

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

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

В.С. Абрашитов

**ОБСЛЕДОВАНИЕ И УСИЛЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Курс лекций

Рекомендовано Редсоветом университета  
в качестве учебного пособия  
по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство»

Пенза 2016

УДК 69.059 (075.8)  
ББК 37.7-09я73  
А16

Рецензенты: кандидат технических наук, профессор  
И.С. Гучкин (ПГУАС);  
генеральный директор ООО «Фунда-  
мент», кандидат технических наук  
Ю.А. Козлов

**Абрашитов В.С.**  
А16      **Обследование и усиление строительных конструкций при рекон-  
струкции зданий и сооружений: курс лекций по направлению подго-  
товки 08.03.01 «Строительство» / В.С. Абрашитов. – Пенза: ПГУАС,  
2016. – 108 с.**

Изложена методика выполнения обследования и испытания конструктивных эле-  
ментов зданий и сооружений. Показана возможность определения прочностных свойств  
материалов конструктивных элементов неразрушающими методами. Описаны элементы  
выполнения контроля качества в строительстве, и его метрологическое обеспечение.  
Приведена методика осуществления реконструкции зданий и сооружений.

Курс лекций подготовлен на кафедре «Строительные конструкции» и предназначен  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство».

© Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства, 2016  
© Абрашитов В.С., 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение долговечности конструктивных элементов зданий и сооружений в настоящее время является одной из актуальных задач технической эксплуатации. Необходимость проведения реконструкции зданий требует решения вопросов выявления резервов несущей способности конструкций при возможности увеличения нагрузок на них. Возникает необходимость выявления технического состояния конструкций для проведения в них ремонтов и усилений. Для этого необходимо выполнять обследование и освидетельствование конструкций зданий и сооружений. Поэтому целью изучения данной дисциплины студентом является знание ими методов контроля напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций и обучение их способам восстановления эксплуатационной пригодности зданий и сооружений при их капитальном ремонте и реконструкции.

Каждое здание и сооружение при своей эксплуатации подвергается воздействию изменяющихся нагрузок, технологических сред и атмосферных явлений. Снижение эксплуатационных свойств конструкций происходит в результате физического и морального износа. Поэтому одной из важных задач эксплуатации является разработка мероприятий, способствующих увеличению периода нормальной эксплуатации зданий и сооружений. Применение в настоящее время современных программных комплексов на ЭВМ позволяют это сделать. Имеющиеся способы и методы выявления состояния конструкций при проведении реконструкции делают возможным оценить качество вновь построенных зданий и сооружений, определить состояние элементов конструкций в процессе их эксплуатации для предотвращения процесса разрушения. Выявить ограниченно-работоспособные и аварийные конструкции для дальнейшего их усиления. При современном уровне строительства основной стратегией развития материальной базы является реконструкция и техническое перевооружение.

Изучение дисциплины «Обследование и усиление строительных конструкций при реконструкции зданий и сооружений» направлено на формирование следующих общепрофессиональных компетенций:

- знать основные методы защиты и предотвращения производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;
- знать нормативную базу в области инженерных обследований, испытаний и реконструкции зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования;
- владеть методами проведения инженерных обследований строительных конструкций, методами проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных прикладных расчётных и графических пакетов;

- знать состав работ и порядок проведения инженерного обследования зданий и сооружений различного назначения;
- знать основные методы дефектоскопии металлических и железобетонных конструкций, а также метода контроля физико-механических характеристик материалов в элементах конструкций;
- составлять ведомости дефектов и производить оценку влияния этих дефектов на несущую способность конструкций;
- знать методику измерений и работы с измерительной аппаратурой по обследованиям конструкций;
- знать состав работ, порядок проведения статических и динамических испытаний конструкций и моделей, способы обработки результатов статических и динамических испытаний конструкций и моделей выполнять анализ их результатов;
- составлять отчёт по выполненным работам, участвовать во внедрении результатов исследований и практических разработок;
- проводить исследования, необходимые для проектирования реконструкции зданий и сооружений;
- составлять заключения по выполненному обследованию и внедрением результатов исследований и разработок;
- пользоваться нормативно-технической документацией, применяемой в строительстве по вопросам диагностики и испытания конструкций.

В результате освоения дисциплины студент должен:

*знать:*

- основные методы защиты и предотвращения производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;
- нормативную базу в области обследований, испытаний и реконструкции зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования;
- методы проведения инженерных обследований строительных конструкций, методы проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных прикладных расчётных и графических пакетов;
- состав работ и порядок проведения инженерного обследования зданий и сооружений различного назначения;
- основные методы дефектоскопии металлических и железобетонных конструкций, а также метода контроля физико-механических характеристик материалов в элементах конструкций;
- методы контроля конструкций;
- как составлять ведомости дефектов и производить оценку влияния этих дефектов на несущую способность конструкций;
- методику измерений и работы с измерительной аппаратурой по обследованиям конструкций;

- состав работ, порядок проведения статических и динамических испытаний конструкций и моделей, способы обработки результатов статических и динамических испытаний конструкций и моделей, как выполнять анализ их результатов;

- как составлять отчёт по выполненным работам, участвовать во внедрении результатов исследований и практических разработок;

- как проводить исследования, необходимые для проектирования реконструкции зданий и сооружений;

- как составлять заключения по выполненному обследованию и внедрением результатов исследований и разработок;

- как пользоваться нормативно-технической документацией, применяемой в строительстве по вопросам диагностики и испытания конструкций;

*уметь:*

- применять методы защиты и предотвращения производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

- исследовать нормативную базу в области обследований, испытаний и реконструкции зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования;

- пользоваться методами проведения инженерных обследований строительных конструкций, методами проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных прикладных расчётных и графических пакетов;

- проводить работы при инженерных обследованиях зданий и сооружений различного назначения;

- применять методы дефектоскопии металлических и железобетонных конструкций, а также метода контроля физико-механических характеристик материалов в элементах конструкций;

- выбирать методы контроля конструкций;

- составлять ведомости дефектов и производить оценку влияния этих дефектов на несущую способность конструкций;

- применять методику измерений и работы с измерительной аппаратурой по обследованиям конструкций;

- проводить статические и динамические испытания конструкций и моделей, обработку результатов статических и динамических испытаний конструкций и моделей, выполнять анализ их результатов;

- составлять отчёт по выполненным работам, участвовать во внедрении результатов исследований и практических разработок;

- проводить исследования, необходимые для проектирования реконструкции зданий и сооружений;

- составлять заключения по выполненному обследованию и внедрением результатов исследований и разработок;

– пользоваться нормативно-технической документацией, применяемой в строительстве по вопросам диагностики и испытания конструкций;

*владеть:*

– методами защиты и предотвращения производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

– нормативной базой в области обследований, испытаний и реконструкции зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования;

– методами проведения инженерных обследований строительных конструкций, методами проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных прикладных расчётных и графических пакетов;

– составом работ и порядком проведения инженерного обследования зданий и сооружений различного назначения;

– методами дефектоскопии металлических и железобетонных конструкций, а также метода контроля физико-механических характеристик материалов в элементах конструкций;

– методами контроля конструкций;

– методикой составления ведомостей дефектов и производить оценку влияния этих дефектов на несущую способность конструкций;

– методикой измерений и работы с измерительной аппаратурой по обследованиям конструкций;

– методикой проведения статических и динамических испытаний конструкций и моделей, способы обработки результатов статических и динамических испытаний конструкций и моделей, умеет выполнять анализ их результатов;

– методикой составления отчётов по выполненным работам, внедрения результатов исследований и практических разработок;

– методами проведения исследований, необходимых для проектирования реконструкции зданий и сооружений;

– методикой составления заключения по выполненному обследованию и внедрения результатов исследований и разработок;

– методикой использования нормативно-технической документации, применяемой в строительстве по вопросам диагностики и испытания конструкций.

# Лекция 1

## ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Цели и задачи – разработка методов и средств, для качественной и количественной оценки свойств и состояния функционирующих объектов; опытное изучение процессов протекающих в них, выявление экспериментальным путем конструктивных и эксплуатационных свойств материалов, элементов конструкций зданий и сооружений и установление их соответствия техническим требованиям.

Обследование строительных конструкций зданий и сооружений содержит в себе методы контроля качества изготовления и монтажа элементов строительных конструкций, обеспечивающие соответствия объекта проектным значениям и отображение действительной работы систем.

Привести примеры: (о соответствии ГОСТам, допускам, отклонение параметров от проектных).

Эффективность методов обследования строительных конструкций зданий и сооружений можно проиллюстрировать на примере разработки антисейсмических мероприятий при строительстве зданий в городе Газли. Основой для их разработки послужили данные обследования построек после произошедшего в 1976 году в этом городе землетрясения.

Основная задача испытаний сооружений – в установлении соответствия между реальным поведением строительной конструкции, и ее расчетной схемой. Примеры: (соответствие расчетной схемы действительной, отклонение в размерах). Цель испытаний – выявление поведения сооружений, конструкций и материалов, из которых изготовлены элементы.

Испытания могут проводиться в лабораториях, как на моделях, так и на реальных объектах.

### **Методы обследования и испытания сооружений**

В условиях ускорения развитого общества перед инженерами-строителями ставится задача оценки состояния эксплуатируемых строительных конструкций зданий и сооружений, решения вопроса о возможности их дальнейшей эксплуатации или реконструкции и усиления. Это связано с проведением обследования, на основе которого разрабатываются необходимые конструктивные решения. Обследование состоит из трех основных этапов:

– первоначальное ознакомление с проектной документацией, рабочими и исполнительными чертежами, актами на скрытые работы;

– визуальный осмотр объекта, установление соответствия объекта проекту, выявление дефектов, составление плана обследования сооружения, проведение комплекса исследований неразрушающими методами; фотофиксация дефектов и повреждений;

– анализ состояния сооружения и разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов; (выдача заключения о состоянии и работоспособности объекта).

Испытание конструкций зданий и сооружений является основным элементом обследования, но по своей методологии, по аппаратному обеспечению и по методам обработки представляет самостоятельное направление экспериментальной механики. Цель его – в создании методов и средств, позволяющих на базе экспериментальных исследований получить объективную оценку поведения инженерных конструкций зданий и сооружений, элементов и материалов из которых они изготовлены.

### **Необходимость испытания конструкций и сооружений; причины обуславливающие ее**

Испытания конструкций и сооружений или их моделей имеют большое значение для развития строительной науки и техники. Результаты испытаний дают возможность проверить надежность принятых методов расчета и конструирования, а так же правильность технологии изготовления элементов конструкций и сооружений. Это особенно важно для новых прогрессивных конструкций, работа которых в эксплуатационных условиях не изучена. Необходимость такой проверки вызывается тем, что расчеты строительных конструкций и сооружений еще несовершенны вследствие чего в ряде случаев при проектировании не удается полностью учесть все факторы, влияющие на работу конструкций в процессе их изготовления и эксплуатации. Например, при расчете элементов конструкций бывает трудно оценить действительные свойства материалов, определить степень заделки элементов в сопряжениях и опираниях, выявить пространственную работу конструкций и так далее.

К любому сооружению предъявляются следующие требования:

1) все сооружения, а также отдельные его элементы должны быть прочны и устойчивы, то есть должна быть обеспечена несущая способность сооружения;

2) перемещения элементов не должны выходить за пределы, обусловленные возможностью и удобством эксплуатации;

3) не должны возникать трещины и повреждения, нарушающие возможность нормальной эксплуатации или снижающие долговечность сооружения.

В тоже время не должны допускаться и излишние запасы прочности и деформативности.

При оценке состояния и работы сооружения необходимо иметь ввиду следующие факторы:

а) условность расчетных схем и возможные отклонения их от действительных;

б) условность ряда расчетных характеристик материала;

в) возможность отклонений от расчетных значений нагрузок;

г) влияние внешней среды, не учитываемое в обычных расчетах.

От правильного учета всех этих факторов часто зависит общая оценка, даваемая состоянию и работе исследуемого объекта.

а) Условность расчетной схемы. При назначении расчетной схемы любого сооружения проектировщику приходится учитывать два противоположных требования: с одной стороны, расчетная схема должна как можно ближе соответствовать реальным условиям работы сооружения и наиболее полно учитывать все действующие факторы; с другой стороны, желательно, чтобы расчетная схема была по возможности проста. Стремясь удовлетворить последнему требованию, часто отбрасывают отдельные второстепенные факторы и заменяют действительные условия работы сооружения некоторой упрощенной расчетной схемой. Применение ЭВМ дает возможность более полно учитывать действительные условия работы сооружений, однако это уточнение должно быть экспериментально оправдано.

#### Пример № 1 .

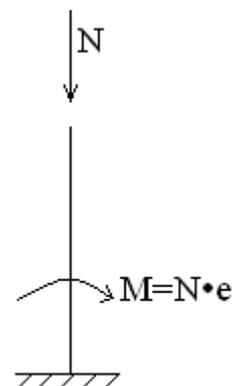
Основание жестко заделано, однако на самом деле возможны осадка и поворот фундамента. Это не может быть достаточно четко установлено расчетным путем и для выявления действительных условий работы сооружения приходится прибегать к натурным испытаниям.

Крайне важно правильно оценить: идут ли сделанные допущения ( при выборе расчетной схемы) в запас прочности или уменьшают его и в какой степени это отражается на напряжениях и деформациях.

б) Условность расчетных характеристик. В расчетах при установлении усилий и напряжений исходят из нормативных характеристик нагрузок и материалов с введением (по СНиП) соответствующих коэффициентов на статистические возможные их отклонения. Однако на самом деле при оценке несущей способности сооружений приходится иметь дело с действительными характеристиками материалов и нагрузок, которые могут существенно отклоняться от нормативных.

Наши расчетные положения основаны на предположении представлять материал положения основаны на предположении. На самом же деле в материале всегда имеются микро и макротрещины (бетон и металл). Неоднородность в большей или меньшей степени присуща всем строительным материалам (сталь состоит из феррита и перлита; резко неоднороден бетон).

Анизотропность материала есть неизбежное следствие неспокойности и неоднородности материала. И вот со всеми этими факторами необходимо



считаться при оценке напряженного состояния материала в испытываемых конструкциях.

Некоторые элементы конструкций имеют составное сечение, а при их расчете исходят из предположения излитной работы. Однако дефекты и несовершенства соединений, недостаточная связь между разнородными материалами (а иногда и не вполне удачный выбор их физико-механических параметров) нередко обуславливают появление внутренних сдвигов, искажающих распределение усилий и напряжений по сравнению с расчетными. Поэтому действительные условия работы составных сечений требуют уточнений путем соответствующих испытаний.

*в) Изменение работы сооружений во времени.* В наших расчетах не всегда в должной мере отражается переменность внешних воздействий на конструкции. Например годовые и суточные колебания температур наружного воздуха вызывают в бетоне тепловые волны, постепенно проникающие в глубь элементов, что ведет к появлению трещин в бетонных и железобетонных элементах. Неравномерный нагрев лучами солнца металлических резервуаров и газгольдеров вызывает циклические деформации и перемещения и довольно значительные. Меняющиеся во времени напряжения, деформации и перемещения могут вызываться также колебаниями уровня грунтовых вод, изменением влажности воздуха и рядом подобных факторов, учет которых весьма существенен при оценке действительной работы и несущей способности сооружений.

Состояние и характеристики материала в сооружениях меняются во времени. Общеизвестно, что прочность бетона со временем возрастает, но при неблагоприятных условиях – при воздействии агрессивных сред, это нарастание может приостановиться, а иногда и начать падать. В металле есть так называемое механическое старение, ведущее к хрупким трещинам. Изменения физико-механических свойств, наблюдаемые и в других материалах – дереве, пластмассах и так далее.

Поэтому при оценке действительной работы и несущей способности конструкций выявление и учет возможных изменений характеристик материалов является задачей первостепенной важности. При пуске сооружений в эксплуатацию в соединениях и связях возникают сдвиги и пластические деформации, сопровождающиеся появлением так называемых «рыхлых» прогибов и перемещений. Постепенно элементы и соединения как бы притираются и начинают работать более или менее слитно, однако сдвиги и остаточные деформации в соединениях и связях могут и возрастать. Таким образом состояние и работа сооружений переменны во времени.

При этом последовательно сменяются три стадии:

- 1) период «приспособления»;
- 2) длительный период нормальной эксплуатации;
- 3) период «старения».

*3) Исторический обзор: работы отечественных и зарубежных ученых в создании и развитии современных методов освидетельствования и испытания сооружений. Приоритет русских ученых.*

Еще на заре человечества здания и сооружения возводились основываясь на опыте строительства подобных строений. Примеры аварий предостерегали от повторения ошибочных решений и назначения крупных размеров конструктивных элементов. Историческим примером этого является обрушение Вавилонской башни. В XVII веке появились расчеты конструктивных элементов зданий и наука сопротивления материалов связанные с именем Галилео Галилея. В 1905 году в Санкт – Петербурге обрушился Египетский мост в результате возникшего резонанса при проезде по нему конницы. В 1907 году произошло разрушение Квебекского моста в Канаде во время его строительства, когда из 86 строителей погибло 75 человек. В 1956 году в Советском союзе обрушилось покрытие меланжевого комбината. Причиной обрушения явилась перегрузка снегом и пылью, а также нарушения допущенные при производстве строительных работ. В начале XXI века в Москве обрушилось покрытие Аквапарка через два года после введения его в эксплуатацию. В августе 2009 года обрушились конструкции в машинном отделении Саяно-Шушенской ГЭС, что повлекло за собой гибель 75 человек. На строительстве здания детского мира в г.Пензе в 2008 году обрушились конструкции монолитного перекрытия второго этажа здания, что привело к человеческим жертвам.

К авариям приводят разнообразные причины, возникающие на этапах строительства и эксплуатации. Чаще всего эти аварии в последнее время возникают из-за халатности и недобросовестности строителей и эксплуатационщиков. Увеличение надежности и улучшение конструктивных решений должно опираться на опыт строительства и на научных исследованиях. В этом играет большую роль здание методов и способов обследования и испытания здания и сооружений. В настоящее время на это почти не обращают внимание. Первые испытательные машины в России появились в начале XIX века – испытывались цепи на разрыв. В 1900 году была создана первая механическая лаборатория в Санкт-Петербурге. Большой вклад в развитие теории испытания сооружений внесли русские ученые: С.В. Кербедз; Д.И. Журавский; Н.А. Белелюбский; В.А. Кириичев (теория моделирования) Н.Н. Давиденков (акустический метода определения деформаций) Ю.А. Нилендер; Н.С.Стрелецкий. Русскими учеными Н.Н. Аистовым; Н.Н. Максимовым, Л.М.Емельновым и другие, внесен большой вклад в разработку и освоение испытательных приборов. Первые испытания конструкций пробной нагрузкой были проведены в России в 1831 году при строительстве в Санкт-Петербурге драматического театра. Затем испытывались и другие здания и сооружения. Экспериментальные исследования конструкций и в настоящее время должны составлять надежную базу современной науки и практики.

## Лекция 2

# СОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ: НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Испытания конструкций и сооружений в натуре производятся как вновь построенных, так и эксплуатируемых. Испытания вновь построенных сооружений производятся в относительно редких случаях, преимущественно перед вводом в эксплуатацию особо ответственных конструкций (пролетные конструкции мостов, пространственные покрытия и тому подобное).

