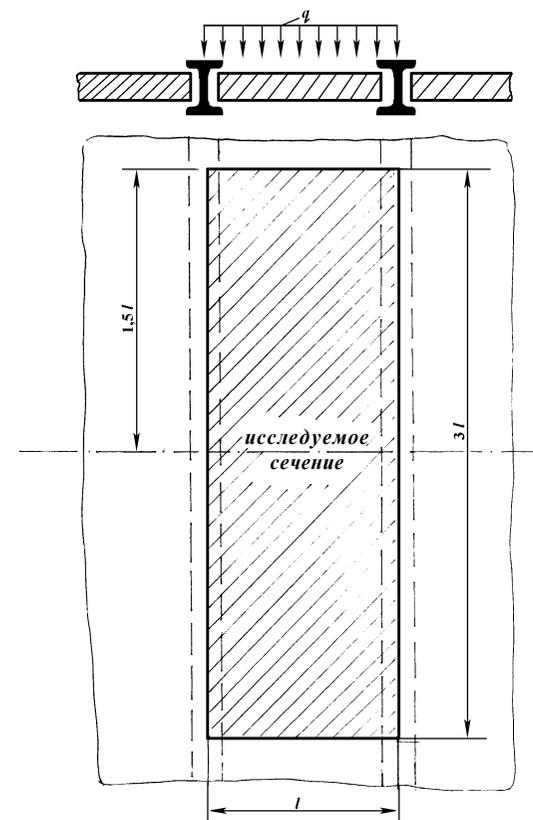


Рис. 6. Схема загрузки разрезной плиты.

Схемы загрузки при испытании многопролетной (неразрезной) плиты изображены на рис. 7. В результате полу-

чают наиболее неблагоприятные нагрузки на плиту. В продольном направлении плита загружается на участке, равном трем ее длинам.

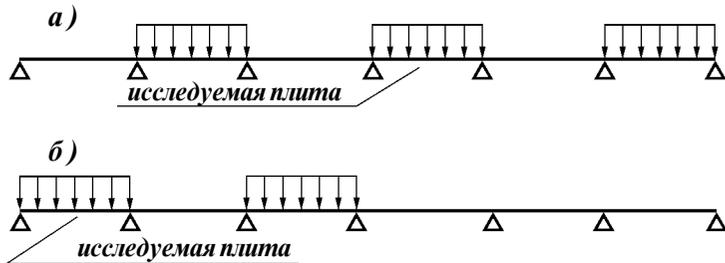
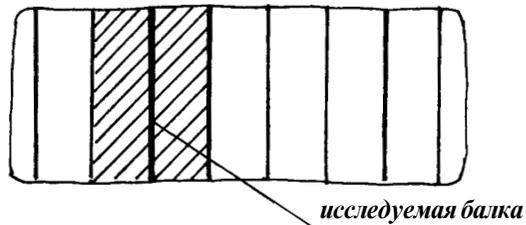


Рис. 7. Схема загрузки неразрезной плиты.

Размещение нагрузок при испытании однопролетных балок с разрезными и неразрезными плитами дано на рис. 8, а схема загрузки отдельных балок при их приемочных испытаниях приводится на рис. 9.

а) разрезные плиты



б) неразрезные плиты



Рис. 8. Схема загрузки однопролетной балки с разрезными (а) и неразрезными (б) плитами

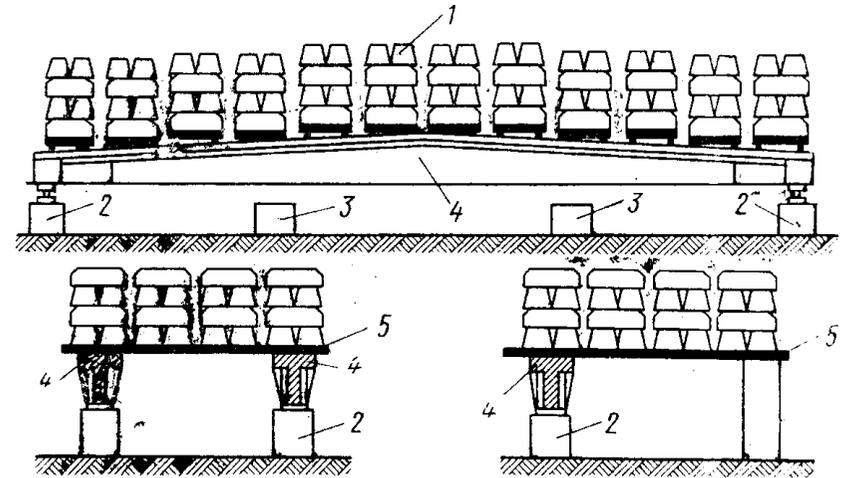


Рис. 9. Установка для испытания балок:

1-испытательная нагрузка; 2-опорные тумбы; 3-страховочные опоры; 4-испытываемая балка; 5-настил площадки.

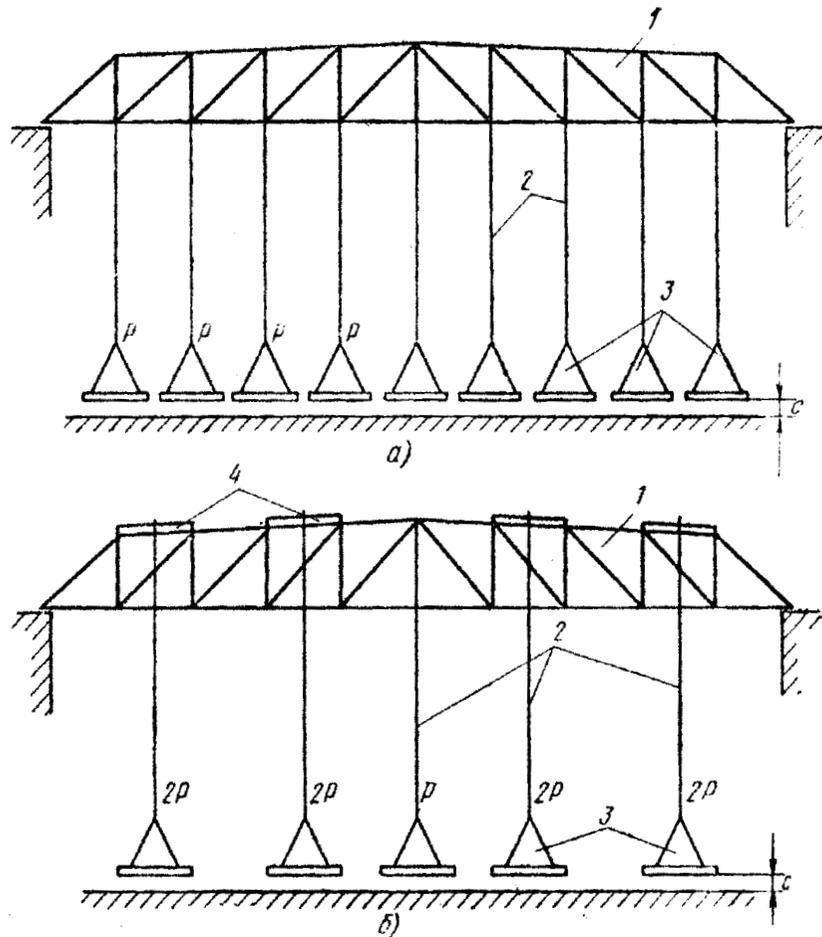
При испытании решетчатых конструкций в виде ферм применяются различные схемы загрузки, в зависимости от конструктивного исполнения фермы и реального приложения нагрузки. Если требуется определить наибольший прогиб фермы или максимальные усилия в стержнях верхнего и нижнего поясов, то фермы всех очертаний загружают по всему пролету. Для определения наибольших усилий в стержнях решетки в начале ферму загружают односторонней нагрузкой (рис. 10, а), а затем догружают по всему пролету (рис. 10, б).



Рис. 10. Схемы загрузки ферм временной нагрузкой:

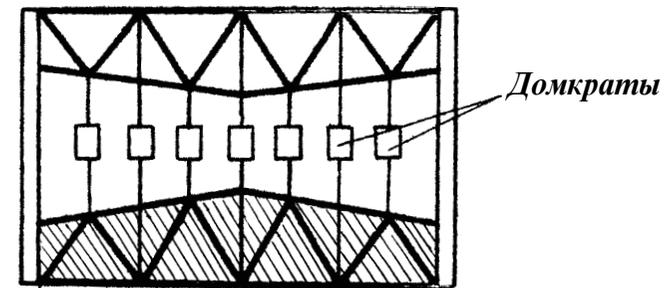
а-загрузка левой половины пролета; б-загрузка фермы по всему пролету.

Загружение стропильной фермы на объекте показано на рис. 11, схема приложения нагрузки при приемочных испытаниях фермы дана на рис. 12. Один из возможных вариантов создания горизонтального усилия показан на рис. 13.

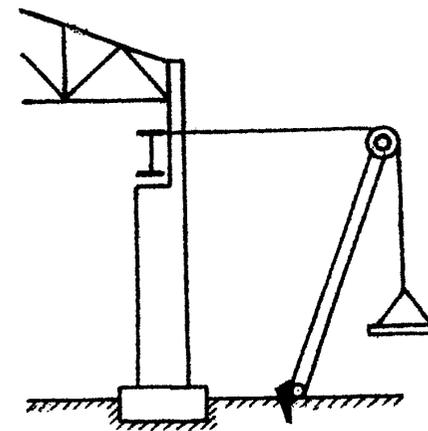


**Рис. 11.** Загружение фермы на объекте:

*a*-подвеска грузов к узлам нижнего пояса; *б*-через распределительные балочки; 1-нагружаемая ферма; 2-подвески; 3-грузовые площадки; 4-распределительные балочки.



**Рис. 12.** Схема приложения нагрузки при приемочных испытаниях



**Рис. 13.** Вариант приложения горизонтального усилия

Испытательные нагрузки получают с помощью грузов в виде песка, руды, слитков, кирпича, воды и т.д. или с помощью домкратов, сжатого воздуха.

Испытательной нагрузкой называют нагрузку (включая собственный вес конструкции), которая прикладывается к конструкции в процессе испытания.

Предельную величину нагрузки, по результатам воздействия которой производится оценка качества конструкции, называют контрольной нагрузкой.

Величина контрольной нагрузки при проверке жесткости принимается равной нормативной нагрузке. Оценка конструкции по прочности производят по величине разрушающей нагрузки, представляющей собой расчетную нагрузку, умноженную на коэффициент  $C$ . Для металлических конструкций  $C=1,25$ ; железобетонных  $C=1,2-1,6$ .