Вновь построенные сооружения испытываются с целью проверки соответствия их проектным и нормативным требованиям в отношении несущей способности, жесткости и трещиностойкости и возможности принятия в эксплуатацию. Испытания эксплуатируемых конструкций и сооружений производят с целью выяснения их общего состояния, а также фактической несущей способности, обычно в случае необходимости увеличения нагрузки, действующей на несущие конструкции этих сооружений, или при появлении сомнений в надежности несущих конструкций вследствие износа или повреждений.

Особое место занимают испытания опытных конструкций перед введением их в массовое производство. Необходимость испытания опытных конструкций возникает в связи с тем, что в них обычно применяются новые формы и очертания, используются более совершенные методы расчета, смелее назначаются соотношения и размеры конструктивных элементов, применяются новые материалы и их сочетания и так далее конструкции испытываются, как правило, до разрушения, что позволяет выявить наиболее слабые места в них и внести в проект коррективы, устраняющие эти недостатки.

Нормативными документами требуется также производить испытания периодически отбираемых образцов конструкций, которые выпускаются на заводах железобетонных конструкций в больших количествах. Эти испытания необходимы главным образом для проверки качества применяемых материалов и выполнения технологических правил изготовления конструкций. Испытания таких конструкций чаще всего производятся нагрузкой, превышающей расчетную настолько, чтобы полученные запасы прочности были достаточны. Результаты испытаний отдельных конструкций характеризуют качество всей партии продукции, от которой отобраны испытанные образцы. Заводские испытания производят как правило на заводах железобетонных конструкций, имеющих специальные испытательные стенды и хорошо оборудованные лаборатории.

Лабораторные испытания проводят для выявления свойств материала конструкций, а также в лабораториях как правило производят испытания небольших образцов и мелкомасштабных моделей, преимущественно с

научно-исследовательскими целями. В последнее время все большее применение находят подвижные лаборатории для исследований и испытаний строительных конструкций и сооружений, смонтированные в железнодорожных вагонах, на автомобилях, катерах и оснащенные современной измерительной аппаратурой.

В тех случаях, когда исследования работы конструкций трудно осуществить, пользуясь натурными образцами (нужны большие испытательные полигоны, значительные испытательные нагрузки; стоимость экспериментальных работ оказывается высокой); или когда натурные сооружения испытать практически невозможно, испытаниям подвергаются модели исследуемых конструкций или сооружений.

### **Составление технической документации перед испытаниями.**

Составляется следующая документация:

- 1) Техническое задание;
- 2) Акт освидетельствования;
- 3) Повторный расчет (пересчет).

В процессе которого производится пересчет конструкций с учетом всех обнаруженных дефектов в процессе осмотра. При пересчете определяются деформации и напряжения, перемещения в тех сечениях, где устанавливаются приборы. Эти данные необходимы для сравнения теоретических и опытных результатов. На основании этого сравнения можно осуществить исправления проекта в сторону усиления или облегчения конструкций;

4) Рабочая программа является основным методическим документом, в котором определен план и порядок испытаний.

Примерное содержание программы:

- а) Определение целей и задач испытаний;
- б) Краткое описание особенностей конструкций, которые учитываются при испытаниях;
- в) Описание и обоснование принятой методики;
- г) Указания в каком виде представляются результаты испытаний;
- д) Состав испытательной группы: перечень необходимого оборудования и приборов: график производства испытаний: сроки представления отчетной документации
- е) Указывается место проведения испытаний.

5) Проект испытаний содержит:

- а) Чертежи всех конструкций, необходимых для установки, закрепления и опирания в устойчивом положении испытываемых конструкций;
- б) Чертежи опорных площадок и приспособлений для размещения испытательных площадок, механизмов загрузки;
- в) Чертежи конструкций для осмотра, закрепления приборов и снятия с них отсчетов;

г) Чертежи устройств для предохранения конструкции от обрушения.

### **Методика испытаний**

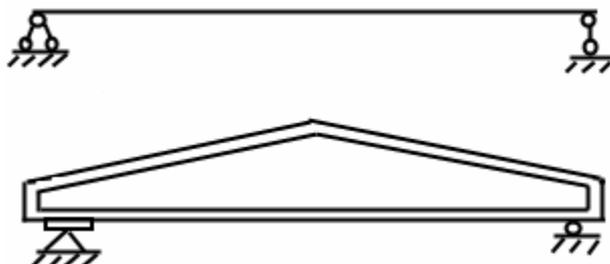
В методике испытаний рассматривается:

- а) рабочая схема испытываемых конструкций;
- б) выбор и размещение измерительных приборов;
- в) определение величины испытательных схемы и порядок их приложения.

### **Рабочая схема испытываемой конструкции**

*Рабочей схемой называется статическая схема которая принимается при испытании конструкций.* В ней отражаются условия опирания и закрепления испытываемой конструкции на опорах; схема приложения нагрузок. При составлении рабочих схем в зависимости от задач испытаний могут быть 2 варианта.

1) *Выбор рабочей схемы, которая была принята при расчете в процессе составления проекта.*



2) *Выбор расчетной схемы, которая более близка к действительной работе сооружения.*

Например: Однопролетная балка рассчитывается как опертая шарнирно – неподвижно, так и шарнирно – подвижно, но в работе сооружения указанного нет. Нужно обеспечить неподвижность и при испытании.

В первом случае отклонение результатов испытаний от расчетных является следствием качества испытываемой конструкции. Нужно отметить, что полученные данные не полностью будут отражать действительную работу конструкции в сооружении.

Во втором случае результаты испытаний будут отвечать действительной работе конструкции. Расхождение результатов будет зависеть не только от качества конструкции, но и от того, что не совпадают расчетные схемы проекта и испытаний. В этом случае необходимо пересчитать конструкцию по рабочей схеме, для того чтобы можно было сравнить с расчетными данными.

Особенно важно выявить действительную расчетную схему в монолитных железобетонных конструкциях; в пространственных конструкциях, так далее в действительности элементы конструкции частично заделаны или заделаны в примыкающие элементы и происходит перераспределение усилий в отдельных элементах.

При работе сборных конструкций также иногда бывает трудно оценить работу отдельных элементов. Например: при рассмотрении работы совместно сжатого пояса и примыкающих панелей. При испытании конструкций необходимо также обращать внимание на устойчивость испытываемой конструкции, что обеспечивается путём постановки необходимых креплений, которые не должны искажать картину разрушения конструкции.

### **Выбор объекта испытания:**

Выбор объекта наблюдения является одним из ответственных моментов намечаемого испытания сооружения, так как от его правильности в значительной мере зависит успех эксперимента. Если испытанию подвергается новое, только что законченное сооружение и при внешнем его осмотре не обнаружено никаких дефектов, внушающих сомнения в прочности целой конструкции или отдельных её элементов, то совершенно нет необходимости испытывать всё сооружение полностью. Достаточно провести испытание отдельных элементов конструкций в количестве, не превышающем 5% от общего их числа или по одному элементу при общем числе их менее двадцати.

В случаи испытания повреждённой конструкции или конструкции, при возведении которой были допущены какие-либо отступления от технических правил, например, если при бетонировании конструкции произошло замораживание бетона и тому подобное, то для испытания выбираются наиболее пострадавшие элементы конструкции, в иногда и всё сооружение в целом. Для испытания покрытия, состоящего из плоских металлических либо деревянных ферм или арок, можно выбирать любую из них, за исключением тех ферм или арок, к которым примыкают связи жёсткости в плоскостях нижнего и верхнего пояса, так как они участвуют в совместной работе и тем самым, уменьшают их деформации.

Очень часто приходится испытывать отдельные элементы, как-то: фермы, балки, прогоны, плиты и тому подобное, ещё не установленные на своё место в сооружении. В этом случаи также испытывают обычно не более 5% всех элементов. Необходимость массового испытания отдельных элементов сооружения определяется специальной комиссией, наблюдающей за возведением сооружения или назначенной для решения вопроса об испытании.

Выбор объекта испытания, проводимого с научно-исследовательской целью, зависит от поставленных теоретическими решениями задач.

## Лекция №3

### ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ:

Состав освидетельствований. Оформление результатов освидетельствований. Перерасчеты и общие выводы по результатам освидетельствования.

Освидетельствование сооружений складывается из следующих операций, выполняемых полностью или частично в зависимости от поставленных задач и состояния исследуемого объекта:

- 1) ознакомление с документацией;
- 2) осмотр объекта в натуре;
- 3) обмеры – проверка генеральных размеров конструкций и контроль сечений элементов;
- 4) выявление, установление характера и регистрация трещин и повреждений;
- 5) проверка качества материала в сооружении и контроль состояния стыков и соединений.

В отдельных случаях, (преднапряженные конструкции) приходится определять также усилия и напряжения, фактически имеющих место в исследуемых элементах.

В результате освидетельствования с учетом данных соответствующих перерасчетов дается общая оценка состояния сооружения и, в случае необходимости, решается вопрос о проведении статических и динамических испытаний.

#### **Ознакомление с документацией и осмотр сооружения:**

К изучению документации целесообразно приступать после предварительного осмотра объекта.

При освидетельствовании сооружений, предназначенных к сдаче в эксплуатацию, необходимо ознакомиться с проектной и строительно-монтажной документацией, где следует обратить особое внимание на акты скрытых работ. При освидетельствовании объектов, находящихся в эксплуатации, дополнительно должны быть изучены акты передачи в эксплуатацию, паспорт сооружения, журналы эксплуатации, документы о произведенных ремонтах и другие имеющиеся материалы, характеризующие службу сооружения.

Осмотр сооружения является наиболее ответственной частью освидетельствования. Его начинают с установления соответствия между предъявленной документацией и сооружением в натуре. Выявленные расхождения фиксируются, оцениваются и устанавливаются их причины. В объектах, сданных в эксплуатацию, проверяется устранение недоделок, отмеченных в актах приемки.

Далее производится детальный осмотр элементов сооружения, начиная с наиболее ответственных: осматриваются опорные части; заделки и соединения; и проверяется их состояние и условие работы; осматриваются связи,

настилы и прочие элементы, обеспечивающие надлежащую пространственную работу сооружения и проверяется правильность их опирания и крепления; устанавливается наличие в конструктивных элементах ослаблений и надрезов, сколов и других дефектов; выявляется наличие коррозии, гниения и других повреждений материала, ухудшающих работу конструкций и снижающих несущую способность сооружения.

При осмотре отмечается наличие осадок, деформирования и взаимных смещений элементов.

По результатам осмотра дается предварительная оценка состояния сооружения в целом и намечается план дальнейшего проведения освидетельствования.

### **Проверка геометрических размеров.**

При освидетельствовании должны быть проверены главнейшие размеры конструктивной схемы: длины пролетов, высоты колонн и другие, то есть геометрические размеры, от соблюдения заданной величины которых зависит напряженно – деформированное состояние элементов конструкций в процессе их службы. В отдельных случаях (если это важно для эксплуатации) проверяется также горизонтальность перекрытий, соблюдение заданных уклонов, вертикальность несущих элементов и ограждений и так далее. В небольших конструкциях и сооружениях измерения производятся с помощью стальных рулеток, отвесов, нивелиров и так далее. В крупномасштабных сооружениях применяются уже нивелиры и теодолиты, светодальномеры и лазерные рулетки.

Для быстрой и надежной фиксации наружного очертания и размеров освидетельствуемого объекта целесообразно применять стереофотограмметрическую съемку, а так же видеосъемку.

В тех случаях, когда проверяемые элементы доступны для измерений, замеры сечений и проверка очертаний производится достаточно просто. Более сложной задачей является задача определения толщины в конструкциях, доступных при измерениях лишь с одной стороны. Наиболее грубым способом в этом случае является пробивка или просверливание отверстий для замера. В некоторых конструкциях же пробивка отверстий недопустима.

Для этого используют современные неразрушающие методы контроля.

### **Выявление и регистрация осадок и повреждений:**

Сведения об осадках и взаимных перемещениях отдельных частей сооружения должны быть получены перед его освидетельствованием от геодезической службы. Эти данные проверяются на месте выборочными контрольными измерениями.

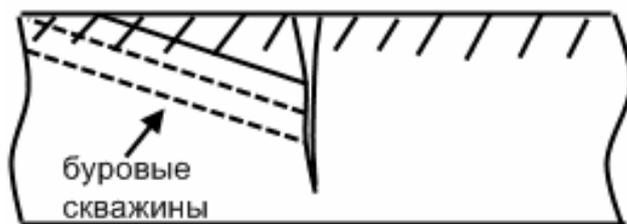
Свидетельством осадок является развитие легко отличимых по их внешнему виду осадочных трещин в сооружениях.

При установлении наличия осадок и смещений необходимо выявить их причины и решить вопрос о требуемых профилактических мерах.

Обнаруженные при осмотре трещины, сколы, раскрытие швов и так далее не подлежащие немедленному устранению, должны быть измерены и отмечены как на самом объекте, так и на его схемах.

На практике наблюдения за трещинами ведутся с помощью гипсовых маяков, щелемеров и других.

В массивных бетонных блоках при исследовании глубоких трещин пользуются методом подсечек.



Внимательное наблюдение за швами и соединениями ( а также трещинами, если они есть) при правильной оценке полученных данных позволяет своевременно поставить заключения о явлениях в сооружении и принять необходимые меры.

#### **Перерасчёт конструкций:**

Перерасчёт обследуемых конструкций необходим:

- 1) при недостаточности или полном отсутствии расчётных данных;
- 2) при наличии несоответствий между расчётными предпосылками и установленными при освидетельствовании фактическими данными в отношении принятой расчётной схемы, нагрузок, размеров, свойств материалов;
- 3) при наличии дефектов и повреждений, влияющих на несущую способность и деформативность сооружения.

По данным перерасчётов устанавливается возможность нормальной эксплуатации сооружения или даются рекомендации о необходимых ограничениях ( по величине нагрузок, скорости движения и тому подобное), а также выявляются элементы и соединения требующие усиления.

Если встала необходимость проведения испытаний, то перерасчёт завершается подсчётом требуемой испытательной нагрузки и определение по ней соответствующих усилий,  $\delta$  и  $\epsilon$  и перемещений.

#### **Выводы по результатам освидетельствования:**

На основании освидетельствования составляется общая оценка состояния обследованного объекта и заключение о возможности его эксплуатации.

Указываются меры, необходимые для приведения и поддержания объекта в должном состоянии, и требования, которые должны соблюдаться при его эксплуатации.

Выявленные дефекты перечисляются в дефектной ведомости. К этой ведомости прикладываются необходимые чертежи, зарисовки и фотографии, указываются причины повреждений и степень их развития. Особо отмечаются дефекты требующие немедленного устранения, и указываются рекомендуемые сроки проведения прочих работ.

В случае необходимости даются указания по организации и проведению надзора за состоянием исследованного сооружения.

Если данные освидетельствования и перерасчёта недостаточны для суждения о работоспособности рассматриваемого объекта и проведение испытаний будет признано целесообразным, то об этом составляется мотивированное заключение. Намечаются характер и объём необходимых испытаний и указываются подлежащие определению показатели работы сооружения.

Во главе бригады стоит ответственный руководитель испытания, отвечающий за технику безопасности при проведении испытания, а также за правильность всего испытания начиная с ознакомления с конструктивными чертежами и статическими расчётами конструкции; осмотра конструкции в натуре, с занесением в журнал испытания всех обнаруженных отступлений от проекта; выбора элементов сооружения или всей конструкции для испытания; определения характера и величины пробной нагрузки и её расположения на конструкции; выбора точных приборов для измерения деформаций, их установки и ограждения; осуществления загрузки, взятие отсчётов по измерительным приборам; разгрузки конструкции; взятие отсчётов по измерительным приборам после снятия нагрузки и кончая составлением отчёта и научным анализом результатов испытания. Обычно руководителем бригады является сотрудник научно-исследовательского учреждения или испытательной станции, либо автор Н.И.Р.

Необходимо учесть, что залогом успешного проведения испытания является предварительная тщательная подготовка к нему и составления точного плана всего испытания. Особое внимание должно уделяться предохранению приборов от нагревания, а также предохранению конструкции от сотрясения. Время потребное на загрузку конструкции и её разгрузку, следует сократить до минимума, без ущерба для качества испытания.

### **Предварительное обследование и расчёт строительных конструкций:**

До испытания сооружения необходимо произвести тщательный осмотр конструкции. Обследование конструкции должно сопровождаться измерением геометрических размеров её элементов, особенно поперечных сечений, и проверкой соответствия натуральных размеров проектным.

Особое внимание обращается на узловые соединения и стыки. Все отмеченные отступления от проекта и отдельные дефекты, обнаруженные в конструкции в целом или в отдельных её элементах, заносятся в журнал испытания и при необходимости отмечаются на специальных чертежах.

Большую помощь при окончательной оценке состояния конструкции после её испытания могут оказать хорошо выполненные фотографические снимки дефектных мест.

При осмотре бетонных и железобетонных конструкций отмечают соответствие фактической марки бетона проектной, для чего берут контрольные образцы из конструкции или определяют марку бетона косвенным методом

с помощью специальных приборов. Выявляется фактическое количество арматуры в сечениях, её диаметр и расположение. При отсутствии документов на механические характеристики берут образцы арматуры и испытывают на растяжение.

При осмотре металлических конструкций отмечают:

качество сварных швов и клёпанных соединений. Сварные швы просвечивают рентгеновскими лучами или гамма-лучами. Все дефектные места в сварных швах вырубаются и завариваются вновь. Заклёпочные соединения проверяются путём простукивания молотком. Дефектные заклёпки при простукивании дребезжат, их вырубают и ставят новые. Для определения механических характеристик стали берутся пробы из мест, не нарушающих прочность и жёсткость конструкции. Пробы металла длиной 50-60мм и шириной 10-12 мм вырезаются или высверливаются из элементов конструкции.

Плотность сварных швов в ёмкостях проверяется нанесением керосина на одну поверхность, а на другую мела.

При осмотре деревянных конструкций отмечают: наличие подрезов элементов, наличие крупных сучков, косослоя, свилеватостей; участки повреждённые гнилью, жуками в увлажнённых местах и тому подобное; отмечают плотность прилегания элементов друг к другу.

При осмотре каменных конструкций отмечают: качество швов, определяется марка камня и раствора, геометрические размеры камня. Устанавливается наличие арматуры в армокаменных конструкциях.

Результаты освидетельствования заносят в специальную дефектную ведомость, которая прилагается к актам освидетельствования, где также отмечается правильность технологии на производство работ.

При обнаружении дефектов производят перерасчёт конструкций; иногда несколько раз с различными предположениями и допущениями.

## Лекция 4

# СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

### **Задачи испытаний и определяемые характеристики:**

В зависимости от объекта и цели эксперимента устанавливаются:

- 1) несущая способность (нагрузка при потере прочности или устойчивости);
- 2) жесткость (предельные перемещения при нормальной эксплуатации);
- 3) трещиностойкость (для железобетона и бетона устанавливается Рт-нагрузка, при которой трещины более допустимых по условиям эксплуатации)

### Задачи:

1. При приемочных испытаниях проверяются состояние объекта и соответствие показателей его работы проектным и нормативным требованиям.
2. Испытания уже эксплуатируемых сооружений производят:
  - а) для проверки возможности продолжения нормальной службы объекта под эксплуатационной нагрузкой;
  - б) для выяснения возможности повышения эксплуатационной нагрузки.
3. Испытания конструкций и деталей при их серийном изготовлении производятся путем выборочных испытаний отдельных образцов продукции с доведением до разрушения (фактическая несущая способность и характеристики материала для распространения на всю партию).
4. Научно-исследовательские испытания и испытания опытных объектов производят:
  - а) при применении новых конструктивных решений и для апробации новых методов расчета;
  - б) при использовании новых строительных материалов с характеристиками, требующими проверки под действием нагрузки;
  - в) при особых режимах эксплуатации (при низких отрицательных температурах).

### **Выбор элементов для испытания:**

При приложении нагрузки к сооружению в работу вовлекаются или все его конструктивные элементы, или лишь отдельные их совокупности, ближайšie к месту загрузки. (Так в проезжей части моста нагрузка, приложенная в любом месте, обуславливает появление внутренних сил во всех почти элементах поясов и решетки несущих ферм – см. линии влияния). В объектах промышленного и гражданского строительства уже другое дело, здесь нагрузка, приложенная на небольшом участке перекрытия, передается на фундамент через ближайšie ригели и колонны, а удаленные от нее почти не вовлекаются в работу. Поэтому здесь выбор элементов для испытания связан непосредственно с выбором места приложения нагрузки.

При этом руководствуются следующими соображениями:

- 1) количество загруженных элементов должно быть минимальным;
- 2) испытаниями должны быть охвачены все основные виды несущих элементов;
- 3) отбирают элементы с возможно более четкой схемой статического опирания и закрепления.

Для суждения о качестве изделий серийного изготовления из партии отбирают для испытания наилучшие и наихудшие образцы. Усредненная оценка дается по результатам испытания образцов в состоянии, наиболее характерном для большинства изделий данной партии.

### **Выбор схемы загрузки:**

Нагрузочная схема уточняется одновременно с выбором элементов для испытания, поскольку эти задачи взаимосвязаны. Схема распределения нагрузок должна обеспечить появление в исследуемых элементах необходимых напряжений и деформаций (следует учитывать реальные возможности и стоимость испытания).

Примеры :

- 1) многопролетная неразрезная балка на жестких опорах

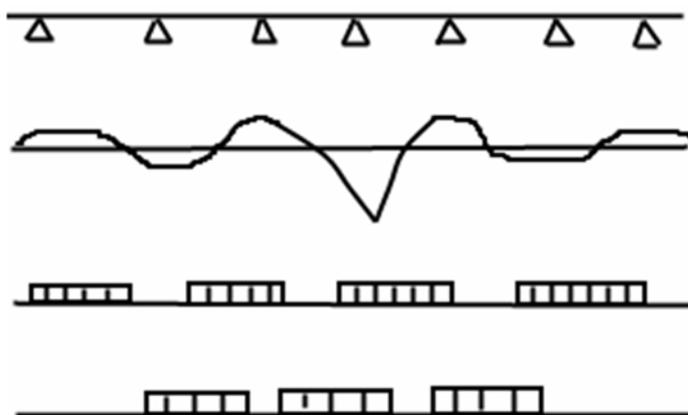


Рис. 1. Схема загрузки многопролётной балки

Так как ординаты линий влияния для крайних пролетов малы, загрузку этих пролетов можно не проводить. Нагрузку производят по нижней схеме.

- 2) монолитная в продольном и разрезная в поперечном направлении плита:

достаточно загрузить такую плиту равномерно распределенной на участке (вдоль плиты), равным трем ее пролетам

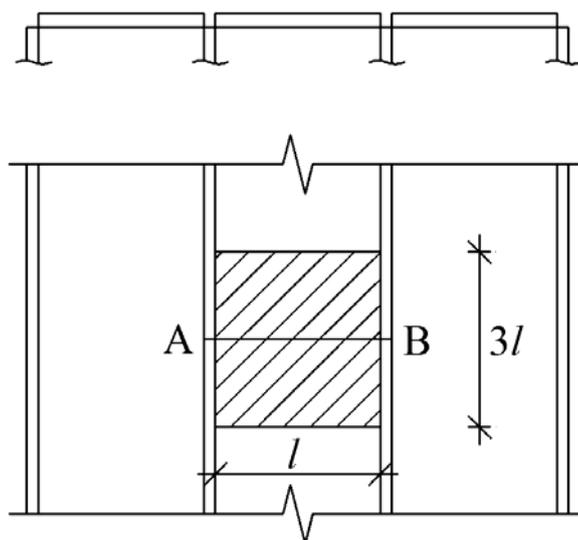


Рис. 2. Схема загрузки монолитного перекрытия из плит

3) работа колонны каркасного многоэтажного здания

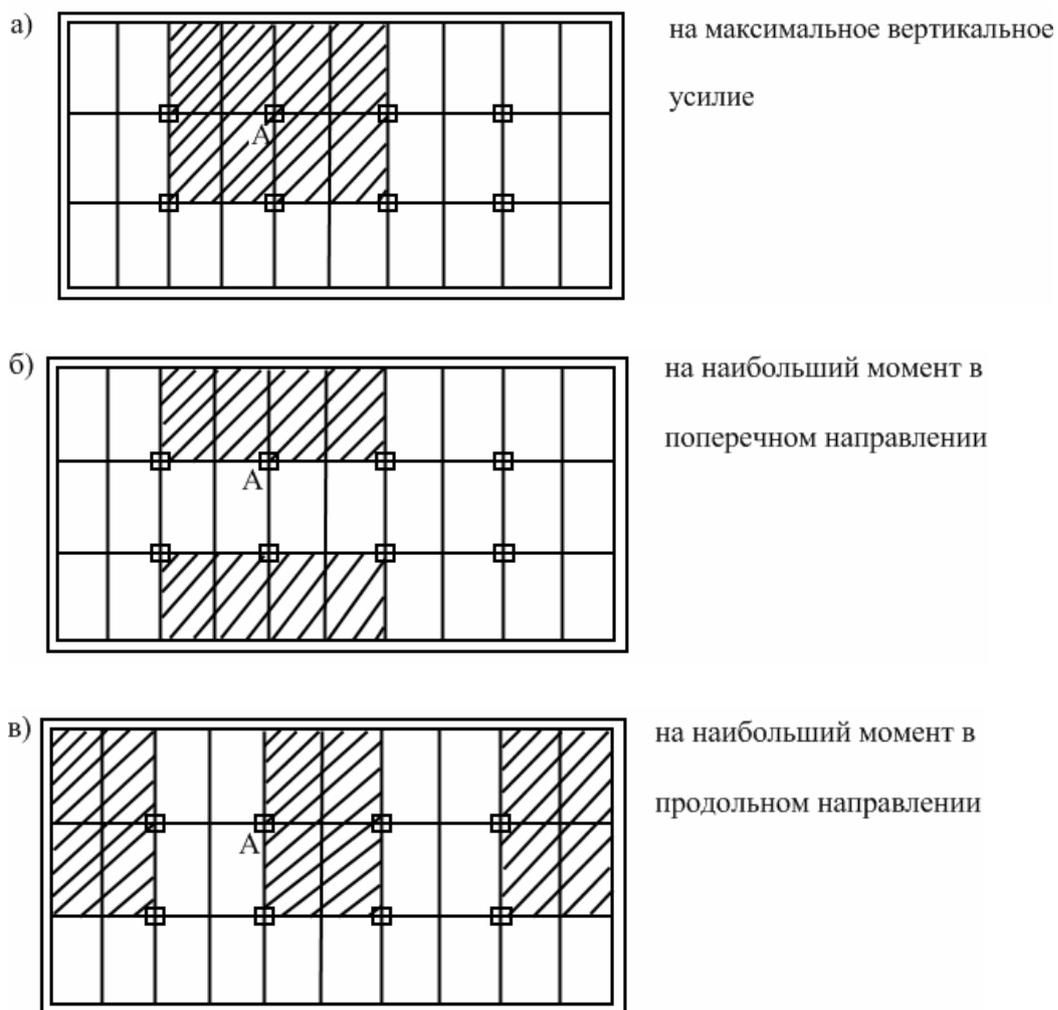


Рис. 3. Схемы загрузки для выявления наибольших усилий в колонне

## **Нагрузки: распределения и сосредоточения**

При статических испытаниях нагрузка должна прикладываться к объекту постепенно, без рывков и ударов с тем, чтобы влиянием сил инерции можно было пренебречь.

Нагрузка и нагрузочные устройства должны удовлетворять следующим требованиям:

- а) давать возможность четкого определения усилий;
- б) быть транспортабельными и не требовать значительной затраты времени для их приложения и снятия;
- в) должна быть обеспечена стабильность нагрузки (постоянство во времени)

### А. Распределение нагрузки:

а) сыпучие материалы (песок, щебень и т.п.) (такой нагрузкой пользоваться не рекомендуется)

б) мелкие штучные материалы (кирпич, бетонные камни и т.п.) недостатки:

- 1) пробное взвешивание;
- 2) могут насыщаться водой;
- 3) больше затраты времени при приложении нагрузки.

Следует обращать внимание на укладку кирпича отдельными, не соприкасающимися столбиками (иначе образуются самонесущие своды и нагрузка неравномерна);

в) крупные штучные материалы (металлические балки и отливки, бетонные и железобетонные изделия);

они используются для: 1) создания распределённой нагрузки на элементах с большой собственной жёсткостью; 2) получения погонной нагрузки.

г) нагружение водой (наиболее совершенный при необходимости приложения значительных по величине усилий);

### Преимущества загрузки водой:

- а) гарантия равномерного распределения нагрузки;
- б) постоянство загрузки;
- в) удобство залива и слива, плавность загрузки.
- д) использование давления воздуха (для статических испытаний готовой продукции на заводах ЖБИ).

### Б) Сосредоточенная нагрузка.

Для создания сосредоточенных усилий применяются:

- 1) подвеска грузов;
- 2) натяжные приспособления;
- 3) домкраты.

Приложение сосредоточенных усилий требует применения специальных распределительных устройств для предохранения от повреждений, а также имитации распределённого давления.

#### *А. Распределительные устройства.*

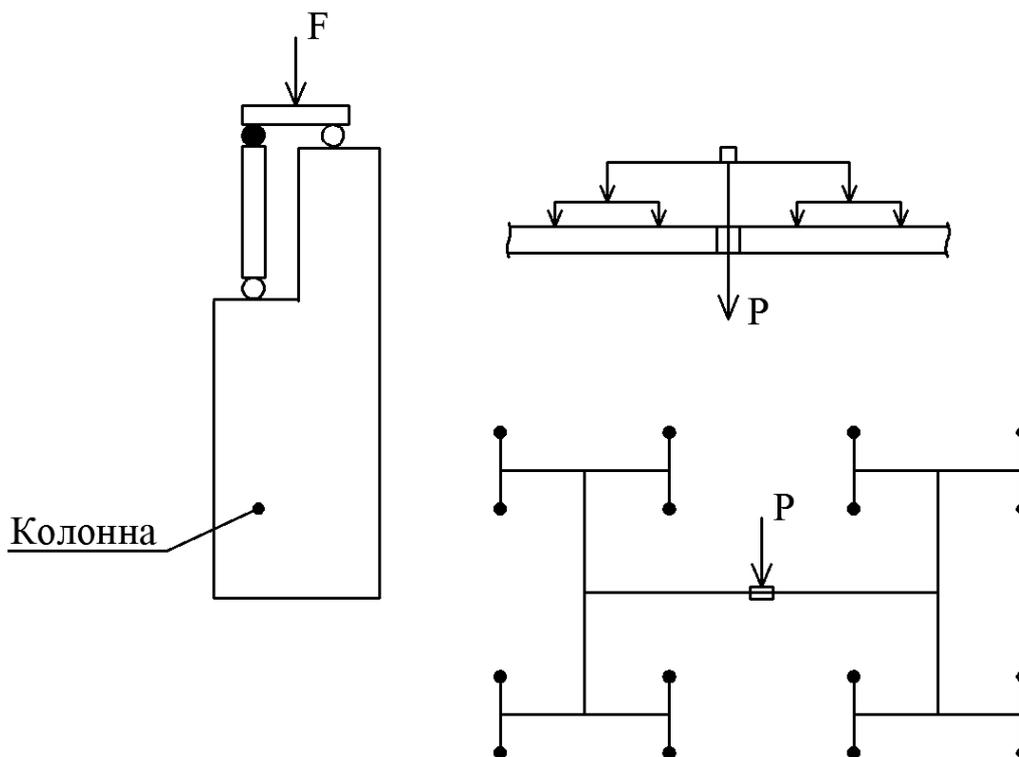


Рис. 4. Схемы распределительных устройств для передачи нагрузки на конструкцию

#### *Б. Подвешивание грузов:*

Самое простое, но наиболее громоздко. Преимущество — действующее усилие не меняется при деформациях испытываемых элементов.

#### *В. Натяжные устройства:*

При замене подвешенных грузов натяжными приспособлениями:

- а) отпадают работы по взвешиванию и перемещениям грузов;
- б) направление действующих усилий может быть и горизонт;
- в) усилия легко регулируются (динамометры);
- г) устройства компактны и работа с ними даже в стеснённых условиях не вызывает затруднений.

Однако не обеспечивается стабильность нагрузки.

#### *Г. Домкраты:*

Наиболее удобные средства для приложения усилий (малогабаритны, лёгкость создания и регулировки нагрузки, приложение по любому направлению).

Домкраты могут быть: гидравлические (до 100-200 т) и винтовые.

#### *Д. Подвижная нагрузка.*

При испытании сооружений и конструкций, предназначенных для пропуска перемещаемых грузов, загрузка должна производиться с максимальным приближением к эксплуатационным условиям.

Требуемая нагрузка (краны, автомобили, поезда) перемещается по пролёту и устанавливается в необходимом положении.

### **Назначение величины испытательной нагрузки.**

Если сооружение или конструкция после испытания должна быть передана в эксплуатацию, то испытание не должно ухудшать их состояние (нет остаточных деформаций, нарушений сплошности и т.д.). Максимальная испытательная нагрузка не должна выходить за установленный предел (обычно это расчётная нагрузка наиболее невыгодная – пример соединения деревянных конструкций).

При испытании опытных объектов, передача которых в эксплуатацию не предусматривается, максимальная нагрузка назначается в зависимости от поставленной задачи.

Испытание железобетонных изделий серийного изготовления устанавливают нагрузку по ГОСТ 8829-66:

при проверке на прочность – контрольная нагрузка равна расчётной умноженной на  $C=1,4-2,0$ ;

при проверке на жёсткость – контрольная нагрузка равна нормативной;

при проверке на трещиностойкость – для изделий первой категории трещиностойкости нагрузка берётся равной 1,05 от расчётной и для второй категории – 1,05 от нормативной.

### **Последовательность приложения и снятия нагрузки.**

Начальную ступень нагружения следует брать не более 10% от ожидаемой максимальной нагрузки (чем меньше ступень, тем чаще брать отсчёты).

Ступени разгрузки следует брать такими же, как и ступени нагружения, чтобы сравнить «прямые» и «обратные» ходы показаний приборов.

### **Выдерживание нагрузки:**

для металлических конструкций – 15÷30 минут;

для ж/б конструкций – около 12 часов;

для деревянных конструкций – от 24 часов до нескольких суток;

При выборочных испытаниях образцов серийного изготовления ГОСТ 8829-66 предусматривает обязательную выдержку:

при контрольных загрузках на жёсткость и трещиностойкость – не менее 30 минут;

после каждой промежуточной ступени нагружения – не менее 10 минут.

Если перемещения и деформации при постоянной нагрузке в эти сроки не затухают, то выдержку удлиняют.

Если замедления нет, то испытываемый объект является негодным для эксплуатации в заданных условиях.

## Лекция 5

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

При статических испытаниях применяют приборы как с непосредственным отсчётом значений измеряемой величины, так и измерительные преобразователи. Выпускаются измерительные устройства для следующих основных измерений:

- линейных перемещений: прогибомеры, сдвигомеры, индикаторы и преобразователи линейных перемещений;
- угловых перемещений: клинометры, отвесы и преобразователи угловых перемещений;
- линейных деформаций – тензометры и преобразователи линейных перемещений (например тензорезисторы);
- усилий: динамометры и преобразователи сил;
- напряжений: преобразователи напряжений в бетоне и в грунтах;
- плотности: плотнометры и преобразователи плотности;
- температуры и влажности: термометры, влагомеры и преобразователи температуры и влажности.

Целесообразно в настоящее время использовать централизованное снятие отсчётов по приборам с помощью ЭВМ.

#### **Приборы для определения линейных перемещений.**

Как правило для этого применяют приборы и индикаторы перемещений.

Обычно на практике применяют прогибомеры Н.Н. Максимова, Л.М. Емельянова и Н.Н. Аистова с ценой деления 0,01 мм и максимальным значением до 10 см, а также индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0...10 мм. Для измерения перемещений применяют электромеханические измерители перемещений (преобразователи). Приводим рабочую схему данного измерения:

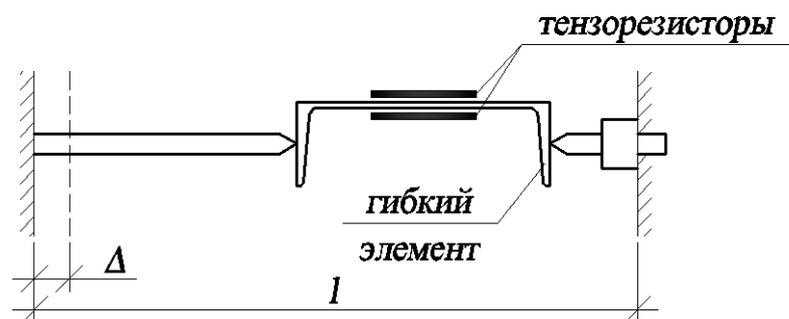


Рис. 1. Рабочая схема электромеханического измерителя перемещений

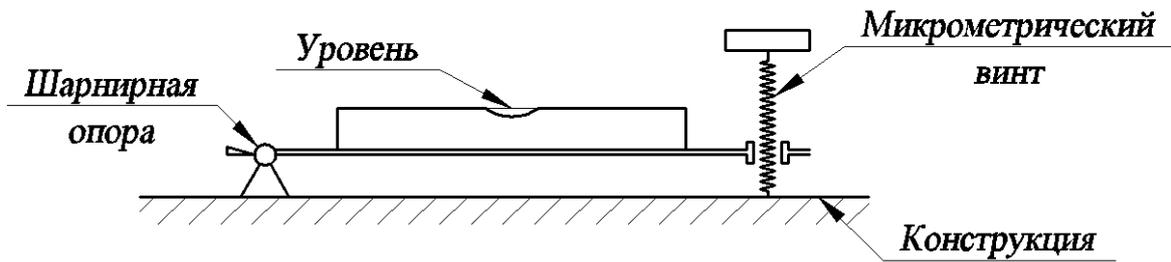
Для измерения перемещений применяются геодезические методы:

- измерение вертикальных перемещений;
- измерение горизонтальных перемещений;
- гидростатическое нивелирование;

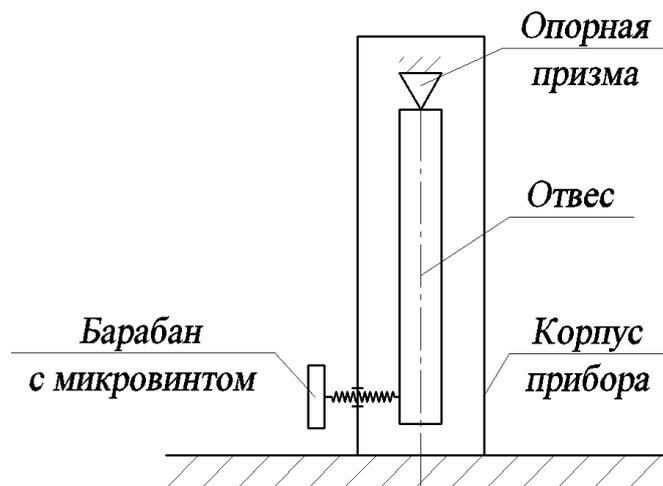
– с помощью отвесов: прямых и обратных.