Опытные конструкции доводят до разрушения после того, как они выдержат контрольную нагрузку. Это делается в целях лучшего понимания работы конструкции и последующего ее проектирования с усилением слабых мест и, наоборот, облегчением элементов, имеющих запасы прочности.

Величина контрольной нагрузки по образованию трещин принимается равной расчетной для конструкций I категории трещиностойкости и нормативной – для II категории.

Принят следующий порядок нагружения.

В начале проводят пробное нагружение конструкции нагрузкой, не превышающей 25 – 30% контрольной и осуществляемой в 2 – 3 этапа. После необходимой выдержки под нагрузкой конструкция также поэтапно разгружается до нуля. Делается это для устранения обжатия узлов, опор и т.д. Далее нагрузка прикладывается ступенями, составляющими 10 – 20% от контрольной нагрузки. Количество ступеней нагружения до достижения контрольной нагрузки обычно принимают равным 4-6, но один из них должен соответствовать нормативной нагрузке, если испытание проводят до расчетной нагрузки.

После загрузки каждой ступени дается выдержка для затухания деформаций и производятся отсчеты по приборам. При такой системе загрузки можно определить момент появления первых трещин, проследить процесс их развития.

После того, как достигнута контрольная нагрузка, дается выдержка для металлических конструкций в 30 – 90 минут, для деревянных и железобетонных – 12 – 48 часов.

Для металлических конструкций отсчеты по приборам следует снимать через 15 минут после окончания загрузки, для железобетонных – через 12 часов, деревянных – через 24 часа. Разница во времени объясняется тем, что в дереве и бетоне деформации нарастают постепенно.

Измерение величин нагрузок производится с помощью динамометров, манометров, а также взвешиванием грузов.

### 3.2. Размещение приборов на испытываемых конструкциях

Выбор типов приборов и мест их установки зависит от целей и задач проводимых измерений. Измерительные приборы устанавливаются в тех точках и сечениях, перемещения и деформации которых являются наиболее характерными для исследуемой конструкции.

Прогибы измеряются в середине пролета (рис. 14). Чтобы исключить влияние осадки опор или их обжатия на величину измеряемых прогибов, прогибомеры устанавливаются также у опор. Величина прогиба (рис. 14) определяется по формуле

$$f = C - \frac{a+b}{2} \quad (1)$$

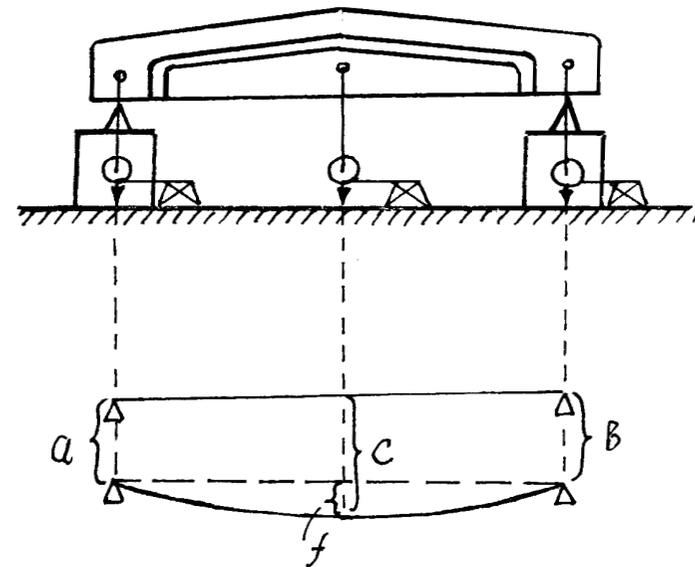


Рис. 14. Измерение прогиба балки.

Установка трех прогибомеров исключает также влияние на показания приборов деформаций проволоки, так как

удлинения трех проволок почти одинаковы. Если требуется получить кривую прогибов по всей длине пролета, прогибомеры устанавливаются чаще.

Приборы для измерения деформаций (тензометры, индикаторы, тензодатчики) устанавливаются или наклеиваются в тех сечениях, в которых определяются деформации волокон, а по ним – напряжения в стали, бетоне или арматуре. Это прежде всего расчетные сечения.

В железобетонных балках деформации замеряются в середине пролета и у опор. Приборы устанавливаются в сжатой зоне на бетон, а в растянутой – на арматуру. При испытании балок тензометры размещаются в основном по верхнему и нижнему поясам, а при испытании ферм кроме того, на элементах решетки.

В центрально сжатых или растянутых элементах приборы устанавливаются по осям симметрии сечений. В изгибаемых и внецентренно сжатых элементах, где деформации по высоте сечения не одинаковы, измерения производят в нескольких точках по высоте сечения.

При необходимости исследуются также стыки конструкций, места заделки преднапряженной арматуры, опорные узлы (в арках и фермах) и т.д.

Постановка индикаторов в торцах конструкции и на концах стержней дает возможность определить общее удлинение или укорочение балок, колонн, ферм и других конструкций.

Желательно приборы ставить симметрично по обеим сторонам конструкции. В результате получают дублирующие данные.

Количество приборов зависит от характера испытаний. При научных исследованиях приборов устанавливается больше.

Нужно помнить, что глубина и широта исследований не всегда зависит от количества приборов. Чрезмерное количество приборов вызывает затруднения при наблюдении за ними, усложняет обработку полученных данных и может

снизить эффективность испытаний. Следует стремиться к надежной и продуманной схеме расстановки приборов, используя их в минимально необходимом количестве.

### 3.3. Проведение испытаний статической нагрузкой

Перед началом испытаний проводится подготовка конструкции, которая сводится к ее очистке, зачистке мест установки приборов, побелке поверхностей для железобетонной конструкции, сооружению приспособлений для создания нагрузок, сооружению страховочных и рабочих подмостей. К подготовительным работам относятся также установка приборов в соответствии с рабочей схемой, проверка работоспособности системы силового возбуждения и измерения.

Подготовленную к испытаниям конструкцию выдерживают 12 – 20 часов для наблюдения за влиянием колебаний температуры на деформации в конструкции и показания приборов.

Далее производятся первоначальные отсчеты и ведется нагружение в соответствии с программой испытаний. Приложение нагрузки осуществляется плавно, без ударов и толчков. В процессе испытаний ведется журнал и ведомости испытаний, куда заносятся отсчеты приборов, данные замеров трещин, особенности поведения конструкции.

Осмотр конструкции следует производить каждый раз после увеличения нагрузки на одну ступень. При приближении нагрузки к нормативной особое внимание уделяют обнаружению трещин в бетоне. Если они образовались, то за ними ведутся наблюдения, границы трещин отмечаются.

По результатам освидетельствования конструкции после испытаний составляется акт.

Особое место в процессе испытания должны занимать вопросы техники безопасности. Наиболее опасно для людей случайное разрушение конструкции. Поэтому устраивают страховочные подмости, способные воспринять на себя вес обрушивающейся конструкции. Подмости проектируют так,

чтобы зазоры между ними и конструкцией не препятствовали перемещениям ее элементов при испытании.

Подмости для передвижения людей должны быть снабжены лестницами, перилами и другими ограждениями (навесы, козырьки).

Временные конструкции и площадки под грузы (платформы) должны быть надежными. Грузовые платформы располагают на расстоянии 10 – 40 см от пола.

Очень важно оградить испытания от посторонних лиц. Желательно устройство дистанционного управления домкратами и приборами.

Испытаниями руководит одно лицо.

Особенности испытаний эксплуатируемых или построенных конструкций (натурных испытаний) заключаются в том, что:

- элементы испытываются в составе пространственных конструкций без выделения их в более простые линейные или плоские системы;

- испытания проводятся на месте их работы;

- при испытании конструкции не доводятся до разрушения;

- часто не удается обнаружить проектных материалов, поэтому во время освидетельствования приходится производить тщательные обмеры с составлением чертежей;

- во время освидетельствования производится осмотр конструкций и фиксируются повреждения, условия опирания и степень заделки;

- испытания отдельных элементов производятся не до определенной заранее нагрузки, а до появления в элементах напряжений и усилий, на основании которых можно дать правильную оценку их несущей способности, жесткости и трещиностойкости.

По полученным при испытаниях данным о величине нормативных и расчетных нагрузок судят о их соответствии с

реально действующими или ожидаемыми нагрузками и решают вопрос о необходимости усиления конструкции.

В процессе увеличения нагрузки, например, надстройки здания, организуется непрерывное наблюдение за состоянием конструкций. После завершения строительных работ рекомендуется провести повторные измерения напряжений в конструкции.

Особенности испытаний новых, завершенных строительством зданий и сооружений перед сдачей их в эксплуатацию изложены в действующих государственных, отраслевых и ведомственных стандартах, нормах, инструкциях и указаниях.

### **3.4. Обработка материалов испытаний и оценка состояния конструкции**

Обработка проводится в два этапа: полевая обработка показаний приборов; камеральная обработка материалов испытаний.

Полевая обработка сводится к заполнению всех граф журнала, т.е. вычислению конечных результатов каждого измерения (вычислению прогибов, напряжений, модулей упругости и т.д.).

Для каждой точки наносят измеренные величины на заранее построенные теоретические кривые. Нанесение опытных данных на теоретические кривые позволяет судить не только о характере работы конструкции, но и дает возможность перехода к следующему циклу загрузки.

Камеральная обработка представляет собой дальнейшую обработку полученных данных для последующего заключения о состоянии конструкции. Статистическую обработку полученных в результате испытаний данных проводят в соответствии с рекомендациями [1,3,5].

Оценка состояния конструкции по прочности производится путем сравнения теоретического напряженного состояния, полученного от нормативной, расчетной или другой

контрольной нагрузки, с экспериментальным. Оценка конструкции по жесткости производится путем сравнения фактических и теоретических прогибов.

При установлении степени соответствия между расчетной нагрузкой и нагрузкой, разрушающей конструкцию, пользуются коэффициентом запаса, назначаемым в пределах от 1,6 до 3,0, т.е. разрушающая нагрузка должна быть в 1,6 – 3,0 раза больше расчетной. Опытная конструкция удовлетворяет условиям, если ее разрушение наступило под нагрузкой, составляющей не менее 0,95 теоретической разрушающей нагрузки.

Оценка бетона по трещинообразованию или раскрытию трещин производится на основании сравнения фактического момента появления трещин или ширины их раскрытия с теоретическим или нормативным значением этих величин.