### Приборы и измерения угловых перемещений.

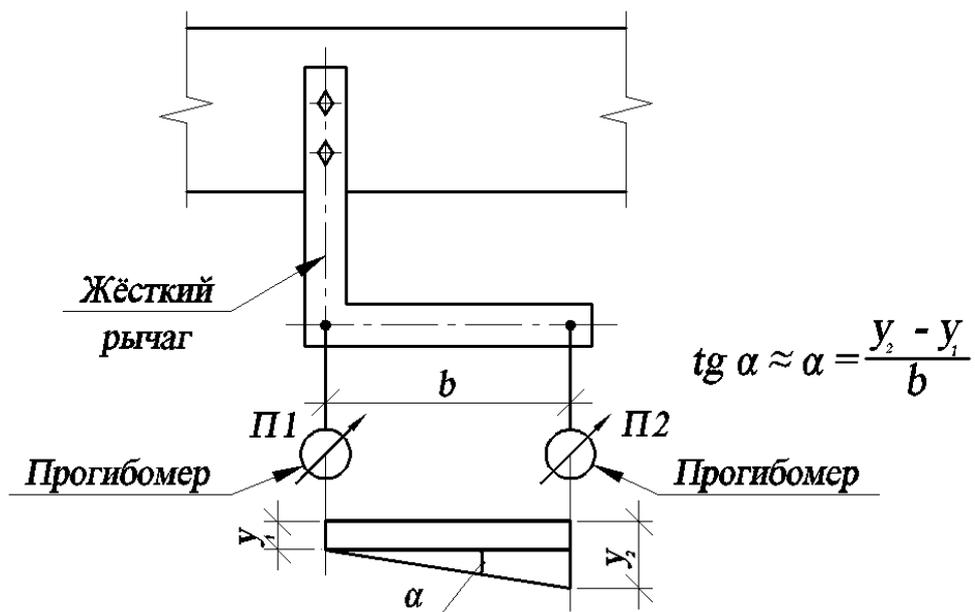
Клинометр с уровнем:



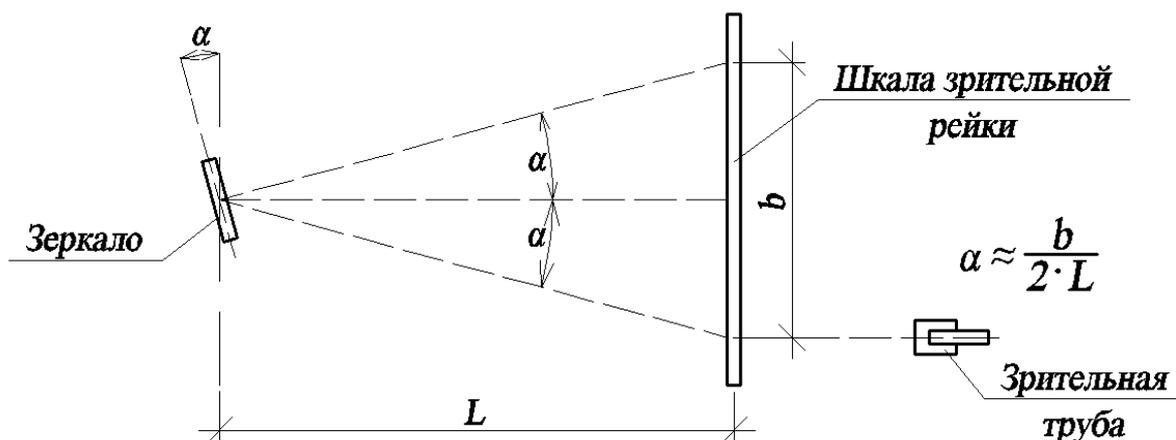
Клинометр с отвесом-маятником Н.Н. Аистова:



Способ жёсткого рычага:



Оптический клинометр:

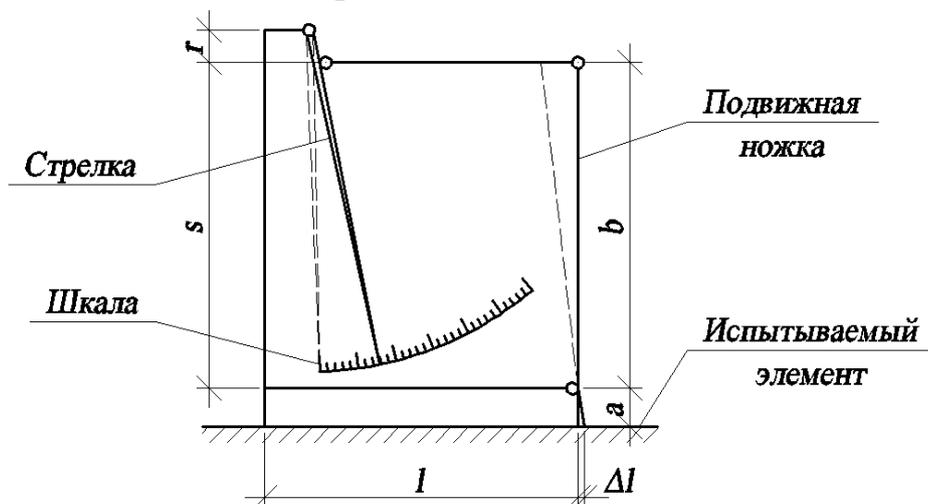


### Измерение линейных деформаций.

Линейные деформации обычно измеряют тензометром. Тензометры подразделяются на:

- механические;
- электрические;
- струнные;
- тензорезисторные.

### Механические тензометры.



Увеличение прибора

$$K = \frac{b \cdot s}{a \cdot r}$$

Наиболее распространён электромеханический тензометр Н.Н. Аистова.

### Струнные тензометры.

В этих приборах дистанционного действия используется зависимость между частотой  $f$  собственных колебаний и натяжением струн, определяемая выражением:

$$f = \frac{1}{2 \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

где  $l$  – длина струны;  $\rho$  – плотность материала струны;  $\sigma$  – напряжение в струне;  $f$  – частота собственных колебаний струны.

Струнные тензометры применяют главным образом для длительных измерений, например, закладывая их в железобетонные тела гидравлических плотин.

### **Тензорезисторные тензометры.**

В настоящее время для измерения деформаций наиболее широко используют тензорезисторные тензометры, в основу которых положены тензорезисторы различной конструкции.

Принцип действия тензорезисторов основан на изменении омического сопротивления  $R$  проводников из известной формулы

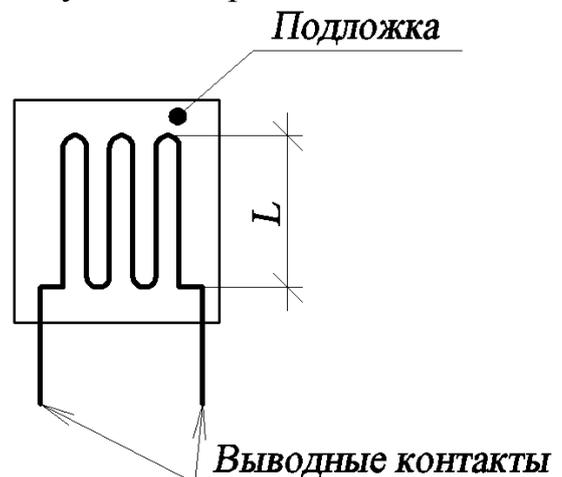
$$R = \rho \cdot \frac{l}{s}.$$

Основной характеристикой тензорезистора является его коэффициент тензочувствительности:

$$K = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon}.$$

Таким образом с помощью тензорезисторов мы можем сразу измерить относительное удлинение  $\varepsilon$ , а не абсолютное  $\Delta l$ .

При испытаниях строительных конструкций обычно используют проволочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы. Петлевой тензорезистор выглядит следующим образом:



Они выполнены из тонкой проволоки (константан, элинвар диаметра 12...30 мкм), приклеенной к бумажной или плёночной подложке. Эти тензорезисторы имеют недостаток из-за поперечной чувствительности, обусловленной наличием закруглений. От этого недостатка свободны беспетлевые тензорезисторы с низкоомическими медными перемычками. Большое распространение получили фольговые тензорезисторы из металлической

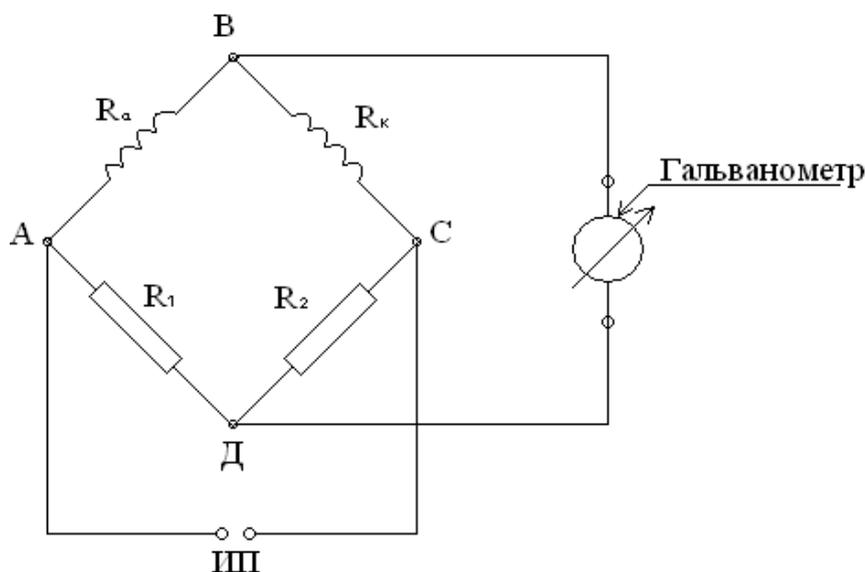
фольги толщиной не более 4...6 мк. Полупроводниковые тензорезисторы обладают большим коэффициентом тензочувствительности ( $K \approx 20$ ) и применяются больше всего в измерительных приборах (например в динамометрах). Тензорезисторы, применяемые при испытаниях зданий и сооружений, должны давать возможность измерения деформации в диапазоне до  $10^{-5}$ : при упругой работе материала до  $5...7 \times 10^{-3}$  и упруго-пластической стадии работы до  $10^{-1}$  и более. Применение тензорезисторов связано со стабильностью показаний тензорезисторов, их влагостойкостью и устранением температурных погрешностей. Поэтому применение тензорезисторов требует защиты их от влаги и использования в измерительных схемах компенсационных тензорезисторов.

## Лекция 6 ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ ПРОВОЛОЧНЫХ ДАТЧИКОВ

### Измерительные мостовые схемы:

Изменение сопротивления тензорезистора при деформации составляет очень малую величину. Например при возрастании или падении напряжений в арматуре на  $1000 \text{ кг/см}^2$  при  $R_{\text{датч.}}=200 \text{ Ом}$  и  $K=2$  вызывает изменения сопротивления только на  $\Delta R = k \cdot R \cdot \varepsilon = k \cdot R \cdot \frac{\sigma}{E} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 1000}{2,1 \cdot 10^6} \approx 0,2 \text{ см.}$

Такие измерения столь малых приращений сопротивлений достигаются при использовании измерительных мостовых схем, работающих на постоянном или переменном токе. Чаще всего применяются измерительные мосты, работающие на переменном токе, так как постоянный ток требует высокочувствительных усилий, боящихся встряски и быстро выходящие из строя при неисправности мостовой схемы. Мостовая схема обеспечивает, выкую чувствительность и точность регистрирующего устройства вследствие того, что шкала измерительного прибора в этом случае рассчитана только на замеры приращений  $\Delta R$ , а не полных сопротивлений  $R \pm \Delta R$ .



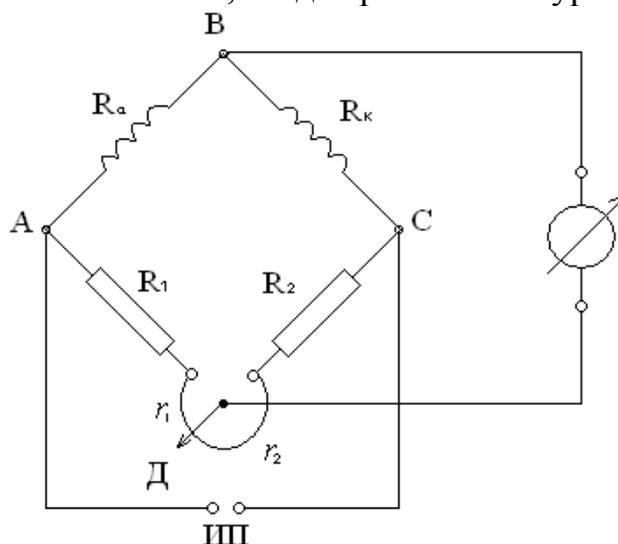
Датчик  $R_a$ , наклеенный на исследуемый элемент, составляет одно плечо моста и называется активным или рабочим.

В смежное плечо моста подключается компенсационный датчик  $R_k$ .

Этот датчик наклеивается на отдельную деталь из того же материала, что и исследуемая конструкция, и помещается в одинаковые температурные условия с рабочим датчиком. От колебаний температуры окружающей среды сопротивления обоих датчиков  $R_a$  и  $R_k$  изменяются на одну и ту же

величину. Одинаковое измерение сопротивлений двух смежных плеч моста не вызывают дополнительно тока в измерительной диагонали. В результате измерительный мост оказывается способным осуществлять температурную компенсацию. Измерение сопротивления рабочего датчика могут оказываться близкими по своей величине к изменениям сопротивления от колебаний  $t^\circ$ . Поэтому подбор рабочих и компенсационных датчиков (по  $R$ ) должен производиться особенно тщательно, что усложняет монтаж измерительных схем и изготовление датчиков. Это можно избежать, применяя, например, термокомпенсирование датчиков. Измерительная мостовая схема дает возможность производить замер величины  $\Delta R$  двумя способами:

- 1) методом непосредственного отсчета, когда применяется неуравновешенная схема;
- 2) методом нулевого отсчета, когда применяется уравновешенная схема:



При втором методе вначале производится балансировка моста изменением  $R_1$  и  $R_2^1$  с приведением отсчета по индикатору к нулю. Для этого между сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$  включается ряд сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$  выполняемых виде протарированного реохорда  $R_6$ ,  $\frac{\Delta R_a}{R_a}$  характеризующие  $\epsilon$ ,

определяются по шкале реохорда по разности отсчетов при исходном и новом балансах. Уравновешенная мостовая схема дает возможность обеспечить большую точность отсчетов (до 0,01 %) и позволяет создать наиболее простые регистрирующие устройства. Однако измерения в этом случае оказываются сравнительно трудоемкими и пригодными лишь для исследования статических деформаций. Неуравновешенная мостовая схема не обеспечивает столь высокой степени точности, но позволяет значительно ускорить измерения и автоматизировать процесс регистрации; она применяется при измерении так статических, так и динамических деформаций. Большим недостатком схемы с неуравновешенными мостами является зависимость по-

казаний регистрирующего прибора от напряжения источника питания. Поэтому при использовании этой схемы необходимо обеспечивать постоянное напряжение источников питания.

Величина деформаций, которой приходится измерять при испытаниях, зависит от материала исследуемой конструкции, характер испытания, и находится в пределах  $10^{-1} \div 10^{-6}$ . Измерение столь малой деформаций требует, как правило, применение высокочувствительной регистрирующей аппаратуры с электронными усилителями.

При монтаже электрических схем высокие требования должны быть, предъявлено к ее отдельным элемента ( стабильность контактов переключающих устройств, длина проводников – проводов, их  $t^0$ ). При  $2 = K$ ;  $R_a = 100$  и  $\varepsilon = 10^{-5}$  получим  $\Delta R = K \cdot R_a \cdot \varepsilon = 2 \cdot 100 \cdot 10^{-5} = 0,002$  Ом.

Пр и м е р :

1. При  $e = 1$  м.  $S = 0,2$  мм<sup>2</sup> (привод ПМГВ – 0,2)

$R = \rho \cdot e/s = 0,017 \cdot 10^{-4} \cdot 100/0,2 \cdot 10^{-2} = 0,08$  Ом

Изменение в длине проводников (проводов подсоединяющих активный и компенсационный тензорезисторы всего на 2,5 см дает изменение показаний в 1 деление).

2. При  $e = 5$  м активный провод и компенсационный в разных  $t^0$  (на 1 °С), то

$\Delta R_t = \beta \cdot \Delta t^0 \cdot R_0 = 0,429 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 0,08 \cdot 5 \approx 0,002$  Ом (то есть на 1 деление).

### Схемы коммутации тензорезисторов.

*А. Групповая коммутация*, когда один компенсационный тензорезистор, включенный в компенсационное плечо используется для компенсации группы активных тензорезисторов. Она применяется при измерениях в большом числе точек, когда на конструкции можно выделить группы тензорезисторов (10÷20 мм), находящихся в одинаковых условиях с точки зрения воздействия внешней среды и может быть скомпенсированы при помощи одного компенсационного тензорезистора.

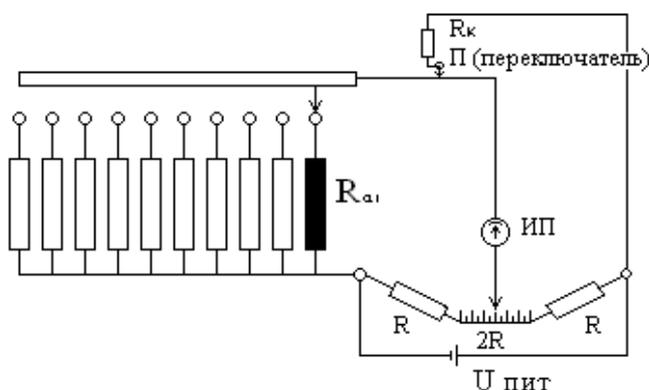
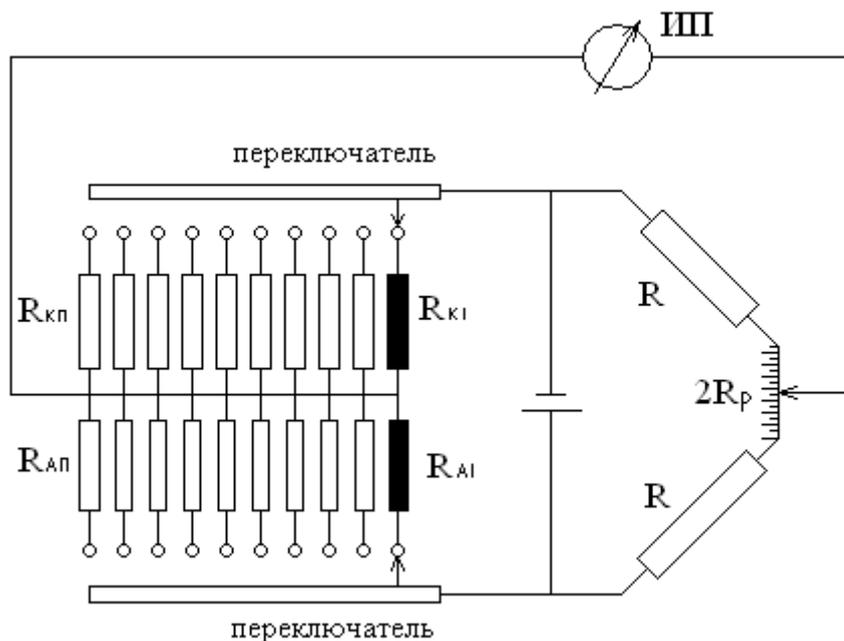


Схема групповой коммутации тензорезисторов.

Если возможны значительные изменения  $t^0$  или других внешних факторов между точками, где производятся измерения, применяют парную ком-

мутацию. При парной коммутации каждый активный тензорезистор коммутируется с соответствующим компенсационным, который располагается в непосредственной близости от активного.



Парная коммутация тензорезисторов, кроме более надежной компенсации воздействий внешней среды, позволяет в отдельных случаях повышать уровень выходного сигнала, например, когда активный и компенсационный тензорезисторы наклеены на участках с различными по знаку деформациями при постоянном соотношении их абсолютных значений. При изучении динамических процессов измерения осуществляются отдельно для каждой точки. В этом случае количество самостоятельных измерительных целей или рабочих каналов равно количеству точек, где измеряют деформации.

#### **Регистрирующая аппаратура:**

Большое распространение получили измерители деформаций типов ЭИ – 1, АИД – 1 М (АИ – 2), АР – 2 и ЭК – 1 с питанием от сети переменного тока, а также ПИД – 10 М и ИСД – 3 с батарейным питанием. В основе всех рассматриваемых конструкций приборов лежит схема моста с нулевым методом измерения. Помимо указанной специальной тензометрической аппаратуры находят применения упрощенная схема измерительных мостов с использованием гальванометров и фотоэлектрические усилители в качестве нуля индикатора равновесного состояния моста или в качестве измерительного прибора при измерениях по методу непосредственного отсчета.

А. Электронный измеритель деформаций с автоматической балансировкой моста типа АИД – 1Д (АИ – 1) – предназначен для измерения статических и медленно меняющихся деформаций с помощью тензорезисторов. Измерение деформаций может производиться в одной или нескольких точках.

- работа с тензорезисторами от  $50 \div 500$  Ом и  $K = 1,8 \div 2,25$ ;
- диапазон  $\varepsilon = 10^{-2} \div 10^{-5}$  (0,001 до 1%);

– цена деления  $10^{-5}$ .

**Б.** Электронный измеритель деформаций с ручной балансировкой моста типа ЭИ-1 (измеряются те же деформации)

$R = 50 \div 500$  Ом;  $K=1,8 \div 2,2$  цена деления  $10^{-5}$ ;  $\varepsilon = 10^{-2} - 10^{-5}$  (более ранняя модификация АИ – 1).

**В.** Портативные измерения деформаций ПИД–10М и ИСД–3 позволяют проводить измерения в производственных и натуральных условиях с автономным питанием, не чувствительным к сетевым помехам.

Данные:

– работа с тензодатчиками  $R = 100 \div 400$  см;

–  $\varepsilon = 10^{-2} \div 10^{-5}$ ;

– цена деления  $10^{-5}$ ;

– число одновременно подключаемых датчиков от 1 до 10.

**Г.** Автоматический измеритель больших деформаций: АИД – 2М

Необходимость  $\varepsilon > 1\%$

$R = 75 \div 250$  Ом – такие тензодатчики с  $K= 1.8 \div 2.2$

– диапазон  $\varepsilon = 10^{-1} \div 10^{-5}$ ;

– цена деления  $10^{-5}$ .

#### **Автоматизация измерений:**

Она позволяет снизить трудоемкость измерений и открывает новые возможности проведения эксперимента.

Это прежде всего:

1) повышение надежности результатов измерений; (ошибки экспериментаторов исключены);

2) более полное использование информации за счет глубокой логической обработки данных с помощью ЭВМ;

3) ускорение сроков эксперимента и обработки результатов;

4) возможность исследования конструкций и сооружений, работающих в спецусловиях, не позволяющих персоналу находиться на объекте исследований или вблизи от него.

В лаборатории методов экспериментальных исследований ЦНИИСК создан и внедрен в практику в автоматический тензометрический комплекс ТК–2, который обеспечивает автоматизированный сбор и ввод полученной информации в ЭВМ. Аппаратура ТК–2 осуществляет автоматическое поочередное подключение датчиков к измерительному прибору, измерение и регистрацию показаний датчиков в цифровой табличной форме, а также на перфоленте (400 датчиков, время для регистрации показаний  $15 \div 17$  мин).

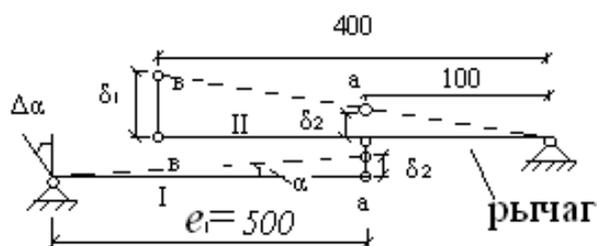
В настоящее время созданы автоматизированные тензометрические комплексы ТАК–1 и другие.

### Тарирование измерительных приборов:

Несмотря на то, что измерительные приборы изготавливаются с большой тщательностью и точностью, фактические их параметры часто отличаются от проектных. Поэтому изготовление измерительных приборов подвергается тарированию, то есть поверке на специальных тарировочных машинах или устройствах. При тарировании производится градуирование шкалы, определения поправочного коэффициента прибора, выявления устойчивости его показаний (вариации) и чувствительности. Параметры, полученные в результате тарирования, вписываются в выпускной аттестат или паспорт прибора. Тарирование всех измерительных приборов проводится обычно специализированными мастерскими и лабораториями.

#### А. Тарирование механических измерительных приборов.

Для тарирования механических приборов применяют различные тарировочные устройства. Например тарировочную машину системы Н.Н. Аистова (УКПА-5)

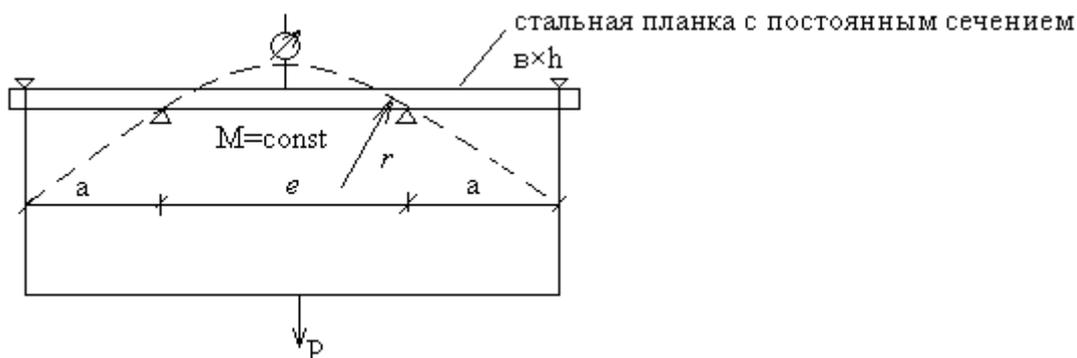


Рычаг I и II  
условно показаний  
друг над другом.  
 $\alpha = \delta_2 / e_1$      $\delta_2 = \delta_1 / 4$

#### Б. Тарирование тензорезисторов.

Производят выборочно (5%). В первую очередь проверяют R тензорезисторов.

Схема тарировочного прибора ТА-12.



При малых прогибах, пока  $y'' = \frac{1}{r}$  представив

$$r = \frac{e^2}{8y}; \quad \frac{\Delta e}{h/2} = \frac{e}{r};$$
$$\varepsilon = \frac{\Delta e}{e} = \frac{4k}{e^2} \cdot y;$$

$h$  – высота поперечного сечения.

Тензорезисторы наклеивают в пределах длины  $e$  нижнюю и верхнюю поверхности и поочередно подключают к измерительному прибору.

Сначала небольшой начальный прогиб, берут отсчет  $C_1$  а затем еще больше загружают и  $C_2$ .

Тарировочный коэффициент определяют как:  $K = \varepsilon / \Delta C$ ;  $\Delta C = C_2 - C_1$ .

## Лекция 7

# ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ

### 1. Подготовительные работы.

Большая трудоемкость и стоимость статических загрузок наряду с трудностью повторения испытаний, требуют тщательной предварительной отработки их программ. Перед началом испытаний должна быть проведена необходимая подготовка: смонтированы нагрузочные приспособления и подготовлена нагрузка; установлены подмости и ограждения; обеспечено, если это вызывается условиями испытаний, дополнительное освещение мест установки приборов; согласованы перерывы в эксплуатации исследуемого объекта и так далее.

#### **Предварительные подсчеты:**

Уточняются требуемая испытательная нагрузка и определяются соответствующие этой нагрузке значения перемещений, деформаций, напряжений и усилий, возникающих в исследуемых элементах конструкций. Подсчеты проводятся с учетом всех выявленных освидетельствованием отступлений от проекта, уточненных характеристик материала, обнаруженных ослаблений и т.д. В сооружениях с неявно выраженной расчетной схемой предварительные подсчеты должны быть выполнены по нескольким возможным вариантам, чтобы сравнением с результатами испытаний выявить из них наиболее реальную. Аналогично поступают и с физико-механическими характеристиками материалов.

### 2. Размещение приборов:

Перед испытанием составляется схема расположения измерительных приборов с указанием их типов и характеристик. Учитывается следующее:

1. Измерение наиболее ответственных параметров необходимо дублировать.
2. К группам однотипных приборов добавляется контрольный (для учета влияния внешней среды).
3. Число приборов должно быть по возможности небольшим.
4. При прочих равных условиях приборы нужно устанавливать там, где измеряемые показатели достигают наибольших значений.

#### *а) Измерение прогибов:*

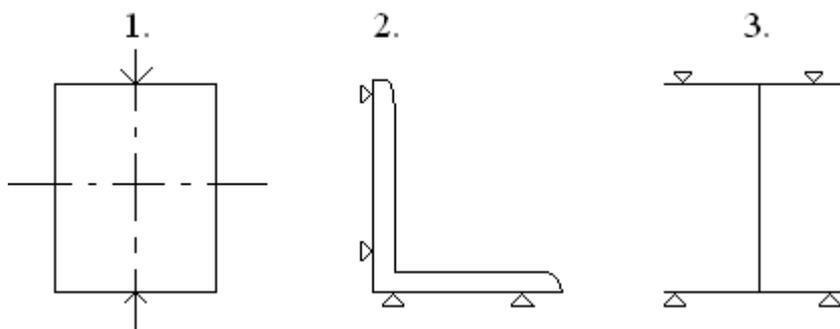
Для определения прогиба балки с учетом осадки опор необходимо поставить не менее 3 прогибомеров. Если опорные сечения недоступны, то прогибомеры сдвигают внутрь пролета учитывая это смещение. Если необходимо знать очертания упругой линии то необходимо множество прогибомеров.

#### *б) измерение углов поворота:*

В балках наиболее целесообразно измерять поворот опорных сечений. В более сложных случаях при неизвестной заранее ориентировке угловых перемещений устанавливают «розетки» клинометров.

в) размещение приборов при измерении деформаций:

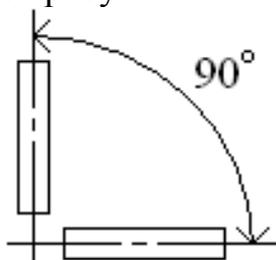
При одноосном напряженном состоянии: базы приборов на схемаориентировании по направлению измеряемых деформаций.



1. Действие лишь одной силы  $N$  (1) (можно один прибор, но лучше два)
2. Действие двух сил  $N$  и  $M$  (не менее двух) если плоскость действия момента неизвестна то не менее 3 (то есть  $N, M_x, M_y$ )
3. Для определения  $N, M_x, M_y$  и  $V$  необходима установка не менее 4 тензодетекторов.

Измерения деформаций при плоском – напряженном состоянии требует установки в одной точке нескольких тензодетекторов по разным направлениям.

*Случай 1.* Направление главных напряжений известно. Необходимо определить  $\epsilon_{\max}$  и  $\epsilon_{\min}$ . Обычно требуется не менее двух тензодетекторов.



Для контроля показаний добавляют третий под  $<45^\circ$



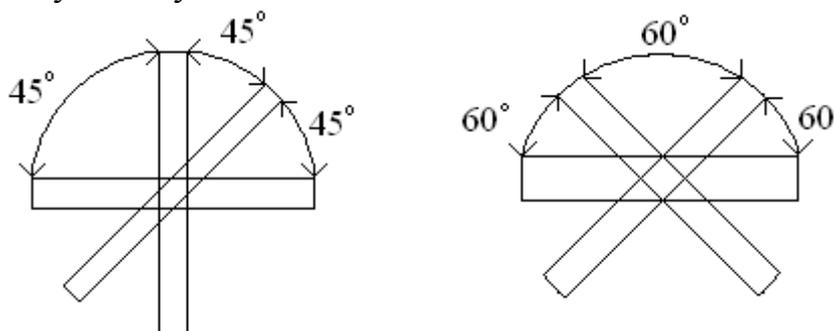
*Случай 2.* Главные направления неизвестны. Необходимо определить как  $\epsilon_{\max}$  и  $\epsilon_{\min}$ , так и их направления.

Ставят не менее трех тензодетекторов.

Для контроля ставят иногда четвертый. Возможно пользоваться розеткой и других конфигураций, например «равноугольной» розетки и Т-дельта розетки.



Ввиду небольших размеров тензорезисторов размещение их на поверхности конструкций обычно не вызывает затруднений. В очень стесненных условиях пользуются розетками с совмещенными тензорезисторами наклеенными на одну основу.



### Измерение деформаций при объемном напряженном состоянии.

Обычно на объектах гидротехнического строительства, где установка закладных тензометров при бетонировании массивов пластин необходима для дальнейшего наблюдения за их работой в процессе эксплуатации. Если направление деформаций неизвестно, то необходимо для определения величин главных деформаций (3 параметра) и их ориентации (3 параметра) постановка в каждой точке не менее приборов. Целесообразно применять для этой цели ( в крупных бетонных массивах) струнные тензометры, обеспечивающие в данных условиях получения наиболее надежных результатов. Рядом с каждой группой тензометров помещают контрольные приборы для исключения влияния изменений температуры усадки бетона и других факторов, вносящих искажение в регистрирующие показания.

### Основные работы, выполняемые в процессе испытания.

а) установка приборов и подготовка к наблюдениям.

Измерительные приборы должны быть закреплены на испытываемой конструкции заблаговременно для обеспечения стабильности их показаний, а также защищены от внешних воздействий и случайных повреждений.

Перед длительными испытаниями необходимо наблюдение за показаниями установленных приборов в течение суток до загрузки для выявления изменения их показаний при суточных колебаниях температуры.

Поверхности нагружаемых конструкций в зонах возможного появления трещин берется для облегчения наблюдений во время испытаний. Существующие повреждения отмечаются как на объекте так и в соответствующих ведомостях (если этого уже не было сделано ранее в процессе предварительного освидетельствования). Рядом с установленными приборами в порядке последовательности взятия отсчетов краской наносят их номер. Проверяется удобство доступа как к приборам, так и к элементам конструкций, подлежащих наблюдению, достаточность их освещения и так далее. Проверяется выполнение всех требуемых мер по технике безопасности.

*б) предварительное загрузеие:*

Предварительное загрузеие является начальным контрольным этапом испытания. На этом этапе проверяют: готовность и надлежащее действие всех подготовленных приспособлений, в первую очередь нагрузочных; надежность крепления и правильность показаний установленных приборов, а такие окончательно отрабатывают намеченный процесс проведения испытания.

Интенсивность предварительного загрузеия принимают обычно равной первой ступени нагрузки, предусмотренной программой испытания. Выявление во времени загрузеия неудовлетворительно работающих приборы подлежат исправлению или замене.

*в) Запись показаний приборов:*

Напряженным условием является максимально возможное соблюдение одновременности записи по всем установленным приборам. Наилучшим образом это требование обеспечивается при автоматической разметрации показаний.

При обычной записи число приборов, поручаемых каждому наблюдателю, должно быть по возможности небольшим. После записи показаний по всем приборам рекомендуется делать повторный отсчет по первому из них. Разность двух этих последовательных показаний дает важную для оценки результатов характеристику интенсивности развития пластических деформаций после каждой степени нагружения.

Помимо записи показаний приборов, должны тщательно отмечаться: 1) время записи, 2) условие проведения испытания (температура и другие факторы воздействия внешней среды) 3) случайные толчки и удары, которые могут быть использованы при оценке получаемых результатов.

## **2. Наблюдения за состоянием нагружаемого объекта.**

Перед началом испытаний отмечают все трещины, сколы и другие повреждения, обнаруженные в элементах нагружаемых конструкций. После приложения каждой ступени нагрузки производится повторный их осмотр для выявления как вновь появляющихся повреждений, так и степени развития уже имеющихся.

Отметки на поверхности элементов осуществляются нанесением краской тонкой черты рядом с каждой трещиной (но не поверх ее); аналогично,

с небольшим отступлением, обводят контуры сколов и других повреждений. Концы трещин отмечают поперечным штрихом, рядом с которым пишут степень нагрузки, соответствующей отмечаемой длине трещины. Совокупность таких отметок дает наглядную картину постепенного развития повреждений по мере роста испытательной нагрузки.

Повреждения отмечают в специальных ведомостях, а так же (что очень целесообразно) наносятся от руки с примерным соблюдением масштаба на формат как с вычерченной на них разверткой контролируемых деталей. Аналогично должны отмечаться и расхождения в швах и соединениях, искривления и взаимные сдвиги элементов и так далее.

В процессе загрузки и после окончания испытания необходима фотосъемка, особенно поврежденных мест. Снимки являются важным документальным подтверждением результатов испытания; наличие серии таких фотографий значительно облегчает как обработку полученных данных так и их оценку.

### **Техника безопасности при испытаниях статической нагрузкой.**

#### *а) предохранительные устройства*

Для обеспечения безопасности при приложении и выдерживании нагрузки должны быть приняты меры на случай разрушения или потери устойчивости испытываемой конструкции. Для этой цели под нагружаемым объектом устраивают леса, устанавливают стойки и так далее не касающиеся испытываемой конструкции и не мешающие ее деформации под нагрузкой. Эти предохранительные устройства должны быть достаточно прочны и устойчивы, чтобы полностью воспринять на себя вес нагружаемой конструкции в случае исчерпания ее несущей способности. Предохранительные леса и стойки используют обычно и для устройства ходов и площадок для установки и взятия отсчетов по измерительным приборам, а так же наблюдений за состоянием проверяемых элементов во время испытаний. Все эти вспомогательные конструкции и подходы к ним должны быть надежны и надлежащим образом ограждены.