Конструкции I и II категорий трещиностойкости признаются удовлетворительными, если появление первых трещин произойдет при нагрузке, превышающей проектную. Для I категории эта нагрузка должна быть равна или более расчетной, для II категории – нормативной.

Конструкция III категории трещиностойкости признается годной, если при нормативной нагрузке раскрытие трещин не превышает соответственно 0,1 или 0,3 мм в зависимости от вида конструкции.

Технический отчет по результатам испытаний обязательно должен содержать:

- программу испытания с обоснованием его необходимости, принятой методикой и перечнем ожидаемых результатов;

- предварительный расчет испытываемой конструкции на испытательные нагрузки с определением ожидаемых величин усилий, напряжений, прогибов, перемещений и других данных в заданных программой точках и сечениях;

- схему испытательного стенда с размещением испытываемой конструкции, измерительных и контролирующих приборов и аппаратуры;

- описание хода испытаний и регистрацией всех установленных в ходе испытаний непредвиденных особенностей;

- результаты испытаний (таблицы, графики, эпюры, фотограмметрические снимки и другие документальные свидетельства, полученные в результате испытаний);

- сопоставление теоретических и экспериментальных данных;

- анализ и объяснение причин отличия результатов от теоретических расчетов;

- выводы по проведенному испытанию, рекомендации и предложения;

- приложения (ведомости испытаний, обмерочные чертежи испытанной конструкции, сертификаты на материалы или акты их испытаний и другие экспериментальные данные).

#### **4. ИСПЫТАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКОЙ**

Динамической называют нагрузку, быстро во времени изменяющую свою величину. Такими являются подвижные нагрузки (например, движение транспорта), сейсмические нагрузки, работа станков, молотов, копров, пульсация ветровой нагрузки и другие.

Конструкции, воспринимая динамические воздействия, одновременно работают, как правило, и на статические нагрузки, т.е. оба воздействия взаимодействуют.

Деформации и изменение напряженного состояния конструкции под действием динамических нагрузок, как и в случае действия статических нагрузок, характеризуются перемещением в пространстве точек конструкции, удлинением или укорочением волокон материала, поворотом сечений. Но при действии динамических нагрузок эти процессы протекают быстро, поэтому возникает необходимость измерения линейных и угловых компонентов во времени.

При испытании конструкций динамической нагрузкой в зависимости от поставленной цели, решаются следующие задачи:

- определение влияния динамической нагрузки на прочность, жесткость, трещиностойкость и выносливость конструкции;
- выявление возможности установки на конструкцию какого-либо агрегата с подвижными нагрузками или станка;
- определение влияния динамической нагрузки на условия нормальной эксплуатации зданий и сооружений;
- изучение динамического воздействия на конструкцию в особых условиях (ударная воздушная волна, сейсмические воздействия и т.д.);
- влияние физического воздействия колебаний на людей.

В зависимости от вида решаемой задачи при испытании определяются различные данные:

- динамические характеристики конструкции (частота и форма собственных колебаний, коэффициенты затухания);
- характеристики динамической эксплуатационной нагрузки (направление, величина, частота и характер возмущающих сил);
- данные, характеризующие работу конструкции под воздействием нагрузки (амплитуда, частота, ускорение, форма вынужденных колебаний);
- величину динамического коэффициента.

Динамические нагрузки делятся на следующие виды:

- неподвижная нагрузка, расположенная на конструкции в определенном месте и изменяющая свою величину через определенные промежутки времени (периоды). Эта нагрузка периодическая и называется вибрационной. Если она изменяется по закону синуса или косинуса, то называется гармонической. Такую нагрузку создают различные механизмы, подвижные части которых имеют неуравновешенные массы (станки, вибростолы и т.д.);
- подвижная нагрузка (мостовые краны, подвижной состав и др.);

- ударная нагрузка, действующая в какой-либо точке конструкции. Характеризуется резким возрастанием в короткий промежуток времени (копры, молоты и другие ударные механизмы);

- кратковременная нагрузка (удар взрывной волны);
- сейсмическая нагрузка, проявляющаяся в виде беспорядочных толчков и ударов при землетрясении.

Этот перечень показывает, что динамическая нагрузка может быть весьма разнообразной. Большинство наблюдаемых на практике колебаний сооружений – вынужденные гармонические колебания, т.е. колебания, протекающие по закону синуса или близкие к ним. Частота и амплитуда таких колебаний конструкции задаются источником колебаний.

Колебания, которые совершает конструкция после прекращения действия нагрузки, выведшей ее из состояния равновесия, называются свободными или собственными.

Основные положения теории колебаний и соответствующий математический аппарат для расчета параметров колебаний изложены в разделах курсов теоретической и строительной механики.

С точки зрения выносливости материала наибольший интерес представляет периодическая нагрузка непрерывного действия. Для работы конструкции очень важно при этом значение частот вынужденных и собственных колебаний. При совпадении частот собственных колебаний конструкции  $w_0$  с частотой действия возбуждающей силы  $w$  в конструкции наступает явление резонанса, сопровождающееся резким возрастанием амплитуды колебаний.

Этого явления следует избежать путем проектных решений, исключающих явление резонанса. Критерием служит динамический коэффициент, который определяется отношением суммарной деформации от воздействия статической и динамической нагрузок  $Y_0$  к деформации от статической

нагрузки  $Y_{cm}$ . Например, для системы с одной степенью свободы без учета диссипативных свойств

$$K_{дин} = \frac{Y_0}{Y_{cm}} = \frac{\omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (2)$$

Анализ формулы показывает, что если  $\omega$  (частота вынужденных колебаний) приближается по своему значению к частоте свободных колебаний рассматриваемой системы  $\omega_0$ , происходит резкое возрастание динамического коэффициента. При  $\omega = \omega_0$   $K_{дин}$  стремится к бесконечности.

Если частота вынужденных колебаний больше собственных, то частота собственных колебаний не должна быть более 0,8 частоты вынужденных. Если частота вынужденных меньше частоты собственных колебаний, то частота вынужденных колебаний должна быть не более 0,8 частоты собственных.

В случае, когда собственные колебания выходят из этих границ, необходимо во избежание резонанса изменить конструктивное решение системы или физико-механические характеристики материалов, или сечение элементов конструкций.

В формуле (2)  $\omega$  и  $\omega_0$  - круговые частоты вынужденных и свободных колебаний. Под круговой частотой понимают число циклов колебаний в течение  $2\pi$  секунд. Круговую частоту можно вычислить по формуле:

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (3)$$

где  $c$  - жесткость системы, которая зависит от вида деформации и статической схемы конструкции;  
 $m$  - масса груза.

Испытанию должны предшествовать теоретический расчет и освидетельствование конструкции, установка приспособлений, выбор и размещение приборов. Составляется подробная программа проведения испытаний.

Динамическая нагрузка при испытании может осуществляться приложением эксплуатационной нагрузки или использованием специальных нагрузок (ударных или вибрационных).

Ударная нагрузка при возбуждении вертикальных колебаний осуществляется с помощью падающего груза, а горизонтальных колебаний - с помощью тарана.

Для сообщения конструкции вынужденных колебаний, различных по частоте, амплитуде и направлению, применяют вибрационные машины с четным числом вращающихся дисков, которые имеют неуравновешенную массу. При вращении дисков возникает центробежная сила  $P$ . Если диски вращаются в разные стороны, возникающая сила изменяется от 0 до  $2P$ .

После выполнения подготовительных работ приступают к определению динамических характеристик сооружения.

Определение частот собственных колебаний может быть выполнено двумя способами:

1. Испытываемую конструкцию подвергают удару, тем самым вызывают свободные колебания. По виброграмме записи колебания на приборе (рис. 15) определяют частоту собственных колебаний. Частота  $f_0$  равна отношению длины записи колебаний за одну секунду  $S$  к длине записи одного колебания  $T$

$$f_0 = \frac{S}{T} \text{ гц};$$

Круговая частота

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ 1/сек.}$$

2. На испытываемую конструкцию устанавливают вибромашину и, изменяя частоту вынужденных колебаний, доводят конструкцию до резонанса. Резонанс будет отмечен

на виброграмме резким возрастанием амплитуды колебаний (рис. 17). Пользуясь виброграммой, находят частоту свободных колебаний.

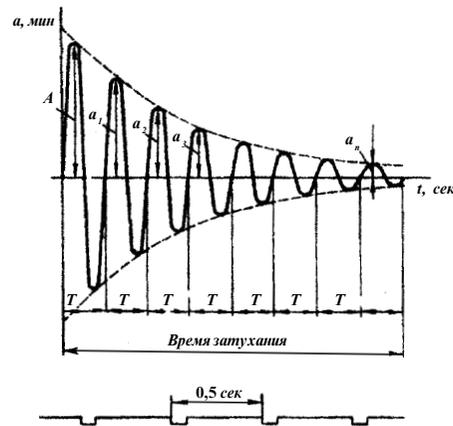


Рис. 15. Виброграмма свободных колебаний конструкции

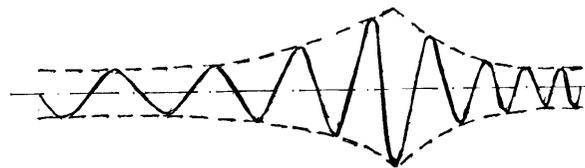


Рис. 16. Виброграмма колебаний конструкции при изменении частоты вынужденных колебаний. Явление резонанса

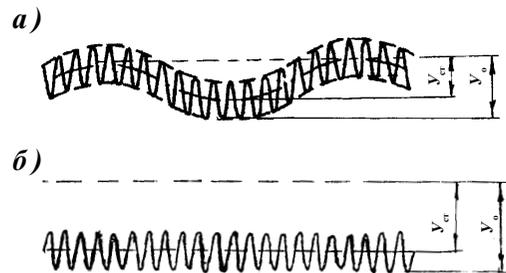


Рис. 17. К определению динамического коэффициента:

а - при подвижной нагрузке; б - при статической нагрузке от веса источника колебаний и собственного веса конструкции

Испытание для определения динамического коэффициента проводится при помощи перемещающихся грузов. Записывают статический  $Y_{ст}$  и динамический  $Y_0$  прогибы конструкции. Под динамическим понимают суммарный прогиб, складывающийся из статического прогиба и максимальной амплитуды колебаний конструкции (рис. 17, а). Для определения  $K_{дин}$  записывают виброграмму прогибов при движении груза со скоростью, вызывающей наибольшие колебания конструкции. Обычно коэффициент динамичности находится в пределах от 1,1 до 2,0.