#### *б) Обеспечение безопасной работы с нагрузочными приспособлениями*

Нагрузочные и распределяющие устройства должны отвечать требованиям техники безопасности в отношении их состояния, быть надежно закрепленными и иметь все необходимые защитные ограждения. Там, где подвешены грузы, должны быть предусмотрены меры на случай их обрыва или резкого опускания их вместе с испытываемой конструкцией; свободный зазор под грузами должен быть минимальным с учетом ожидаемых прогибов и осадок. В случае необходимости, следует предусмотреть меры для быстрого удаления грузов с испытываемого объекта. В этом отношении наиболее удобны саморазгружающиеся устройства, например домкраты, усилия в которых резко падают при внезапном перемещении нагружаемой конструкции в направлении создаваемых силовых воздействий.

### **Предварительная обработка результатов испытаний:**

В процессе испытания конструкции после каждой ступени нагрузки, то есть на протяжении всего процесса испытания, должна производиться предварительная обработка результатов испытания. Она преследует цель удостовериться в правильности ведения испытаний, а также попутно решить в первом приближении задачу, поставленную испытателями. Если в начале испытаний будет допущена какая – ни будь ошибка, которая может исказить результаты так, что вызовет необходимость проведения повторного испытания, то ее можно будет предварительной обработкой результатов выявить и устранить. Одной из причин ошибки может явиться неправильное взятие отсчетов по приборам ( в этом случае сравнивают разности отсчетов с их теоретическими значениями) Ошибку в результатах отсчетов можно объяснить неправильным взятием отсчетов, неправильно установкой прибора (возможное скольжение призмы тензометра, недостаточная сила нажима на призмы, попадание вершины призмы в места углубления на поверхности элемента и другие.) При испытании каменных и бетонных конструкций встречаются случаи, когда скачкообразное изменение показаний тензометра не является ошибкой (появление трещины в пределах базы тензометра). Для проверки правильности измерений деформаций желательно построить кривую «нагрузка – деформация». Одним из основных показателей правильности проведенного испытания является фактор остаточной деформации. Так, например, если после полной разгрузки конструкции значение остаточной или упругой деформации по графику равно нулю, то это в большинстве случаев указывает на ошибочность полученных результатов. Если испытывается конструкция, которая загружается впервые, следует ожидать больших остаточных деформаций, чем при испытании конструкции длительное время находившейся по нагрузкой. Это объясняется тем, что при испытании конструкции, длительно находящейся в эксплуатации, не проявляются остаточные деформации, которые она получила при первом нагружении.

#### **Режим испытания:**

Устанавливают: 1)требуемую интенсивность нагружения; 2) ступени приложения и снятия нагрузки; 3) продолжительность ее выдерживания.

#### **А. Назначение величины испытательной нагрузки.**

Если сооружение или конструкция после испытания передается в эксплуатацию, то испытание не должно ухудшать их состояние, то есть не должны развиваться в процессе испытания остаточные деформации, нарушение склонности и тому подобное. Максимальная испытательная нагрузка поэтому не должна выходить за установленный предел. Обычно за этот предел принимается расчетная нагрузка в наименее выгоднейшем ее положении за исключением случаев, когда приложение большей нагрузки предусмотрено соответствующими техническими условиями (Например стальных резервуары под

нефтепродукты проверяемые на прочность заполняют водой до расчетной отметки, а давление воздуха и вакуум в «газовом пространстве» должен превышать проектные : избыточное давление на 25 %, а вакуум на 25-50%.

При испытаниях опытных объектов не передаваемых в эксплуатацию максимум нагрузки назначается в зависимости от поставленной задачи. Если целью испытания является определения несущей способности или исследование условий появления местных повреждений (трещин, сколов и тому подобное.), то значение максимальной нагрузки уточняют непосредственно в процессе эксперимента в соответствии с его результатами. Однако до начала испытания этот максимум должен быть ориентировочно известен для подсчета требуемой нагрузки. Последняя должна браться «с запасом» во избежание задержек в ходе испытания в случае ее недостаточности.

Испытание железобетонных изделий серийного изготовления и отбор контрольных образцов производят в соответствии с ГОСТ 8829-66:

а) при проверке на прочность – контрольная нагрузка принимается равной расчетной, умноженной на  $C-1.4 \div 2.0$  в зависимости от типа конструкции, вида бетона и характера ожидаемого разрушения; (контр. нагрузка – та которую должны выдерживать образцы конструкций и изделий серийного изготовления при выборочном их испытании) при проверке на жесткость – контрольная нагрузка принимается равной нормативной в наименее выгоднейшем ее положении;

При проверке не трещиностойкость – для изделий первой категории трещиностойкость 1.05 от расчетной и для второй категории 1.05 от нормативной.

### **Б. Последовательность снятия и приложения нагрузки. Ступени нагружения.**

Чем больше ступеней тем лучше график нагрузка – деформации (что очень существенно при его нелинейности).

Для облегчения обработки результатов испытаний последовательные ступени д.б. по возможности одинаковыми. Начальную ступень следует брать небольшой  $5 \div 10\%$  от ожидаемой максимальной.

Повторность нагружений для проверки возвращения «на нуль» показаний приборов.

#### **Разгрузка.**

Ступени разгрузки следует брать такими же как и нагрузки. При полной же разгрузке не исключается возможность небольших перекосов и смещений нагрузочных устройств, что затрудняет сопоставление полученных результатов.

#### **В. Выдержка нагрузки.**

Для выявления закономерности приращения перемещений и деформаций после приложения нагрузки необходима выдержка

для металлических конструкций –  $15 \div 30$  мин

для ж.б. конструкций – около 12 час.

для дерева – от 24 час. до нескольких суток.

Так для выборочных испытаний железобетонных изделий по ГОСТ 8829–66 предусматривается обязательная выдержка.

При контрольных загрузках на жесткость и трещиностойкость – не менее 30 мин.

После каждой промежуточной ступени нагружения – не менее 10 мин. (для стальных вертикальных цилиндрических резервуаров длительность выдержки для емкостей до 5000 м<sup>3</sup> не менее 24 час., а свыше 10000 м<sup>3</sup> – не менее 72 час.

## Лекция 8

### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ:

#### Графическая обработка.

Первым этапом обработки является тщательный контроль достоверности полученных экспериментальных данных. Отклонения показаний приборов, совпадающие с моментами образования трещин в нагружаемых конструкциях, сдвигами элементов и так далее могут быть объяснены влиянием этих факторов и отсчёты величин в достаточной степени надежными.

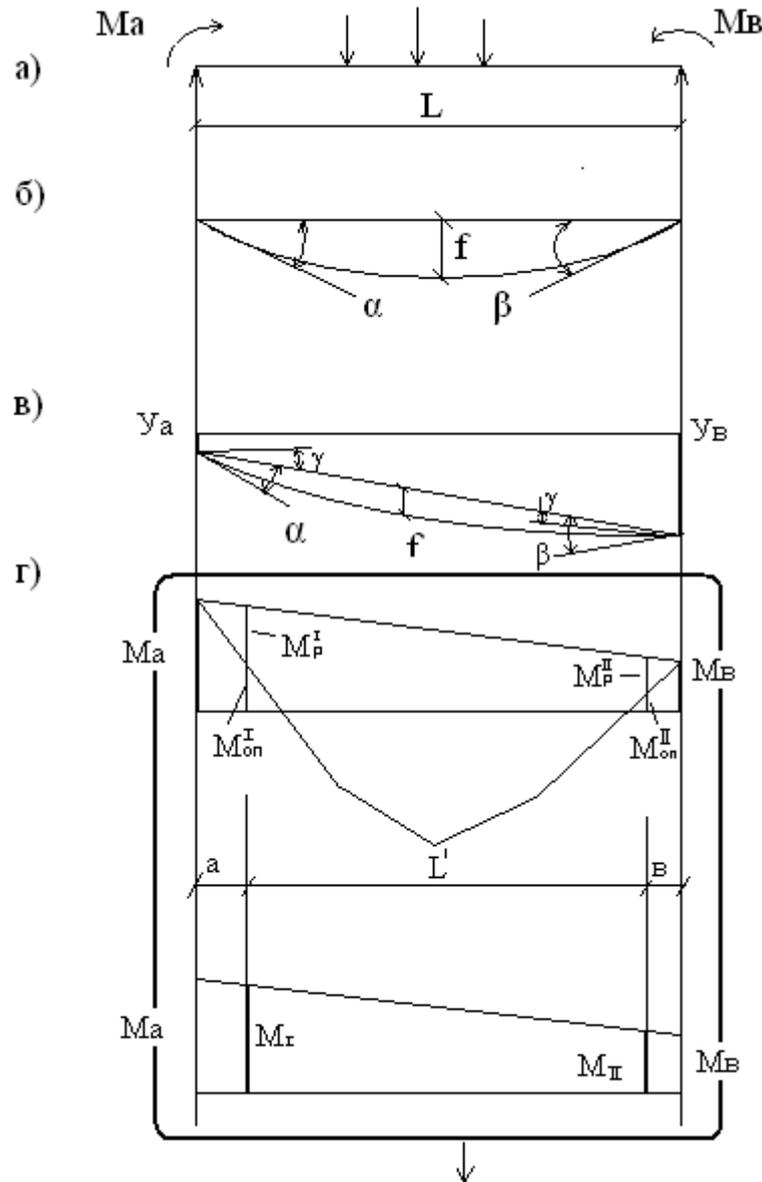
Отдельные поправки в графики показаний могут быть внесены на основании измерений контрольными приборами.



Схема «время – нагрузка – деформация»



**Определение опорных моментов балок и изгибной жёсткости по измеренным прогибам и углам наклона:**



Для случая когда прогибомеры стоят не на опоре, а на расстояниях  $a$  и  $b$  от опор.

*А. Осадок опор нет.*

Неизвестны  $M_a$ ,  $M_b$  и  $E$ . Необходима установка и взятие отсчетов по трем приборам. Например измерение прогибов  $f$  и определение углов  $\alpha$  и  $\beta$ . Считая что  $\operatorname{tg}\alpha = \alpha$  и  $\operatorname{tg}\beta = \beta$  (если прогиболер по середине пролета)

$$\alpha = \alpha_p + \frac{M_a \cdot l}{3EY} + \frac{M_b l}{6EY};$$

$$\beta = \beta_p + \frac{M_a \cdot l}{6EY} + \frac{M_b l}{3EY};$$

$$f = f_p + \frac{M_a \cdot l^2}{16EY} + \frac{M_b l^2}{16EY},$$

где  $\alpha_p, \beta_p, f_p$  – прогибы и углы наклона от заданной нагрузки в простой балке пролетом  $l$  при отсутствии опорных моментов.

**Б. Возможна осадка опор:**

Тогда необходима постановка еще двух прогибомеров на опорах.

Находим

$$\gamma = \arctg \frac{y_{\epsilon} - y_a}{l}.$$

а) По данным определяют условно «опорные моменты  $M_{on}^I$  и  $M_{on}^{II}$  для балки с пролетом  $l^I$ .

б) Теоретически определяют  $M_p^I$  и  $M_p^{II}$  в сечениях I и II для балки пролетом  $l$  при действии нагрузки но при отсутствии опорных моментов.

г) Тогда

$$M_I = M_{on}^I + M_p^I; \quad M_{II} = M_{on}^{II} + M_p^{II};$$

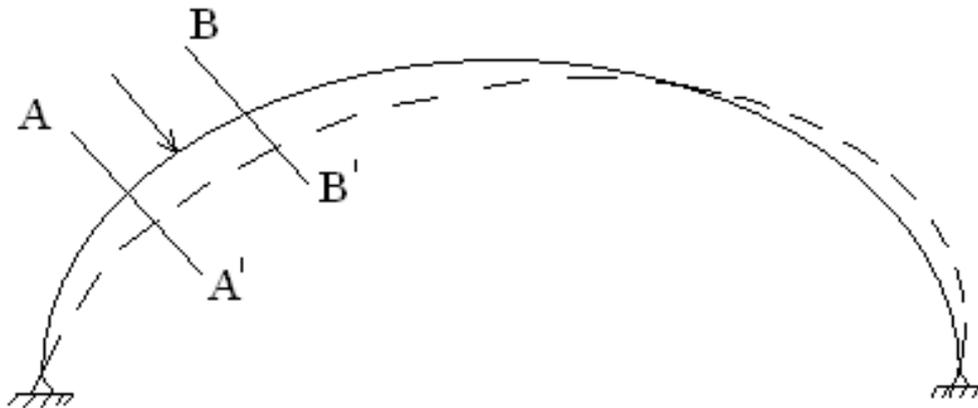
из геометрии (рис. г) находят

$$M_a = M_I + (M_I - M_{II}) a / l^I;$$

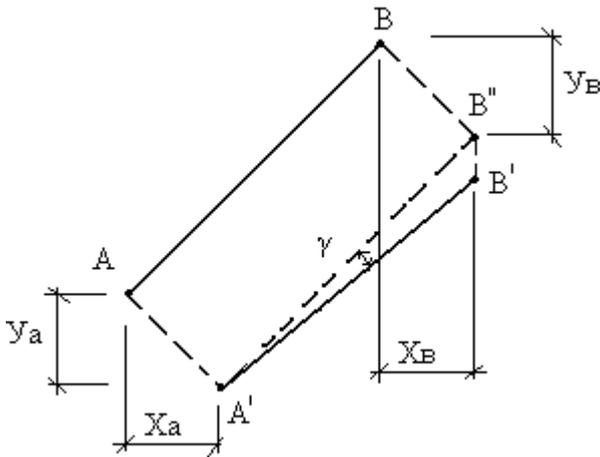
$$M_b = M_{II} - (M_I - M_{II}) b / l^I.$$

### Подсчеты при измерении перемещений в двух направлениях.

При испытаниях рамных, арочных и других конструкций приходится считаться с одновременным развитием как вертикальных, так и горизонтальных перемещений.



Допустим, что участок  $AB$  переместился в положение  $A'B'$  в результате деформаций.



$$AA' = \sqrt{x_A^2 + y_A^2}; BB' = \sqrt{x_B^2 + y_B^2}$$

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \frac{B''B'}{2L};$$

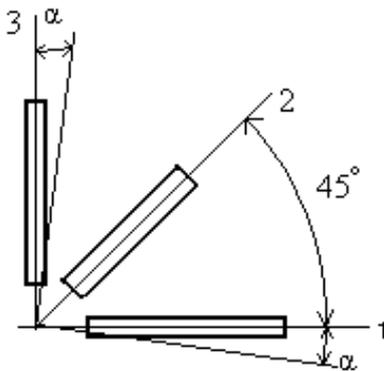
$$B''B' = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2};$$

$$\sin \frac{\gamma}{2} = \frac{\gamma}{2}, \text{ тогда}$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}}{L}.$$

Переход отрезка АВ в положение А'В' можно рассматривать как параллельный перенос в положение А'В'' и поворот на угол  $\gamma$  в положение А'В'.

### Обработка результатов измерения деформаций.



Угол  $\alpha$  – угол ориентации главных деформаций может быть уточнен расчетным путем:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = 2 \frac{\varepsilon_1 + \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2}}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3};$$

$$\varepsilon_{\frac{\max}{\min}} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_3}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2}.$$

### Переход от деформаций к напряжениям:

А. В упругой стадии:

одноосное состояние  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ ;

двухосное напряженное состояние:

$$\sigma_{\max} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{\max} + \mu \varepsilon_{\min});$$

$$\sigma_{\min} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{\min} + \mu \varepsilon_{\max}).$$

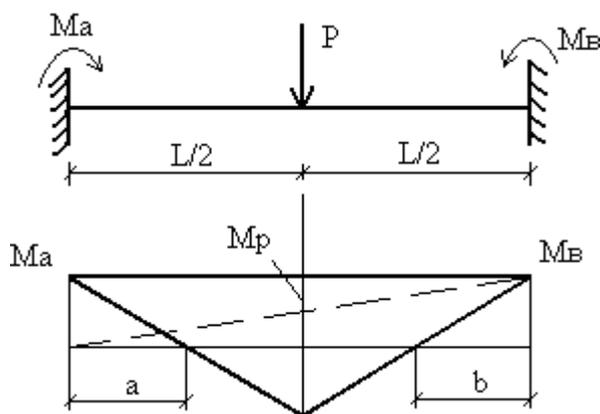
Б. В пластической стадии работы деформации и соответствующие им напряжения также взаимосвязаны. При обработке экспериментальных данных используют рассматриваемую в теории пластичности зависимость между  $\varepsilon_i$  и  $\sigma_i$  (интенсивности) в исследуемой точке материала.

$$\sigma_i = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(b_1 - b_2)^2 + (b_2 - b_3)^2 + (b_3 - b_1)^2};$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}.$$

### Определение опорных моментов путем измерения деформаций:

При данном методе в сечениях изгибаемых элементов, по их верхней и нижней граням измеряют продольные деформации материала. По показаниям приборов выявляются сечения, где изгибные деформации, а следовательно, и значения изгибающих моментов равны нулю. Построив затем эпюру моментов от вызывающей деформацию нагрузки в предположении шарнирного опирания элемента, можно путем несложных вычислений определить фактические значения возникших опорных моментов.



$$M_a = M_p \frac{a}{l/2} - M_A \frac{l-a}{l} - M_B \frac{a}{l} = 0$$

$$M_b = M_p \frac{b}{l/2} - M_A \frac{b}{l} - M_B \frac{l-b}{l} = 0$$

### Определение полных, упругих и остаточных деформаций:

Выявление всех видов деформаций дает возможность судить о качестве конструкции и об ее работе под нагрузкой, а потому определение полных, упругих и остаточных деформаций является одной из наиболее существенных задач обработки результатов испытания.

Для определения полных, упругих и остаточных деформаций необходимо взять по каждому прибору минимум три отсчета. Если отсчет по прибору до приложения нагрузки на конструкцию равен  $C_1$ , во время нахождения ее на конструкции  $C_2$ , а после разгрузки  $C_3$ , то полная деформация равна разности  $\Delta C_{\text{полн}} = C_2 - C_1$ , остаточная  $\Delta C_{\text{ост}} = C_3 - C_1$ , а упругая  $\Delta C_{\text{упр}} = C_2 - C_3$ .

Вычисление координат кривых деформаций следует сопровождать графическим их построением, которое дает наглядное представление о характере кривых.

### Оценка результатов статических испытаний:

Оценка результатов испытаний производится на основании всестороннего их анализа и сопоставления с данными теоретических расчетов, уточненных в соответствии с фактическими размерами, характеристиками материала и состоянием проверяемого объекта. Наиболее полная оценка может быть дана при рассмотрении результатов испытания до исчерпания несущей способности. При этом может быть выявлены следующие вопросы:

– каким образом происходит потеря несущей способности (в результате разрушения материала в одном или нескольких основных элементах конструкции; из-за потери устойчивости отдельных элементов или всей конструкции; из-за нарушения работы связей и соединений и т.д.);

– соответствует ли фактическая разрушающая нагрузка теоретической и степень их расхождения;

– соответствуют ли измеренные во время испытания перемещения и деформации вычисленным теоретически.

На основании анализа характера потери несущей способности могут быть сделаны рекомендации по усилению выявленных более слабых элементов и узлов в аналогичных конструкциях.

Сопоставление фактической и теоретически ожидаемой разрушающих нагрузок дает возможность при превышении разрушающей нагрузки над ее теоретическим значением оценить излишние запасы прочности с вытекающими практическими выводами. Наступление же разрушения при нагрузке, меньше теоретической, может свидетельствовать либо о недоброкачественном материале, либо о некачественном выполнении работ на проверяемом объекте. Расхождения могут быть также следствием неправильно выбранной расчетной схемы или проведения самого расчета.

При испытаниях до разрушения контрольных образцов продукции серийного изготовления (например стеновых панелей) выводы по результатам испытаний делают с учетом соответствующих нормативных указаний.

Наиболее сложной является оценка результатов испытаний сооружений, предназначенных к вводу в эксплуатацию, поскольку суждения о их фактической несущей способности и прогноза в отношении предстоящей их работы приходится в ряде случаев делать на основании приложения к ним нагрузки не превышающей расчетной.

Основными показателями, используемыми при этой оценке, являются перемещения и деформации, измеренные при испытании, а также результаты наблюдений за появлением и развитием трещин и повреждений в нагружаемых конструкциях.

При анализе этих данных исходят из следующих соображений:

1) экспериментально выявленное напряженно-деформированное состояние проверяемых конструкций должно соответствовать теоретическому;

2) при испытаниях объектов многократно подвергавшихся силовым воздействиям, выявление сколько-нибудь значительных остаточных перемещений и деформаций после приложения и снятия такой же испытательной нагрузки является признаком неудовлетворительной работы сооружения;

3) остаточные прогибы железобетонных впервые нагружаемых конструкций не должны превосходить  $1/3$  прогиба, измеренного при нормативной нагрузке;

4) существенные заключения могут быть сделаны на основании наблюдений за нарастанием перемещений при выдерживании нагрузки на сооружении и за постепенным уменьшением их после снятия нагрузки.

5) в предварительно напряженных конструкциях после их загрузки и обратного снятия нагрузки не должны уменьшаться усилия в напряженных элементах. При наличии многочисленных результатов испытаний однотипных конструкций, проведенных в сопоставимых условиях наиболее общие выводы по ним получают путем статистической обработки соответствующих экспериментальных данных.

## Лекция 9

# ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### 1. Нагрузки:

Под динамическими нагрузками понимают воздействия, меняющиеся настолько быстро, что в элементах конструкций возникают силы инерции, существенно влияющие на их работу.

Величина, направления и место приложения нагрузок могут изменяться независимо друг от друга или одновременно.

Основные виды динамических воздействий:

- а) силы инерции движущихся частей механизмов и машин;
- б) подвижная нагрузка;
- в) пульсации ветра;
- г) сейсмические воздействия.

### 2. Работа конструкций при динамических воздействиях:

Под действием динамической нагрузки в элементах конструкций возникают перемещения, деформации, напряжения и усилия (носящие характер колебаний). Основной динамической характеристикой конструкции являются свойственные ей частоты свободных колебаний. По мере приближения частоты вынужденных колебаний конструкции к частоте ее собственных колебаний возрастают амплитуда вынужденных колебаний (следовательно и внутренние усилия и напряжения), обусловленные этими воздействиями. Максимальный амплитудный – резонанс. Совокупность частот собственных колебаний конструкций называется спектром ее частот собственных колебаний, образующих спектр, определяется степенью свободы колеблющейся системы. Строительные конструкции вообще говоря – системы с бесконечным числом степеней свободы. Если колебания более высоких частот в десятки раз превышают частоту самого низкого тона, то систему называют с одной степенью свободы (условно) – (гибкие балки с сосредоточенным грузом, когда по сравнению с ним собственным весом можно пренебречь, массивные фундаменты). С точки зрения оценки работы конструкций необходимо знать основную частоту и несколько следующих за ней.

Каждой частоте спектра соответствует своя форма колебаний данной конструкции.

### Динамические характеристики материала.

#### А. Динамический модуль упругости.

Соотношение  $\nu$ - $E$ , характеризующее модуль упругости, зависит от скорости приложения нагрузки. Чем быстрее меняются внешние силовые воз-

действия, тем меньше сказывается влияние упругого последствия и пластических деформаций. Этим объясняется более линейная зависимость между  $v$  и  $E$  при динамической работе материала и некоторое превышение динамического модуля упругости по сравнению со статическим его значением. Для стальных конструкций  $E_{\text{дин}}$  и  $E_{\text{стат}}$ . Можно считать практически совпадающими, для бетона и древесины расхождения между ними более существенны. Динамические значения модуля упругости определяются обычно путем вибрационных испытаний, а также исследованиями материала с помощью ультразвуковых колебаний.

### **Б. Динамические прочностные характеристики.**

При увеличении скорости приложения нагрузки проявляются в большинстве случаев тенденция к увеличению предела пластичности и предела прочности загружаемого материала. При резких силовых воздействиях возможно внезапное появление и почти мгновенное развитие трещин, которые могут привести к хрупкому разрушению конструкций при сравнительно малых приложенных усилиях. Эта склонность к хрупкому разрушению характеризуется ударной вязкостью материала. При длительных вибрационных нагружения возможно появление и развитие усталостных трещин. Прочность материала определяется пределом выносливости, зависящим как от вида материала, так и от характеристик грузочного цикла.

### **В. Внутреннее трение:**

Внутреннее трение является одной из главнейших динамических характеристик материала. Оно обуславливает затухание свободных колебаний. Количественной характеристикой внутреннего трения является коэффициент поглощения  $\psi$  – отношение энергии, необратимо поглощенной материалом конструкции за цикл колебаний, к средней полной механической энергии колебаний рассматриваемой системы. В динамических расчетах пользуются параметром: – коэффициентом внутреннего трения:

$$v = \frac{\psi}{2\pi}.$$

При испытаниях строительных конструкций значения  $\psi$  и  $v$  определяются обычно по полученным данным о затухании свободных колебаний, пользуясь соотношением:  $\psi=2\delta$  –логарифмический декремент колебаний.

### **Задачи динамических испытаний:**

Объекты, рассчитанные на воздействие динамических нагрузок испытывают с целью проверки их работы в условиях, максимально приближающихся к эксплуатационным. При этом определяют динамические параметры; так, например, по частоте собственных колебаний отдельных элементов можно судить о их жесткости, а следовательно, и о соответствующем модуле упругости материала; путем рассмотрения формы колебаний

можно выявить наличие расхождений между принятой расчетной схемой и действительной работой исследуемого объекта и т.д. Существенная возможность сопоставления прочностных характеристик однотипных элементов в сооружениях путем сравнения частот и интенсивности затухания их собственных колебаний. Повторные динамические испытания дают возможность путем сопоставления их результатов судить об изменении состояния исследуемого объекта во времени. С этой целью динамические испытания могут производиться:

а) в плановом порядке, если это предусмотрено правилами эксплуатации;

б) после ремонтов и усилений;

в) при наличии сомнений в надлежащем состоянии и сохранении необходимой жесткости и несущей способности объекта, например, при сильном поражении коррозией, после пожаров и тому подобное. От статических испытаний динамические выгодно отличаются меньшей трудоемкостью и возможностью проведения их в более сжатые сроки.

При необходимости размещения нового динамически действующего оборудования в ряде случаев оказывается целесообразным предварительная экспериментальная проверка частот собственных колебаний конструкций во избежание нежелательного совпадения этих частот с частотой силовых воздействий от подлежащих установке агрегатов.

Динамические испытания применяют и для контроля качества выпускаемых изделий. Основными параметрами, чувствительными к наличию дефектов и пониженным характеристикам материала в исследуемых образцах, являются частота и интенсивность затухания их собственных колебаний. Проведенная динамическая проверка не снижает несущей способности испытанных деталей и не препятствует их использованию по собственному назначению.

### **Ударная нагрузка:**

Одиночным ударом возбуждаются собственные колебания в исследуемых конструкциях и элементах. Для уточнения основных параметров возбужденных колебаний не обязателен точный замер величины сообщенного импульса; необходимо лишь обеспечить силу удара, достаточную для отчетливой записи колебаний с помощью измерительной аппаратуры.

Для возбуждения колебаний в сравнительно легких и податливых элементах (например в плитах и балках перекрытий) можно осуществить удар ручной трамбовкой. При исследовании более тяжелых и массивных конструкций требуются и более сильные ударные воздействия. Для этой цели используются падающие грузы (100 кг и выше) с  $H=1\div 1.25$  м. На конструкция в месте падения груза укладывали слой песка для предохранения поверхности элементов от повреждений при ударе исключения подскока

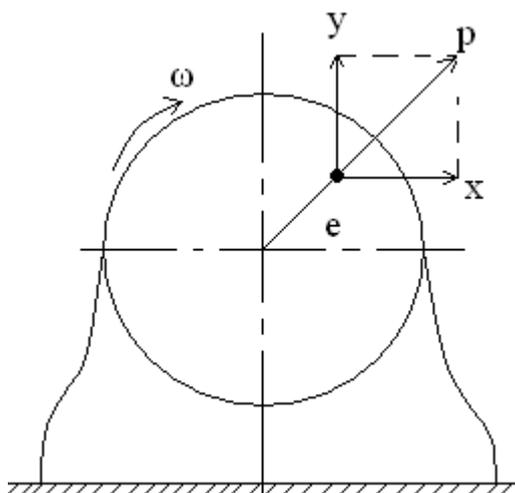
груза, поскольку повторное его падение после отскока искажало запись возбужденных колебаний. Затруднения, связанные с применением падающих грузов, отпадают при использовании так называемого «обратного удара» возникающего при резкой разгрузке конструкции. Для получения этого динамического эффекта к проверяемой конструкции в сечении, выбранном по условиям эксперимента, прикрепляют тягу с включенным в нее динамометром. При соответствующем значении усилия, разрыв стержня например с заданным  $\sigma_b$ , обеспечивает практически мгновенное снятие приложенной нагрузки.

Для создания горизонтальных ударов чаще всего пользовались подвешенным грузом действующим по принципу «тарана». В настоящее время все большее применение находит метод «обратного удара».

В отдельных случаях например, при изучении сейсмостойкости конструкций, возможно применение направленных взрывов небольшой мощности, произведенных на соответствующем расстоянии от исследуемого объекта.

### **Вибрационная нагрузка:**

Вынужденные колебания исследуемых объектов создаются с помощью вибрационных машин и гидродомкратов с пульсирующим воздействием. При натурных испытаниях пользуются обычно вибрационными машинами с вращающимся неуравновешенными массами, приводимыми в движение электромотором.



При вращении неуравновешенной массы  $m$  с угловой скоростью  $\omega$  развивается центробежная сила  $P = m \cdot e \cdot \omega^2$ . Сила  $P = \text{const}$ , но направление ее меняется.

$$X = m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha;$$

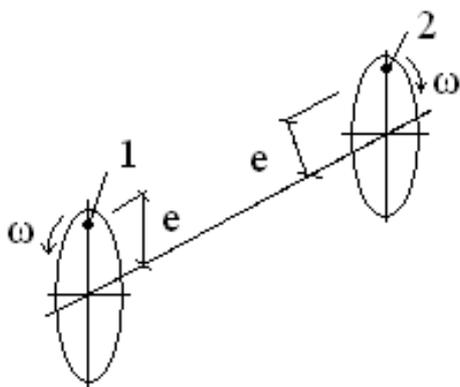
$$Y = m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha,$$

$\alpha$  – угол, характеризующий положение неуравновешенной массы в рассматриваемый момент времени.

Силловые воздействия подобного рода довольно часты в условиях эксплуатации. Однако с точки зрения поставленной задачи, заключающейся в выявлении динамических характеристик исследуемой конструкции, одновременное действие пульсаций в двух взаимно перпендикулярных направлениях нежелательно, так как при этом усложняются проведения необходимых инструментальных измерений и последующая обработка и оценка полученных результатов. Вибрационные устройства такого вида применяют лишь при отсутствии более совершенного вибрационного оборудования.

Возможно применения вибрационных машин с двумя неуравновешенными массами, вращающимися в разные стороны вокруг параллельных осей.

Вибрационные машины с эксцентриками, вращающимися в разные стороны вокруг одной общей оси более компактны по сравнению с выше рассмотренными, но конструктивно более сложны; они позволяют возбуждать



различным образом ориентирования силловые воздействия, в том числе, и направление под производным углом к вертикали.

Для создания циклических воздействий при стендовых испытаниях фрагментов конструкций и отдельных их элементов чаще всего применяют гидравлические силловые цилиндры, соединенные с насосной установкой и специальным агрегатом – пульсатором, возбуждающим переменный поток жидкости.

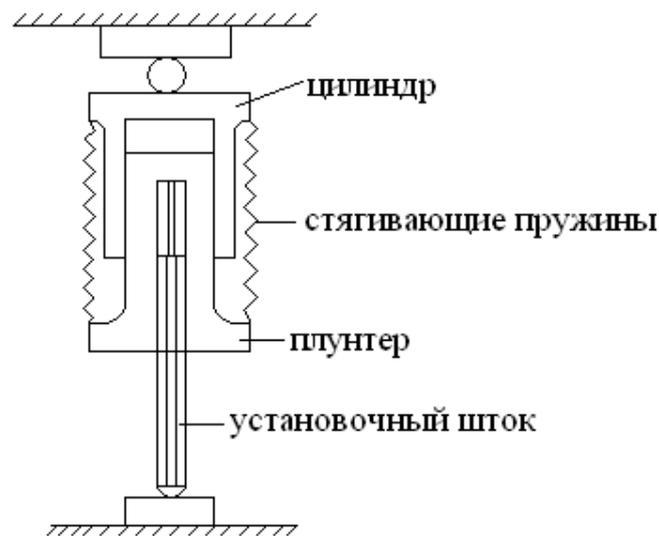


Схема домкрата для возбуждения пульсационных усилий

Преимуществами данного способа возбуждения динамических нагрузок являются:

1. Возможность создания значительных усилий в самых различных сочетаниях этих силовых воздействий по их величине, направлению и фазе;
2. Дистанционность возбуждения;
3. Возможность программирования режима длительных испытаний и автоматизации всего процесса.

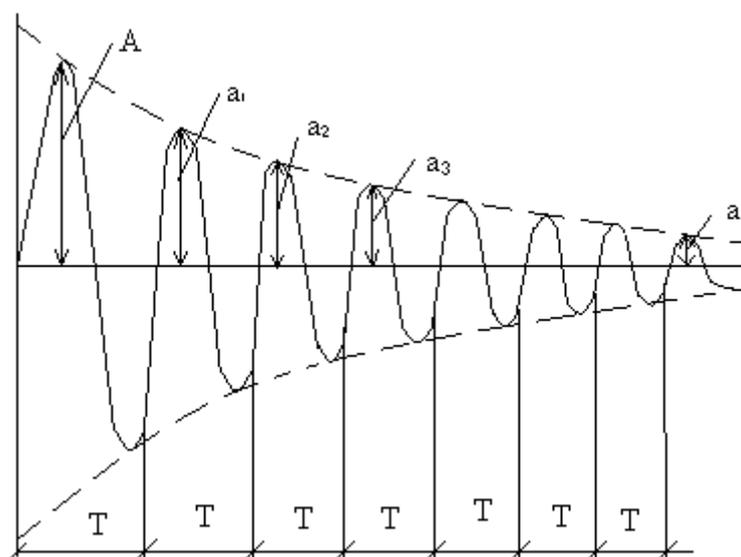
### **Основные виды колебаний и их характеристики:**

Два вида колебаний:

- 1) свободные (собственные);
- 2) вынужденные.

#### **1. Свободные колебания:**

Свободными называют колебания, которые совершает конструкция или ее элемент после того, как она будет выведена из состояния равновесия и предоставлена сама себе. Такому виду колебаний соответствует постоянная частота (период), величина которой зависит в основном от вида конструкции, геометрии и материала.



$T$  – период;

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{– частота колебаний;}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\delta_{ст}}{g}},$$

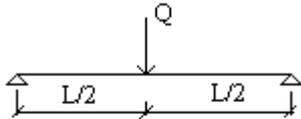
$\delta_{ст}$  – статическое перемещение (прогиб) под действием нагрузки  $Q$ ;  
 $g$  – ускорение силы тяжести.

Если обозначить через  $K$  величину нагрузки, которая вызовет единичное перемещение элемента, то

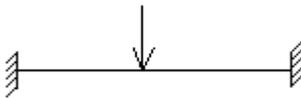
$$\delta_{ст} = \frac{Q}{K} \quad \text{и} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{\delta_{ст}}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{Q}{K \cdot g}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{K}}.$$

Выражение  $K$  зависит от вида деформации и статической схемы конструкции.

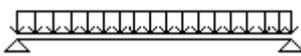
Так для балки



$$K = \frac{48EY}{e^3}$$



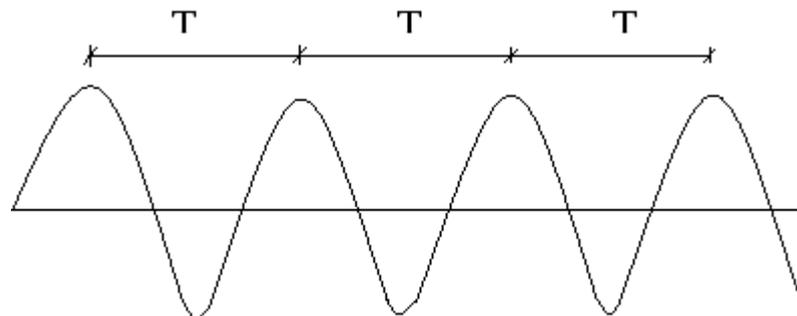
$$K_1 = \frac{192EY}{e^3}$$



$$K_2 = \frac{384EY}{5e^4}$$

### 1. Вынужденные колебания:

Есть результат действия динамической нагрузки.



а) простая



б) сложная

Для изучения колебательного процесса требуется регистрация и измерение следующих параметров: частоты, амплитуды, скорости и ускорения. Приборы для определения этих параметров должны обеспечивать возможность либо взятия отсчетов по шкале, либо записи процесса колебания с тем, чтобы при дальнейшей обработке их определить необходимые параметры.

Для обработки кривых колебательного движения (осциллографам) используют механические, оптические и электронные анализаторы.

## Лекция 10

# ИЗМЕРЕНИЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ

При динамических испытаниях определению подлежат перемещения, деформации, напряжения и усилия, возникающие в исследуемом объекте под действием приложенной нагрузки. В ряде случаев необходимо знать такие соответствующие скорости и ускорения.

При процессах носящих вибрационный характер, требуется установить частоту, а иногда и фазы вибраций. Быстропротекающие процессы могут быть лишь в отдельных случаях более или менее надежно оценены путем визуальных наблюдений за показаниями приборов.