В конструкции, колебания которой возбуждаются неподвижными источниками, определяют статический прогиб от веса источника колебаний и собственного веса конструкции и динамический прогиб (рис. 18, б). Коэффициент при известных  $Y_{ст}$  и  $Y_0$  определяют по формуле (2).

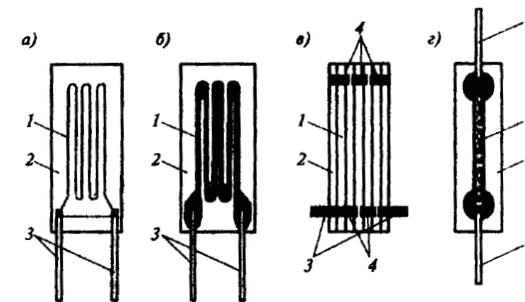


Рис. 18. Электрические тензометры сопротивления:

а - проволочный петлевой; б - фольговый петлевой; в - проволочный без поперечной чувствительности; г - полупроводниковый напыляемый. 1 - тензор сетка; 2 - основа; 3 - выводы; 4 - перемычка.

Для определения напряжений пользуются формулой

$$\sigma = \sigma_{ст} + \sigma_{дин} \quad (4)$$

Динамическое напряжение  $\sigma_{дин}$  определяют по инерционной силе

$$Q = my'',$$

где  $m$  – масса, которой сообщено ускорение  $y''$ .

Получив ускорение по виброграмме, можно подсчитать дополнительные напряжения, вызванные инерционной силой. Например, при действии осевой силы  $\sigma_{дин} = Q/A$ , при изгибе под воздействием сосредоточенной силы в середине пролета  $l$

$$\sigma_{дин} = \frac{Ql}{4W} \quad \text{и т.д.}$$

В этих формулах  $A$  – площадь сечения элемента,  $W$  – момент сопротивления.

Для определения коэффициента затухания колебаний производят запись свободных колебаний конструкции и по виброграмме находят период колебаний  $T$  и амплитуды  $A_i$ . Коэффициент определяют по формуле

$$\alpha = \frac{1}{T} \ln \frac{A_n}{A_{n+1}}. \quad (5)$$

## 5. МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Испытания на моделях при сравнительно небольших затратах позволяют получить представление о работе конструкции, о рациональности принятой конструктивной формы, расчетной схемы. Модельные испытания эффективны на начальном этапе разработки новой конструкции. В строительстве они широко используются при разработке уникальных сооружений и зданий, а также в научных исследованиях работы конструкций и их узлов и соединений.

Модели могут быть физические, аналоговые и цифровые. Физические модели, это модели, выполненные в уменьшенном масштабе и из того же материала, что и натурная конструкция, или материала более деформативного, чем оригинал. Это объясняется стремлением за счет большей деформативности модели повысить точность измерения деформаций.

Использование аналоговых моделей основано на идентичности математических уравнений, описывающих напряженно-деформативное состояние конструкций под воздействием нагрузки, и уравнений, например, отражающих движение жидкости в системе трубопроводов под действием гидравлического напора или электрического тока в сети. Подобные модели с развитием компьютерной техники к настоящему времени используются редко.

В цифровом моделировании при помощи компьютера рассчитывается напряженно-деформативное состояние конструкции под действием задаваемой нагрузки. При этом в зависимости от поставленной задачи могут рассматриваться варианты геометрии конструкции, сечений, жесткостных характеристик элементов и узлов, виды нагрузок и воздействий и т.д.

Быстродействие, объем памяти, накопление программ для расчетов, возможность работы в диалоговом режиме и ряд других возможностей ПК – позволяют решать с помощью цифрового моделирования большое количество научных и конструкторских задач. Подробную информацию см. [1, 5, 8, 9].

## 6. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Для замеров перемещений и деформаций испытываемых конструкций или их элементов применяют специальные измерительные приборы, основанные на принципах механического или электрического увеличения. В настоящее время на-

шли широкое применение электрические приборы, которые позволяют измерить неэлектрические величины электрическими методами.

В зависимости от характера измеряемых величин деформаций и перемещений для статических испытаний применяют следующие приборы:

- прогибомеры и индикаторы часового типа, предназначенные для определения линейных перемещений отдельных точек конструкции;
- клинометры, используемые для измерения угловых перемещений (углов поворота) сечений элементов;
- тензометры и компораторы, применяемые для определения деформаций отдельных волокон на небольшом участке элемента конструкции;
- сдвигомеры, фиксирующие деформации смещения параллельных волокон на сдвиге.

**Прогибомеры** – приборы для измерения прогибов, вертикальных и других перемещений в любом направлении. В испытательной практике используются многие типы прогибомеров с проволоочной связью. Наибольшее применение нашли прогибомеры Н.Н. Максимова (ПМ-2 и ПМ-3) и Н.Н. Аистова (ПАО-5 и ПАО-6).

В прогибомерах с проволоочной связью проволока прикрепляется к испытываемой конструкции, а на свободном конце подвешен груз (1 – 3 кг). Прогибомер устанавливают на неподвижной опоре или на специальном штативе. Иногда прогибомер устанавливают на конструкции, тогда проволока крепится к неподвижной опоре.

Для измерения небольших по величине перемещений могут быть использованы **индикаторы часового типа**, которые или устанавливают на неподвижной опоре с упором подвижного измерительного стержня в испытываемую конструкцию, или закрепляют на конструкции с упором подвижного стержня на неподвижную опору. Индикаторы просты в обращении и обладают высокой точностью.

Обработка показаний прогибомеров и индикаторов заключается в определении перемещения точки по формуле

$$\Delta l = (N_2 - N_1)mk, \quad (6)$$

где  $m$  - цена деления шкалы прибора;

$N_1$  и  $N_2$  - отсчеты по шкале прибора;

$k$  – поправочный коэффициент, принимаемый по паспорту прибора.

**Клинометры** – приборы для определения углов поворота – измеряют тангенсы углов. Наибольшее распространение получили клинометры Стопани, Аистова и рычажные клинометры. Клинометры представляют собой устройства, близкие к геодезическим инструментам.

**Тензометры** – механические приборы для измерения деформаций в волокнах – измеряют удлинение или укорочение волокон элемента. Наибольшее распространение получили тензометры Гугенберга и Аистова. Тензометры измеряют деформации волокон на участке между ножом и подвижной призмой. Это расстояние называется базой измерения. Наиболее широко применяемые тензометры имеют базу  $l=20$  мм. Деформации измеряются с точностью до 0,001 мм. Обработка измерений сводится к определению абсолютной деформации  $\Delta l$  по формуле (6).

По полученной деформации на участке  $l$  вычисляют величину относительной деформации  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ , по которой находят напряжение  $\sigma = \varepsilon E$  в волокне испытываемого элемента. Здесь  $E$  - модуль упругости материала.

**Сдвигомеры** - то же тензометры, но они устанавливают по четырем точкам и фиксируют сдвиг одной пары точек относительно другой. Тем самым измеряется смещение параллельных волокон относительно друг друга.

**Электрические тензометры сопротивления.** Измерения деформаций электротензометрами основаны на изменении омического сопротивления тонкой проволоки, вызываемого изменениями ее геометрических размеров при растяжении и сжатии.

Датчики представляют собой два слоя тонкой бумаги или пленки, внутри которых располагается решетка из медно-никелевой (константановой) проволоки диаметром 20-30 микрон (рис.18). База измерения  $l$  изменяется от 10 до 50 мм, но при необходимости может быть от 3 до 180 мм. Датчики имеют омическое сопротивление от 50 до 400 ом. Точность измерения деформаций составляет до 1,0 – 1,5%.

Успех производимых измерений в большой степени зависит от тщательности проклейки датчиков к испытываемым элементам. Наклеенный на зачищенную поверхность датчик будет претерпевать те же деформации, что и исследуемый элемент; сопротивление его изменится в зависимости от знака деформации.

Величина электрического сигнала мала, поэтому при измерениях применяют специальные измерительные схемы или усилительные устройства с целью повышения чувствительности.

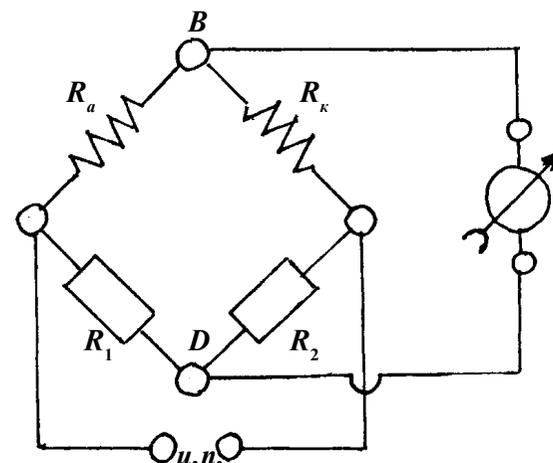
Измерение деформации (приращения омического сопротивления) датчика производится с помощью мостовой схемы. Мостовая схема (рис.19) обеспечивает высокую чувствительность и точность регистрации сигнала вследствие того, что шкала измерительного прибора в этом случае рассчитана только на замеры приращений  $\Delta R$ , а не полных сопротивлений  $R + \Delta R$ .

Датчик  $R_A$  наклеен на исследуемый элемент. Это рабочий датчик.  $R_K$  - компенсационный датчик. Этот датчик наклеивают на отдельную деталь из того же материала, что и испытываемый элемент, и помещают в равные с рабочим датчиком условия. От изменения температуры, сопротивле-

ния в этих датчиках изменяются на равную величину, тем самым достигается компенсация температурных напряжений.

$R_1$  и  $R_2$  - сопротивления внутри измерительного устройства. Эти сопротивления переменные, что позволяет уравнивать сопротивления в ветвях моста и применять при измерении метод нулевого отсчета. Когда мост сбалансирован, разность потенциалов между точками  $BD$  (см. рис.19) будет равна 0.

При деформации исследуемого элемента рабочий датчик изменяет свое омическое сопротивление, мост будет разбалансирован, а стрелка гальванометра или показания другого измерительного прибора сойдут с нулевого деления, т.е. укажут наличие тока. Тогда при помощи реохорды баланс моста восстанавливается, и снимается отсчет по шкале, которая отградуирована так, что одно деление шкалы соответствует единице относительной деформации или напряжения.



**Рис. 19.** Мостовая электрическая схема при измерении деформации.

Фактическая схема, поскольку измеряются деформации в разных точках конструкции, и следовательно установлено несколько датчиков, имеет вид, показанный на рис. 20. В на-

стоящее время при производстве испытаний предусматривается возможность непосредственной передачи отсчетов в компьютер и обработка их параллельно измерениям.

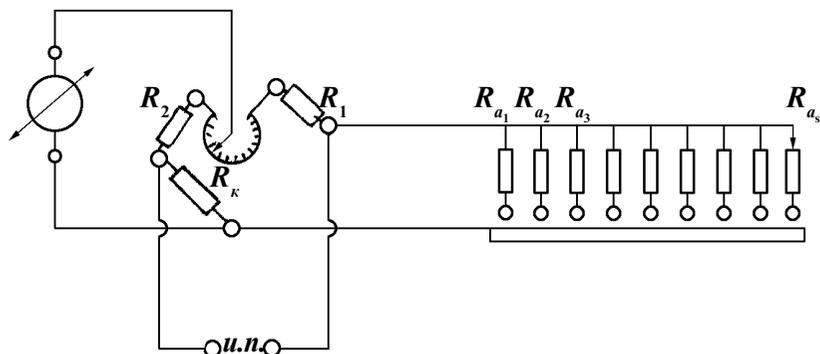


Рис. 20. Использование мостовой электрической схемы при измерениях деформаций в разных точках конструкций

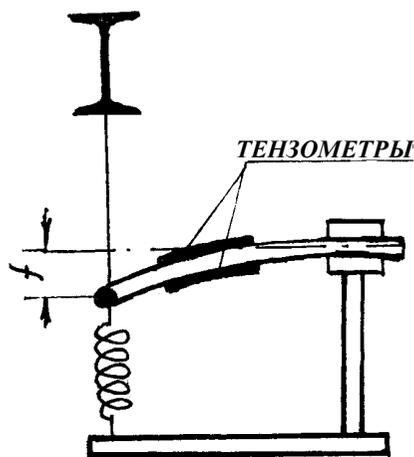


Рис. 21. Использование электрических тензометров сопротивления при измерении прогибов и других перемещений.

Электрические тензометры помимо измерения деформаций волокон могут быть использованы для измерения прогибов и других перемещений. При этом используют схему консольной балочки (рис.21). Электрические тензометры позволяют также измерять деформации при быстро протекающих процессах (при действии динамической нагрузки).

Простейшим прибором для измерения амплитуды колебаний в динамических испытаниях служит **вибромарка** (рис. 22). С целью повы-

шения точности измерения вместо непосредственного измерения амплитуды  $a$  снимают по шкале отсчет  $h$ , и вычисляют амплитуду по формуле

$$a = 1,1d \frac{h}{b} \quad (7)$$

Значения величин в формуле (7) показаны на рис. 22.

Обычно при динамических испытаниях измерения частоты и амплитуды колебаний выполняются с помощью механических и электрических приборов, снабженных устройством для записи виброграмм (под виброграммой понимают запись движения исследуемой точки во времени).

Из механических приборов применяют ручные вибрографы (ВР) и вибрографы Гейгера. В последнее время широкое применение находят электрические приборы: маятникового типа индуктивные и тензометры сопротивления с консольной механической схемой.

Для измерения частоты колебаний может быть использован электротензометр, так как измеряемые им изменения деформаций происходит с частотой колебаний конструкции. Сигнал усиливают с помощью усилительного устройства.

В качестве регистрирующей аппаратуры используют компьютер или многошлифовые осцилографы. Тензометры подключают к усилительной и регистрирующей аппаратуре по схеме, показанной на рис. 23.

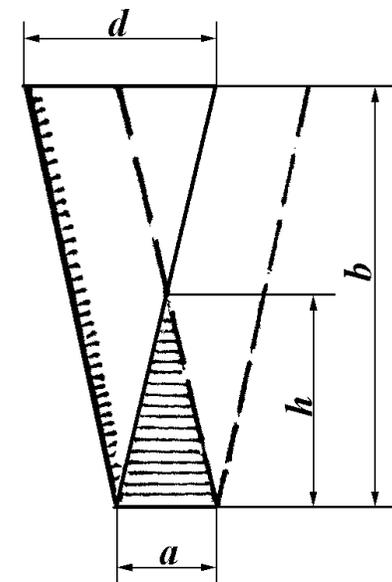
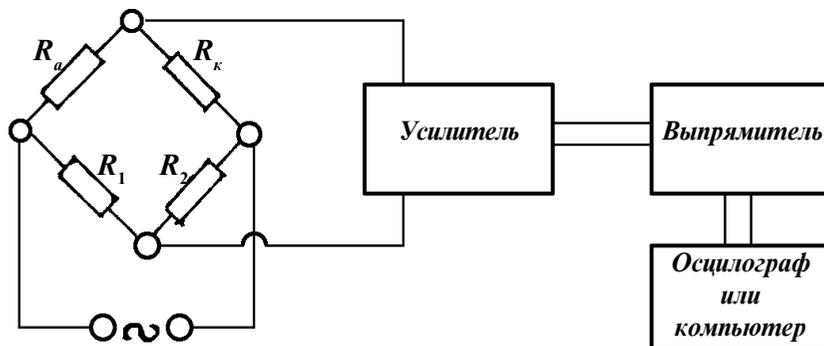


Рис. 22. Вибромарка.



**Рис. 23.** Схема подключения тензометров к усилительной и регистрирующей аппаратуре.

## 7. ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРОВ ВЕЛИЧИН

Значение степени точности результатов измерений позволяет внести в них нужные коррективы и дать более правильную оценку исследуемой конструкции.

Каждое измерение может содержать в себе ошибку  $\Delta a$ , т.е. величину, представляющую собой разность между измеренным  $a$  и действительным  $a_0$  значениями исследуемого параметра. Принято считать, что при чтении каждого отсчета по шкале прибора можно ошибиться на половину деления. В худшем случае при снятии двух отсчетов ошибка в разности  $N_2 - N_1$  будет равна одному делению шкалы. Тогда относительная ошибка

$$\frac{\Delta a}{a} = \pm \frac{1}{N_2 - N_1}. \quad (8)$$

Следовательно, для уменьшения ошибки следует иметь большую разность  $N_2 - N_1$ , что можно достигнуть увеличением чувствительности прибора за счет увеличения базы измерения, большего усиления сигнала и т.д.

На точность измерения влияют и другие факторы, например, точность определения величины испытательной нагрузки, точность размеров конструкции, точность определения свойств материалов, влияние условий эксперимента и др. Общую точность результатов испытаний можно представить, как сумму относительных ошибок, возникающих от различных факторов.

При выполнении нескольких измерений одинаковой точности наиболее вероятным значением измеряемой величины является среднее арифметическое. Обработка измеренных величин сводится, таким образом, к получению средних.

Кроме систематических ошибок, о которых шел разговор выше, возможны просчеты и описки. Этого рода ошибки обнаруживаются при обработке первичных результатов измерений, и они должны быть исправлены или отброшены. Если число наблюдений не велико, как правило, не удастся воспользоваться методами математической статистики. Ошибка чаще обнаруживается при построении графиков. В этом случае эксперимент должен быть повторен.

При производстве большого количества измерений одной и той же величины обнаружить случайную ошибку или промах помогает теория вероятностей и методы математической статистики. Методика обработки измеренных величин при выполнении массовых измерений и оценка их точности подробно изложены в [1,3] и др.

## 8. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ (КОСВЕННЫЕ) МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА В СООРУЖЕНИИ

Определение свойств материала производится путем испытания стандартных образцов, изготовленных одновременно с испытываемой конструкцией. Если таких образцов нет, то они вырубаются или вырезаются из материала конструкции.

Поскольку вырубка или вырезка образцов представляет большие трудности и нарушает как структуру образ-

ца, так и материал конструкции, при испытаниях стремятся к минимуму количество таких образцов, используя при этом неразрушающие методы определения прочности материала непосредственно в конструкции. Эти методы основываются на применении зависимостей (главным образом, эмпирических) между прочностью материала и некоторыми его другими характеристиками, например, твердостью, скоростью распространения ультразвуковых волн, частотой свободных колебаний элемента и т.д.

Методы механических испытаний образцов изучаются в курсе “Материаловедение” и в данном пособии не рассматривается. Ниже приводится описание акустических и радиометрических методов контроля прочности и других технических характеристик материала.

Акустические методы основаны на использовании скорости распространения ультразвуковых импульсов в исследуемом материале (импульсный ультразвуковой метод) или частоты собственных колебаний конструкции (резонансный метод).

Радиометрический метод базируется на взаимодействии с контролируемым материалом ядерных излучений радиоактивных изотопов.

Сущность импульсного ультразвукового метода контроля качества бетона и определения его прочности заключается в использовании известной формулы Ньютона, связывающей скорость распространения звука в среде  $V$  с модулем упругости среды  $E$  и плотностью среды

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (9)$$

Метод используют для контроля прочности и однородности бетона и стали, а также для контроля трещинообразования в бетоне.

Прочность бетона на каком-либо участке конструкции или его средняя прочность определяют с помощью тариро-

вочного графика, построенного для бетона данного состава заранее. Построение тарировочных графиков, т.е. зависимости “прочность бетона – скорость распространения ультразвука”, производят по результатам испытаний стандартных бетонных кубиков. В кубиках находят скорость распространения ультразвука, после чего испытывают кубик на сжатие и находят предел прочности бетона.

В тех случаях, когда определяется прочность бетона неизвестного состава (при эксплуатационных испытаниях) бетон в конструкции “прозвучивают” в нескольких заранее намеченных местах, затем делают вырезку образцов и подвергают их испытаниям на сжатие. Прозвучивание не нарушает структуры бетона, что дает возможность определять прочность его в наиболее напряженных сечениях конструкции пользуясь механическими испытаниями образца, взятого из менее напряженного участка. Точность определения прочности бетона в конструкции этим методом составляет  $\pm 20\%$ .

Принципиальная схема прибора показана на рис. 24. Генератор подает на излучатель электрический импульс, который в излучателе преобразуется в механические колебания. Пройдя через бетон, волна колебаний воспринимается щупом, в котором механические колебания преобразуются в электри-

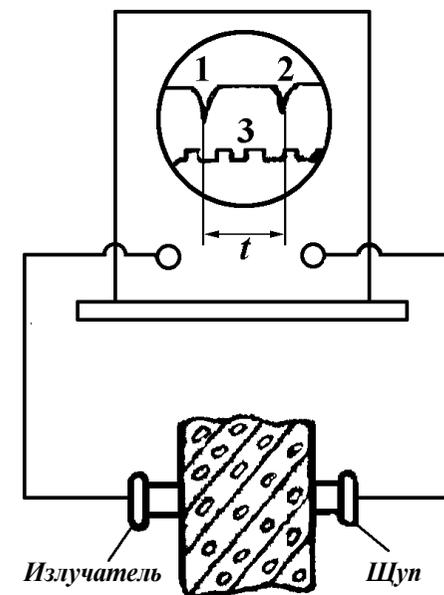


Рис. 24. Схема испытаний ультразвуковым методом контроля прочности и однородности бетона или стали, образования трещин

ческий импульс, подаваемый в записывающий прибор. На экране отмечаются переданный 1 и принятый 2 импульсы. Время между импульсами определяется по электронной шкале. Скорость распространения импульса вычисляют по формуле

$$V = \frac{b}{t - t_0}, \quad (10)$$

где  $b$  - ширина базы измерения, мм;

$t$  - время между переданным и принятым импульсами, сек;

$t_0$  - постоянная поправка, определяемая при сомкнутых излучателе и щупе.

Определение свойств бетона ультразвуком производится в следующем порядке: намечаются места “прозвучивания”; эти места смазываются солидолом или машинным маслом для надежного акустического контакта; прижимаются к местам прозвучивания излучатель и щуп и дается импульс.

На изучаемой конструкции прозвучивание производят в линейных элементах (колонны, балки, элементы ферм) посередине длины и на опорах или через каждые 2,5-3 м длины. Элементы большой площади прозвучивают через каждые 1-2 м равномерно по всей площади. Однородность бетона по длине и высоте конструкции определяют прозвучиванием по размеченной клеточной сетке.

Контроль за трещинами выполняют прозвучиванием конструкции с высокой точностью отсчета времени при измерениях на малых базах. При наличии трещины звуковая волна должна обогнуть ее, что увеличивает измеренное время, а скорость продольных волн с образованием трещин резко падает.

Аналогичную методику определения прочности и обнаружения трещин используют при испытаниях металлических конструкций.

Резонансный метод основан на использовании эмпирической связи между прочностью материала и частотой собствен-

ных колебаний конструкции. С помощью этого метода определяют прочность, модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Перечисленные величины определяют по тарировочным графикам путем измерения частоты свободных колебаний и характера их затухания в образце.

Принципиальная схема испытаний показана на рис. 25.

Образцу или элементу сообщают колебания различной частоты с помощью генератора звука 1, позволяющего изменять частоту звука. На испытываемый образец устанавливают звукосниматель 2, подающий сигналы на измерительный прибор. На экране появляется амплитуда колебаний элемента. Изменяя частоту колебаний находят наибольшие амплитуды этих колебаний, характеризующие резонансную частоту, которая определяется по шкале генератора звуковых частот.

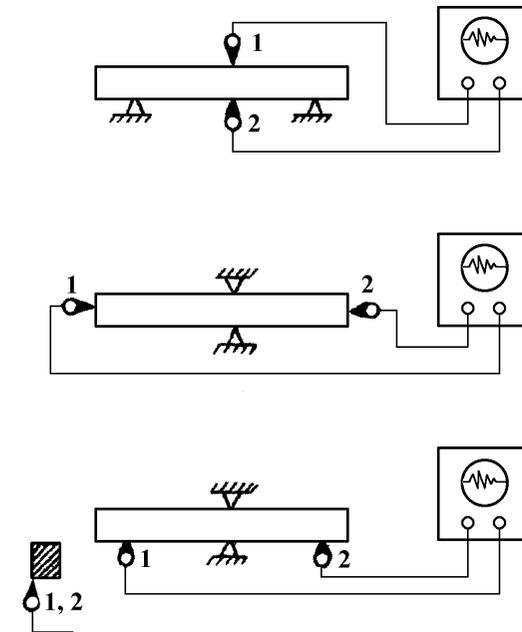


Рис. 25. Схема испытаний конструкции с использованием резонансного метода при определении прочности и модуля упругости бетона

Декремент затухания колебаний вычисляют по формуле

$$\alpha T = \frac{\pi}{3} \frac{f_2 - f_1}{f_0}, \quad (11)$$

где  $f_0$  – частота собственных колебаний, соответствующая наибольшей амплитуде  $a_{\text{макс}}$ ;

$f_1$  – частота, соответствующая  $0,5a_{\text{макс}}$  до резонанса;

$f_2$  – то же после резонанса.

Все три частоты легко определяются по соответствующей амплитуде на шкале генератора частот.

Модуль упругости находят по формуле

$$E = 4 \rho l^2 f_0^2, \quad (12)$$

где  $l$  – длина образца;

$$\rho = \frac{\gamma}{g},$$

$\gamma$  – объемный вес;

$g$  – ускорение силы тяжести.

Коэффициент Пуассона определяют по формуле

$$\mu = k \left( \frac{f_{0\text{прод}}}{f_{0\text{крут}}} \right)^2, \quad (13)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения, для цилиндрических образцов  $k=0,5$ , для квадратного сечения призматических образцов –  $0,423$ ;

$f_{0\text{прод}}$  – частота собственных продольных колебаний;

$f_{0\text{крут}}$  – то же крутильных колебаний.

Оценка прочности материала (бетона, стали и др.) при испытании резонансным методом производится с помощью тарифовочных графиков, характеризующих зависимость предела прочности  $R$  от декремента затухания  $\alpha T$  и модуля упругости  $E$ .

Радиометрические методы, к которым относятся метод поглощения и метод рассеянного гамма-излучения, используются, главным образом, для определения плотности и объемного веса материала и конструкции.

Метод поглощения (просвечивания) обычно применяют при толщине сечения элемента до 1 м и свободном доступе к противоположным поверхностям конструкции (рис. 26, а). Метод рассеянного излучения (рис. 26, б) применяют при толщине более 1 м или при отсутствии свободного доступа к противоположной поверхности. Этот метод менее точен.

В процессе радиометрического испытания изотоп излучает через отверстие свинцового контейнера гамма-лучи в бетон элемента. Наиболее распространенным источником излучения является кобальт-60.

Выход лучей фиксирует счетчик, который подает импульсы на радиометр. При прохождении лучей через бетон или другой материал их интенсивность ослабевает. Это обстоятельство и является основой измерения. Измеряют интенсивность лучей после их взаимодействия с материалом и далее по тарифовочным кривым находят искомые величины.

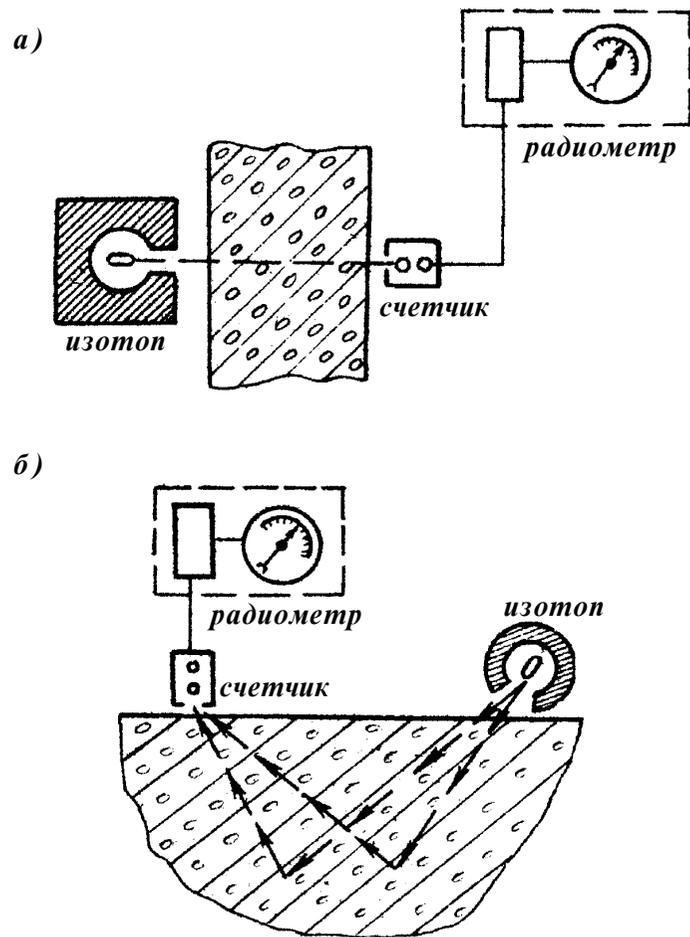
В процессе экспериментальных работ должно быть уделено особое внимание охране труда и организован дозиметрический контроль рабочего места.

Опыт проведения испытаний строительных конструкций в последнее время показывает, что исследователи стремятся одновременно использовать разные физические методы определения механических характеристик материала. Каждая из характеристик наиболее просто определяется каким-либо методом.

В динамических испытаниях ультразвуковой метод используют главным образом для определения однородности,

прочности и модуля упругости материала, резонансный метод – для определения коэффициента Пуассона, радиометрический – для определения плотности исследуемого материала (в основном бетона).

Подробное изложение использования в испытаниях неразрушающих методов контроля состояния конструкций дано в [1, 2, 6, 17].



**Рис. 26.** Схемы испытаний радиометрическими методами:  
а- метод поглощения; б - метод рассеяного излучения.

## 9. РУКОВОДСТВО К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНЫХ РАБОТ

### 9.1. Руководство к выполнению задачи по оценке экономического эффекта при применении эквивалентной схемы нагружения

Использование эквивалентной схемы нагружения конструкции или сооружения позволяет упростить и существенно уменьшить трудоемкость расчетов, необходимых для сравнения теоретических и экспериментально полученных данных по деформациям и перемещениям, а также получить экономию загрузочного материала и времени на проведение испытаний.

Наиболее часто этот прием применяют при испытаниях статически неопределимых неразрезных конструкций (балок, плит и т.д.). Экономический эффект в этих случаях может быть достигнут нагружением не всех пролетов конструкции.

В решаемой задаче необходимо оценить целесообразность использования эквивалентной (упрощенной) схемы нагружения в неразрезной 4-пролетной балочной конструкции. Для этого необходимо вычислить и сравнить между собой расчетные изгибающие моменты в заданном сечении балки при двух схемах нагружения: расчетной и упрощенной. Полученные результаты расчетов сравнивают в процентах.

#### 9.1.1. Процедура расчета

Производится расчет изгибающего момента по расчетной схеме в заданном сечении неразрезной балки. Аналогично производится вычисление для упрощенной схемы.

Неразрезная 4-пролетная балочная система является трижды статически неопределимой. Для определения неизвестных изгибающих моментов в расчете используют теорему о трех моментах [7].

Воспользуемся формулами равнопролетных неразрезных балок при произвольном нагружении. При нагружении равномерно распределенной нагрузкой фиктивные опорные реакции  $A=B=0,042ql^3$ , а  $R=L=6B/l=6A/l=0,25ql^2$ .

Опорные моменты для 4-пролетной неразрезной балки (см. схему на рис. 27) определим по формулам

$$M_B = -\frac{1}{56}[15(R_1 + L_2) - 4(R_2 + L_3) + R_3 + L_4], \quad (14)$$

$$M_C = -\frac{1}{14}[-R_1 + L_2 - 4(R_2 + L_3) - R_3 - L_4], \quad (15)$$

$$M_D = -\frac{1}{56}[R_1 + L_2 - 4(R_2 + L_3) + 15(R_3 + L_4)]. \quad (16)$$

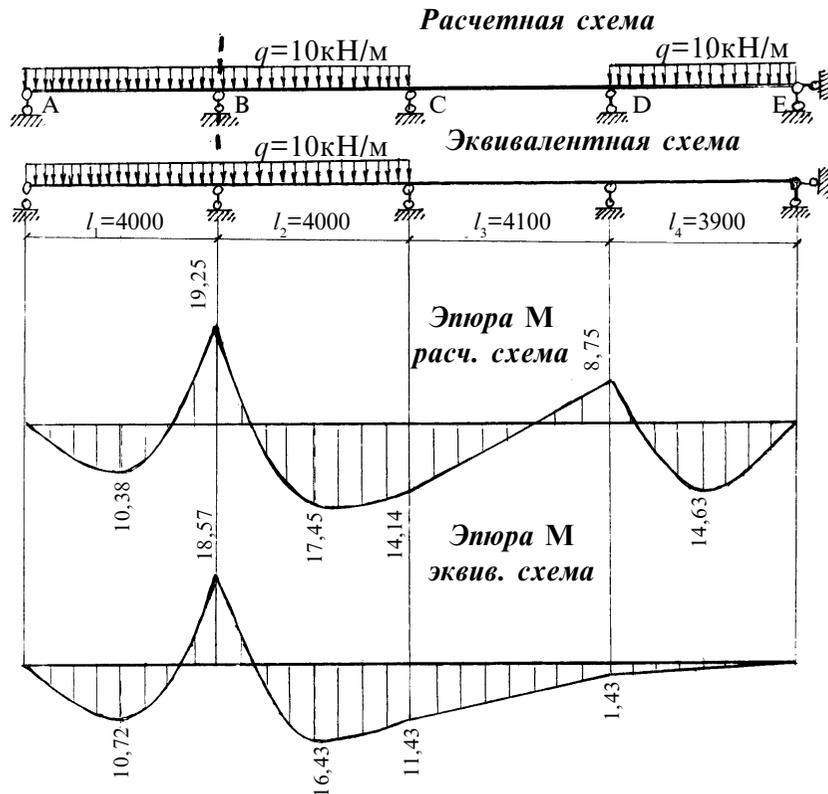


Рис. 27. Эпюры моментов в четырех пролетной неразрезной балке при нагрузке  $q=10$  кН/м, приложенной в соответствии с принятыми расчетной и эквивалентной схемами.

Изгибающий момент в середине пролета (например, в пролете  $BC$  по схеме рис.27) можно определить по формуле

$$M = \frac{M_B + M_C}{2} - \frac{ql^2}{8}. \quad (17)$$

Примечание: примем момент, откладываемый вверх от продольной оси балки, со знаком минус, вниз – со знаком плюс.

При незначительно отличающихся друг от друга пролетах с некоторой погрешностью можно воспользоваться для вычисления моментов формулами (14, 15, 16). Если пролеты отличаются друг от друга существенно, изгибающий момент в заданном сечении определяют используя теорему трех моментов.

### 9.1.2. Пример расчета

Исходные данные: 4-пролетная неразрезная балка загружена равномерно распределенной нагрузкой по расчетной и упрощенной (эквивалентной) схемам (рис. 27). Пролеты  $l_1$  и  $l_2=4,0$  м,  $l_3=4,1$  м,  $l_4=3,9$  м,  $q=10$  кН/м. Расчетное сечение в узле В.

Вычислить и сравнить между собой величины моментов в заданном сечении и дать экономическую оценку упрощенного варианта, вычертить схемы балок и построить эпюры моментов.

Определение моментов на опорах.

Для вычисления моментов используем формулы (14-16).

$$R_1 = R_2 = L_1 = L_2 = 0,25ql_1^2 = 0,25 \times 10 \times 4^2 = 40; \quad R_3 = L_3 = 0;$$

$$R_4 = L_4 = 0,2 \times 10 \times 3,9^2 = 38.$$

Для расчетной схемы

$$M_B = -\frac{1}{56}[15(40 + 40) - 4(40 + 0) + 38] = -19,25 \text{ кНм};$$

$$M_C = -\frac{1}{14}[-40 + 40 - 4(40 + 0) - 0 - 38] = +14,14 \text{ кНм};$$

$$M_D = -\frac{1}{56}[40 + 40 - 4(40 + 0) + 15(0 + 38)] = -8,75 \text{ кНм}.$$

Для упрощенной схемы  $R_4 = L_4 = 0$ . Остальные параметры те же. Подставив их значения получим  $M_B = -18,57$  кНм,  $M_C = +11,43$  кНм,  $M_D = +1,43$  кНм.

Вычислим моменты в середине загруженных первого, второго и четвертого пролетов расчетной схемы по формуле (17).

$$M_{AB} = (0 - 19,25)/2 + 10 \times 4^2 / 8 = +10,38 \text{ кНм};$$

$$M_{BC} = (-19,25 + 14,14)/2 + 10 \times 4^2 / 8 = 17,45 \text{ кНм};$$

$$M_{DE} = (-8,75 + 0)/2 + 10 \times 3,9^2 / 8 = +14,63 \text{ кНм}.$$

Моменты в середине первого и второго пролетов в упрощенной схеме

$$M_{AB} = (0 - 18,57)/2 + 10 \times 4^2 / 8 = +8,72 \text{ кНм};$$

$$M_{BC} = (18,57 + 11,43)/2 + 10 \times 4^2 = +16,43 \text{ кНм};$$

четвертый пролет не загружен.

Величины изгибающих моментов в заданном сечении балки над опорой  $B$  отличаются друг от друга на  $(19,25 - 18,57) \times 100 / 19,25 = 3,53\%$ . Считаем применение эквивалентной схемы нагружения в проверочных расчетах целесообразным. На рис. 27 приводятся эпюры изгибающих моментов в неразрезной 4-пролетной балке для рассмотренных схем нагружения.

## 9.2. Руководство по определению статистических характеристик по результатам механических испытаний

Для определения неизвестной физической постоянной производят  $n$  независимых измерений, причем считают, что грубые и систематические ошибки отсутствуют (см. раздел 3.4). Возможный результат каждого из  $n$  измерений есть случайная величина, которую обозначим через  $x_i$  ( $i$  - номер измерения). Так как каждое измерение не зависит от результатов других измерений, имеем  $n$  случайных независимых величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , полученных в результате физических измерений. Таким образом,  $x_i$  есть одно из возможных значений исследуемой постоянной (в рассмотренной ниже задаче - временного сопротивления разрыву проволоки  $\sigma_g$ ).

Величина  $\sigma_g$  распределена по нормальному закону распределения случайных величин.

При обработке данных испытаний определяют:

- выборочное среднее  $\bar{x}$ ;
- среднее квадратичное отклонение (эмпирический стандарт)  $S$ ;
- наибольшую вероятную ошибку  $\varepsilon_\beta$  и границы доверительного интервала  $I_1, I_2$  при задаваемой доверительной вероятности  $\beta$ ;

- коэффициент однородности  $K_0$  и другие статистические характеристики.

коэффициент однородности  $K_0$  и другие статистические характеристики.

### 9.2.1. Процедура обработки данных испытаний

Выборочное среднее вычисляют как среднее арифметическое из  $n$  элементов выборки:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n. \quad (18)$$

Среднее квадратичное отклонение определяют по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (19)$$

Границы доверительного интервала  $I_1, I_2$  при доверительной вероятности  $\beta$  рассчитывают по формулам:

$$I_1 = \bar{x} + \varepsilon_\beta; \quad I_2 = \bar{x} - \varepsilon_\beta, \quad (20)$$

где  $\varepsilon_\beta = \bar{S}t_\beta$  - наибольшая вероятная ошибка при оценке истинного значения  $\bar{x}$ ;

$$\bar{S} = \frac{S}{\sqrt{n}} - \text{среднее квадратичное отклонение выборочного среднего } \bar{x};$$

ного среднего  $\bar{x}$ ;

$t_\beta$  - параметр, зависящий от доверительной вероятности  $\beta$ .

Значение доверительной вероятности назначают в зависимости от поставленной задачи.

Коэффициент однородности определяют по формуле:

$$K_0 = \frac{\bar{x} - 3S}{\bar{x}}. \quad (21)$$

### 9.2.2. Пример расчета статистических характеристик

По результатам механических испытаний проволоки диаметром 6 мм для армирования предварительно напря-

женных железобетонных конструкций определить статистические характеристики временного сопротивления разрыву  $\sigma_g$ .

Число элементов в выборке (количество подвергшихся испытаниям образцов)  $n = 19$ . Подлежат статистической обработке следующий ряд измеренных при испытаниях величин  $x_i$ : 174.5, 175.5, 177.0, 175.5, 175.5, 183.5, 179.0, 175.5, 178.0, 175.5, 180.0, 172.5, 180.0, 182.5, 191.5, 177.5, 176.5, 177.0, 177.5 кгс/мм<sup>2</sup>. Величина  $\sigma_g$  распределена по нормальному закону. Доверительная вероятность  $\beta = 0.95$ .

*Решение:*

Для вычисления выборочного среднего и квадратичного отклонения заполним таблицу 9.1.

Таблица 9.1

№ образца	$x_i$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	174.5	-3.1	9.61
2	175.5	-2.1	4.41
3	177.0	-0.6	0.36
4	175.5	-2.1	4.41
5	175.5	-2.1	4.41
6	183.5	5.9	34.81
7	179.0	1.4	1.96
8	175.5	-2.1	4.41
9	178.0	0.4	0.16
10	175.5	-2.1	4.41
11	180.0	2.4	5.76
12	172.5	-5.1	26.01
13	180.0	2.4	5.76
14	182.5	4.9	24.01
15	181.5	3.9	15.21
16	177.5	-0.1	0.01
17	176.5	-1.1	1.21
18	177.0	-0.6	0.36
19	177.5	-0.1	0.01

$$\sum_{i=1}^{19} x_i = 3375,5$$

$$\sum_{i=1}^{19} (x_i - \bar{x})^2 = 147,29$$

Выборочное среднее

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{3374,5}{19} = 177,6 \text{ кГс/мм}^2;$$

среднее квадратичное отклонение выборочного среднего  $\bar{x}$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{147,29}{19-1}} = 2,87 \text{ кГс/мм}^2.$$

При  $\beta = 0,95$  параметр  $t_\beta = 1,96$ . Границы доверительного интервала

$$I_1 = \bar{x} + \frac{S}{\sqrt{n}} t_\beta = 177,6 + \frac{2,87}{\sqrt{19}} \times 1,96 = 178,7 \text{ кГс/мм}^2;$$

$$I_2 = 177,6 - \frac{2,87}{\sqrt{19}} \times 1,96 \text{ кГс/мм}^2.$$

Коэффициент однородности  $K_0 = \frac{\bar{x} - 3S}{\bar{x}} = (177,6 - 3 \times 2,87) / 177,6 = 0,952$ .

### 9.3. Руководство по определению круговой частоты собственных колебаний системы

Ранее (см. раздел 4) отмечалось, что основной динамической характеристикой каждой конструкции являются ее собственные частоты свободных колебаний. По мере приближения вынужденных колебаний конструкции к частоте ее собственных колебаний возрастают амплитуды вынужденных колебаний (а следовательно, и внутренние усилия и напряжения), обусловленные этими воздействиями. Наибольшие

амплитуды возникают при резонансе, соответствующем совпадению указанных выше частот (см. рис. 16).

При проектировании конструкций или конструировании их усиления необходимо исключить возможность возникновения резонанса.

#### 9.3.1. Процедура определения частоты свободных колебаний

Конструкцию с грузом  $G$  можно рассматривать как систему с одной степенью свободы, находящуюся в равновесии под действием восстанавливающей упругой силы  $P_{\text{упр}} = cy$  ( $c$  – жесткость системы) и силы инерции  $J = -my$ . Составляя условие равновесия для этих сил, получим дифференциальное уравнение:

$$m\ddot{y} + cy = 0, \text{ или } \ddot{y} + \omega^2 y = 0,$$

где  $\omega$  – круговая частота собственных колебаний системы;  
 $m$  – масса груза.

Это уравнение собственных незатухающих колебаний системы с одной степенью свободы. Искомая частота собственных колебаний системы  $\omega$  определяется по формуле (3). Жесткость системы  $c$ , характеризующая ее упругие свойства, численно равна силе, которую необходимо приложить к системе в заданной точке, чтобы переместить ее на величину, равную единице.

Для балки, свободно лежащей на двух опорах с сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета (рис. 28, а):

$$c = \frac{48EI}{l^3}.$$

Для консольной балки с сосредоточенной нагрузкой на свободном конце (рис. 28, б):

$$c = \frac{3EI}{l^3}.$$

Для стержня по схеме (рис.28, в):  $c=EA/l$ , где  $A$  - площадь сечения стержня.

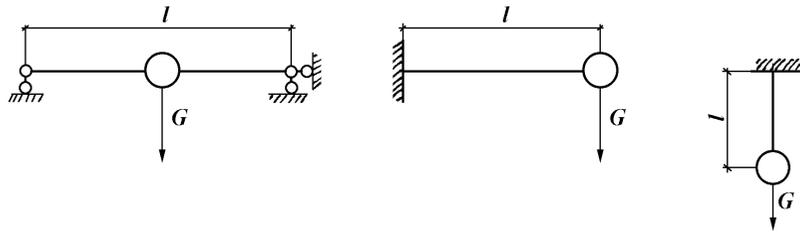


Рис. 28. Расчетные схемы конструкций:

*a* - балка, свободно лежащая на двух опорах, с сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета; *b* - консоль с сосредоточенной нагрузкой на свободном конце; *в* - подвеска.

### 9.3.2. Пример расчета круговой частоты свободных колебаний системы

Для системы, показанной на рис. 29, определить круговую частоту свободных колебаний и объяснить явление резонанса. Собственным весом балки пренебречь. Пролет стальной двутавровой балки  $l=5$  м, вес груза  $G=5,1$  кН, сечение балки – двутавр №24, у которого  $I=3460$  см<sup>4</sup>,  $E=2,06 \times 10^4$  кН/см<sup>4</sup>.

*Решение:*

Круговая частота свободных колебаний балки, свободно лежащей на двух опорах с сосредоточенной нагрузкой, приложенной в середине пролета

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{27,4}{0,0052}} = 72,5 \text{ 1/сек.}$$

В этой формуле:  $m=G/g=5,1/981=0,0052$  кН сек<sup>2</sup>/см;

$$c = \frac{48EI}{l^3} = 48 \times 2,06 \times 10^4 \times 3460 / 500^3 = 27,4 \text{ кН/см.}$$

О явлении резонанса см. раздел 4 и [1, 2, 6].

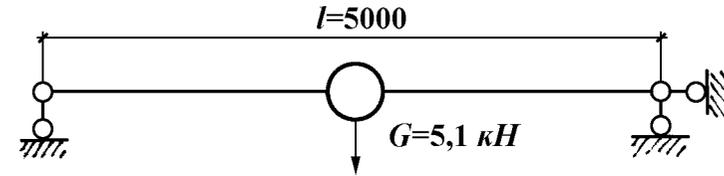


Рис. 29. Расчетная схема загрузки балки при определении частоты ее свободных колебаний

## ЛИТЕРАТУРА

1. Землянский А. А. Обследование и испытание зданий и сооружений: Учеб. пос. Изд.АСВ. –М.: 2001.
2. Лукин О. В. и др. Обследование и испытание сооружений. –М.: Стройиздат, 1987.
3. Венцель Е. С. Теория вероятностей. Учебник для вузов. –М.: Высшая школа, 2001.
4. Справочник проектировщика / Под общ. ред. В.В.Кузнецова. Металлические конструкции. Т 3. –М.: Издательство АСВ, 1999.
5. Саргсян А. Е. и др. Метод статистических испытаний при расчете строительных конструкций на надежность: Учеб. пос. –М.: РГОТУПС, 1999.
6. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. –М.: ОАО ЦНИИПомзданий, 1997.
7. Мухин Н. В., Першин А. Н., Шишман В. А. Статика сооружений. –М.: Высшая школа, 1980.
8. Мастаченко В. Н. Испытания строительных конструкций на моделях. Методические разработки. –М.: 1972.
9. Трудоношин В. А., Пивоваров Н.В. Математические модели технических объектов. –М.: Высшая школа, 1986.
10. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений. –М.: Стройиздат, 1981.
11. Ильин Н. А. Техническая экспертиза зданий, подверженным пожарам. –М.: Стройиздат, 1983.
12. Берменов М. В. Основания и фундаменты: Учебник для вузов. –М.: Высшая школа, 1999.
13. Коновалов П. А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий. –М.: Стройиздат, 1988.
14. Гринберг В. Е., Семенов В.Г. и др. Контроль и оценка состояния несущих конструкций и сооружений в эксплуатационный период. –Л.: Стройиздат, 1982.
15. СНиП 3.04.03-85 Защита строительных конструкций от коррозии.
16. НПБ 105-95 Определение категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной безопасности.
17. Рекомендации по контролю железобетонных конструкций неразрушающими методами. Оргтехстрой, –М.: 1989.
18. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. ЦНИСК им. Кучеренко. –М.: 1988.
19. Рекомендации по обследованию стальных конструкций производственных зданий. ЦНИИПроектстальконструкция. –М.: Стройиздат, 1988.
20. Рекомендации по оценке состояния железобетонных конструкций в агрессивных средах. НИИЖБ., 1984.
21. ГОСТ 24846-81 Грунты. Методы измерения деформации оснований зданий и сооружений.
22. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, подверженных пожарам. НИИЖБ и др. –М.: Стройиздат, 1987.
23. Сазыкин И. А. Организация проведения испытаний конструкций и сооружений под статическими и динамическими нагрузками. –М.: ВЗИИТ, 1973.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Обследование сооружений.....</b>	<b>4</b>
1.1. Общие сведения.....	4
1.2. Предварительное обследование.....	5
1.3. Определение геометрических параметров, прогибов и деформаций конструкций.....	7
1.4. Методы и средства наблюдения за трещинами.....	8
1.5. Обследование бетонных и железобетонных конструкций.....	10
1.6. Обследование каменных и армокаменных конструкций.....	17
1.7. Обследование стальных конструкций.....	22
1.8. Обследование деревянных конструкций.....	26
1.9. Ограждающие конструкции.....	27
1.10. Обследование фундаментов и оснований.....	29
1.11. Особенности обследования строительных конструкций зданий, поврежденных пожаром.....	32
<b>2. Испытания конструкций и сооружений.....</b>	<b>33</b>
2.1. Общие сведения.....	33
2.2. Классификация видов испытаний конструкций и сооружений.....	37
2.3. Организация проведения испытаний.....	38
<b>3. Испытания строительных конструкций статической нагрузкой.....</b>	<b>42</b>
3.1. Рабочая схема испытываемой конструкции.....	42
3.2. Размещение приборов на испытываемых конструкциях.....	49
3.3. Проведение испытаний статической нагрузкой.....	51
3.4. Обработка материалов испытаний и оценка состояния конструкции.....	53

<b>4. Испытания строительных конструкций динамической нагрузкой.....</b>	<b>55</b>
<b>5. Модельные испытания.....</b>	<b>62</b>
<b>6. Измерительные приборы для статических и динамических испытаний.....</b>	<b>63</b>
<b>7. Обработка измеренных с помощью приборов величин.....</b>	<b>70</b>
<b>8. Неразрушающие (коственные) методы определения свойств материала в сооружении.....</b>	<b>71</b>
<b>9. Руководство к выполнению расчетных работ.....</b>	<b>79</b>
9.1. Руководство к выполнению задачи по оценке экономического эффекта при применении эквивалентной схемы загрузки.....	79
9.1.1. Процедура расчета.....	79
9.1.2. Пример расчета.....	79
9.2. Руководство по определению статистических характеристик по результатам механических испытаний.....	81
9.2.1. Процедура обработки данных испытаний.....	83
9.2.2. Пример расчета статистических характеристик.....	84
9.3. Руководство по определению круговой частоты собственных колебаний системы.....	86
9.3.1. Процедура определения частоты собственных колебаний.....	87
9.3.2. Пример расчета круговой частоты свободных колебаний системы.....	88

**ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ  
СООРУЖЕНИЙ**

*Учебное пособие*