Как правило, необходимо применять средства измерений с автоматически действующими регистрирующими устройствами. Исключения, вносимые в получаемые результаты инерционными силами движущихся частей приборов и трением в них, а также влиянием инерции и сил трения во всякого рода соединениях и контактах между исследуемым объектом и чувствительными элементами средств измерений, должны быть сведены к минимуму. Это достигается применением электрически и оптически действующих безынерционных систем. При этом обеспечивается:

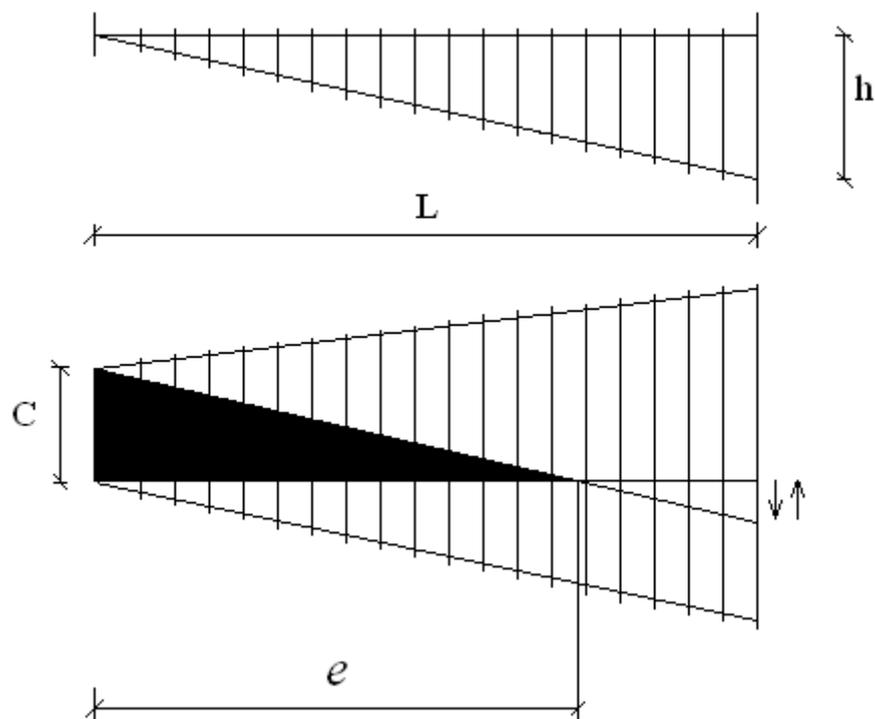
1. Возможность получения весьма больших увеличений – в сотни и тысячи раз, невозможных при использовании механических передач.
2. Возможность дистанционных измерений, что при динамических нагрузках нередко бывает важным и с точки зрения техники безопасности.

### **Измерение перемещений:**

При измерениях динамических перемещений, не носящих вибрационный характер, ранее применяли различные самопишущие приборы механического действия. В настоящее время все шире пользуются оптическими методами, в том числе «замедленной» киносъемкой, позволяющей детально расшифровать ход быстропротекающих процессов. Чаще всего при динамических испытаниях приходится определять параметры вибрационных перемещений. При этом применяются следующие методы и средства:

#### **1. Вибромарки:**

Они применяются для ускоренной приближенной оценки размаха колебаний установившегося режима.



Вибромарку в виде острого клина вычерчивают на бумаге и наклеивают на исследуемый объект так, чтобы основание клина располагалось по направлению колебаний. Наблюдателю, находящемуся вне объекта, при частоте порядка 500 колебаний в минуту и более движущаяся вибромарка будет казаться раздвоенной – крайнее положение ее положение видно отчетливо, а между ними образуется размытый фон с выделяющимся на нем темным клином.

Из подобия треугольников получим:

$$C = \frac{h}{L} \cdot e,$$

где  $C$  – подлежащий измерению размах колебаний;

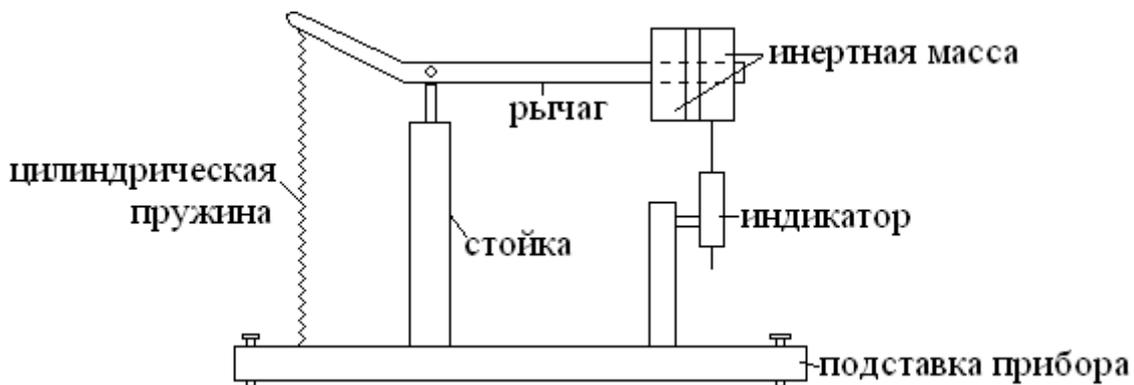
$e$  – высота темного клина, измеряемая по рискам вибромарки.

Для получения четких результатов колебания должны быть стабильны, так как при меняющихся их размерах темный клин становится размытым. При наложении одновременных колебаний в нескольких направлениях изображения как темного клина, так и делительных рисок расплывается.

Хорошие результаты дает фотографирование вибромарки с соответствующей выдержкой.

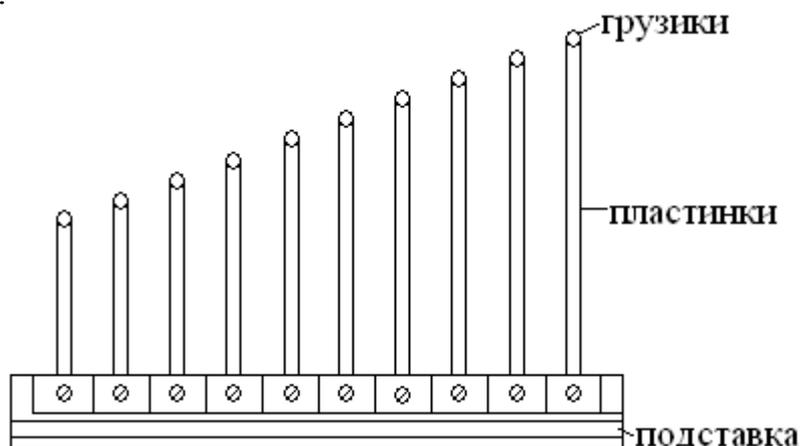
Для определения амплитуд можно использовать индикаторы часового типа, которые закрепляются на неподвижной опоре вблизи колеблющейся конструкции, а подвижным стержням упираются в исследуемый элемент так, чтобы перемещение стержня совпадало с направлением колебаний. При

низкой частоте колебаний стрелка индикатора перемещается довольно медленно и можно легко прочесть крайние деления шкалы, до которых доходит стрелка. Часто вблизи колеблющейся конструкции отсутствует неподвижная точка для установки индикатора. В этих случаях такую точку создают искусственно, используя маятники с инерционной массой, имеющие небольшую частоту собственных колебаний (0.5–2 Гц.) Например маятник конструкции В.С. Мартышкина и В.Ф. Смотрова:



При испытаниях маятники закрепляют на испытываемой конструкции, а индикаторы – на станине маятников и упирают подвижным стержнем в инерционную массу. Маятниками можно пользоваться для измерения частоты колебаний конструкции, превышающей частоту собственных колебаний прибора в 5 и более раз.

Для визуального определения частоты однотонных колебаний получим применения многоязычковые и одноязычковые частотомеры различных конструкций.



Для измерения частоты исследуемой конструкции частотомер устанавливают на ней так, чтобы направление колебания было перпендикулярно пластинкам. Если частота колебания конструкции совпадет с частотой собственных колебаний какой – либо пластинки то наступает резонанс. Ее амплитуда колебания будет отличаться заметно от остальных. Таким образом

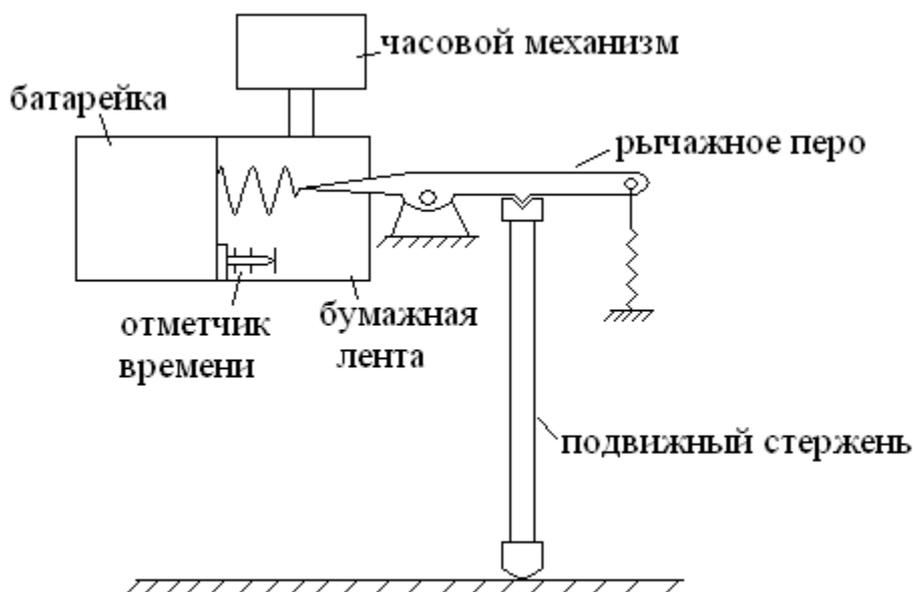
частота колебаний конструкции равна собственной частоте той пластинки, которая на это отозвалась.

**Измерение деформаций:** осуществляется с помощью тензорезисторов, по своей конструкции и способу крепления к исследуемым элементам аналогичны применяемым при статических испытаниях. Сигналы, вырабатываемые тензорезисторами, записываются на осциллограммах многоканальных осциллографов. В ряде случаев эффективно использование для дано цели эпюрографов, которые дают возможность рассматривать и фиксировать передаваемые на экран осциллографа изображения сигналов от установленных в различных позициях тензорезисторов.

### **Механические приборы с устройством для записи виброграмм.**

Виброметры и вибрографы предназначены для измерения или записи линейных перемещений колеблющегося тела. Если величины амплитуды и частоты отсчитываются непосредственно по шкале прибора, то такие приборы называют виброметрами. Если колебательный процесс записывают прибором на бумагу фотопленку и так далее то такой прибор называют вибрографом.

Из числа механических приборов, записывающих виброграммы на бумажной ленте, при испытаниях строительных конструкций наиболее часто применяются вибрографы системы Гейгера, ручные вибрографы типа ВР и динамические прогибомеры.



**Ручной виброграф ВР - 1**

Царапанием воскового слоя на бумажной ленте, приводимой в движение часовым механизмом. Отметчик времени, наносит на ленте черточки с определенным интервалом и работает от сухой батарейки.

Корпус вибрографа выполняет роль инерционной массы.

При испытаниях прибор удерживается руками экспериментатора и не требует специальной подставки.

### **Электроизмерительные приборы.**

Электроизмерительная аппаратура, применяемая при динамических испытаниях строительных конструкций может быть двух типов: предназначенная только для измерения динамических процессов и универсальная (как для статических, так и для динамических). В настоящее время разработаны приборы, получившие название индуктивных и динамических прогибомеров, которые позволяют производить не только дистанционное измерение статических и динамических прогибов одновременно в нескольких точках, но и определять частоту и амплитуду колебаний конструкций.

Тензометрическая установка ТА – 5 обеспечивает измерения динамических процессов частотой от 0 до 1000 Гц одновременно в 4 точках при помощи тензодатчиков  $R=4000 \text{ Ом}$ . В установку входит четырехканальная тензостанция, приспособленная для тарирования и питающее устройство.

Использование электротензометрических приборов при динамических испытаниях требует обязательной регистрации их показаний, обычно осуществляемой при помощи магнитоэлектрических и катодных осциллографов.

При испытаниях чаще всего применяются магнитоэлектрические осциллографы (типа Н – 102, Н – 105, Н – 700, ОТ – 24 – 51 и другие) с записью колебаний на движущейся киноплёнке или фотобумаге. Составной частью их являются измерительные шлейфы или вибраторы.



Вибратор представляет собой вертикальную петлю из тонкой проволоки, на которой укреплено легкое зеркальце. Петля натягивается спиральной пружиной и помещается вместе с зеркальцем между полюсами подковообразного магнита. Для уменьшения собственных колебаний петли вся система, заключается в корпусе и заливается специальной жидкостью.

При испытаниях свободные концы петли присоединяются через измерительный мост электротензометрического прибора к проволочному тензодатчику, наклеенному на исследуемый элемент конструкции. При прохождении по петле тока вокруг нее создается переменное магнитное поле, которое при взаимодействии с постоянным магнитным полем магнита вызывает закручивание петли и поворот зеркальца. Величина поворота зеркальца пропорциональна силе тока в измерительной диагонали моста которая, в свою очередь, зависит от деформации подключенного датчика.

Конструкции магнитоэлектрических осциллографов позволяют на одной ленте записывать одновременно несколько осциллограмм, а такие регулировать скорость движения ленты в широких пределах.

### **Электронные осциллографы:**

В настоящее время для исследования динамических процессов начинают применяться электронные осциллографы, в которых визуализация процесса осуществляется при помощи электроннолучевой трубки. Принцип ее действия основан на способности некоторых веществ (сернистый цинк) под воздействием электронной бомбардировки. В трубке создается тонкий электронный луч, который попадая на экран, заставляет его светиться. Имеющийся в осциллографе генератор развертки заставляет луч перемещаться по экрану слева – направо. Исследуемый сигнал после соответствующего усиления вызывает отклонения луча по вертикали. Так создается видимое изображение сигнала.

Недавно нашей промышленностью освоен выпуск осциллографов с запоминающей трубкой. Эти осциллографы способны запоминать изображения однократно возникшего импульса, а затем его многократно воспроизводить.

## Лекция 11

# ПРОВЕДЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

### **А. Подготовительные работы.**

Динамические испытания в смысле приложения и снятия нагрузки менее трудоемки чем статические.

Однако при динамических испытаниях требуется обеспечение безотказного действия ряда механизмов и четкое соблюдение синхронности их включения и работы.

Разработка программы, предусматривающей все взаимосвязанные детали предстоящих испытаний, является поэтому первым и наиболее важным предварительным этапом.

Подготовительные работы – крепление конструкций, устройство подмостей и ограждений, подводка освещения к местам установки приборов – те же что и при статических испытаниях. Дополнительно необходимы: устройства для крепления вибрационных машин и приложения ударных нагрузок; амортизирующие прокладки, предохраняющие элементы сооружения от повреждений при ударах; устройства для искусственного возбуждения толчков при пропуске подвижной нагрузки и так далее.

Меры по технике безопасности должен предусматривать установки ограждений у механизмов, создающих динамические воздействия; при пропуске подвижной нагрузки на больших скоростях предусматривают меры для исключения возможности несчастных случаев.

### **Б. Размещение приборов и проведение испытаний.**

Приборы размещают в тех точках и сечениях, где наиболее отчетливо могут быть выявлены значения определяемых параметров. Так как при динамических испытаниях применяют довольно сложные приборы, то необходима возможность его перестановки.

Так же как и при статических испытаниях, наиболее ответственные измерения рекомендуется дублировать и применять для сопоставления результатов приборы различного принципа действия. Для анализа записи динамических процессов и сопоставления показаний, установленных в разных местах приборов, необходимо четко отмечать время измерения. Такие отметки синхронно наносятся на все диаграммы при замыкании слаботочной цепи, в которую должны быть включены регистрирующие устройства всех действующих приборов.

### **В. Испытания ударной нагрузкой.**

Ударные испытания просты, требуют минимальной подготовки и сравнительно несложного оборудования. Наиболее удобны ударные испытания для сравнительной оценки динамических характеристик однотипных конструкций, например свай, балок и плит перекрытий. Однако, чем массивнее исследуемые элементы, тем слабее сказывается на них действие удара, что требует применения более чувствительной аппаратуры или увеличения

силы удара, чем практически и ограничивается возможность применения данного метода испытаний.

#### **Определяемые характеристики:**

Частоту и интенсивность затухания собственных колебаний, возникших в результате удара, определяют путем обработки записанных виброграмм. Важно что значения рассматриваемых параметров не зависят от силы удара. Это дает возможность проверять и уточнять полученные данные путем повторной записи при дополнительных ударных воздействиях.

При ударных испытаниях могут быть исследованы также скорости распространения ударных волн, установлена форма колебаний, а также исследована чувствительность сооружения к действию ударов, например, для выявления возможности работы на данном объекте подлежащего установке прецизионного оборудования.

#### **Г. Испытания вибрационной нагрузкой:**

При испытаниях вибрационной нагрузкой в исследуемых конструкциях возбуждаются вынужденные колебания в широком диапазоне частот, включая зону резонанса.

Они позволяют наиболее полно и всесторонне выявить динамические характеристики обследуемых объектов.

#### **Определяемые характеристики:**

При вибрационных испытаниях получают «резонансные кривые» дающие значения измеренных величин (перемещений, деформаций и тому подобные) в функции частот возмущающих сил. При обработке этих кривых могут быть получены частоты собственных колебаний исследуемых элементов и интенсивность затухания возникших колебаний. Определение частот собственных колебаний можно производить даже без установки каких-либо измерительных приборов на самом объекте, поскольку момент резонанса м.б. четко выявлен по положению «пики» на кривой расхода энергии вибрации машин.

#### **Д. Испытание эксплуатационной нагрузкой:**

Основное преимущество этих испытаний – возможность получения данных о действительной работе как всего сооружения в целом, так и отдельных его элементов в эксплуатационных условиях. В случае, когда исследуемое сооружение уже эксплуатировалось или полностью подготовлено к использованию, такие испытания не требуют сколько – ни будь сложной подготовки и могут быть выполнены в кратчайшие сроки.

К недостаткам таких испытаний относятся:

- 1) многообразие, а в ряде случаев и неопределенность возникающих силовых воздействий и трудность выделения влияния отдельных факторов;
- 2) затруднительность, а иногда и практическая невозможность повторения испытаний с точным воспроизведением тех же условий загрузки, например, при повторных пропусках безрельсового транспорта.

При испытании эксплуатационной нагрузкой определяют следующие характеристики:

а) значения перемещений, деформаций и усилий, возникающих в элементах сооружения под действием эксплуатационной нагрузки;

б) частоту собственных колебаний по наступлению состояния резонанса и по частоте затухающих собственных колебаний, возникающих после резкого выключения или остановки действия нагрузок;

в) недопустимые (то есть вызывающие чрезмерные перемещения, деформации и напряжения) режимы работы установленного оборудования или скорости пропуска подвижной нагрузки.

#### **Особенности испытаний эксплуатационной нагрузкой:**

При исследовании динамических воздействий от стационарно установленного оборудования необходимо, кроме наблюдений при нормативном режиме его работы, проведение таких же измерений при тяжелых условиях: ускоренном пуске, резком торможении и так далее.

При испытаниях подвижной нагрузкой должны быть предусмотрены: наименее выгодное расположение пропускаемой нагрузки, критические ее скорости, резкое торможение и так далее.

При пропуске безрельсового транспорта должны быть, кроме того, воспроизведены вертикальные удары, возможные при наличии неровностей полотна, и горизонтальные воздействия при резком изменении направления движения машин.

#### **Обработка результатов испытаний:**

Обработка результатов складывается из двух основных операций:

- 1) общего анализа исследуемых процессов;
- 2) установление численных значений параметров, характеризующих эти процессы.

Подлежащие обработке экспериментальные данные могут при этом иметь форму графиков, записанных приборами, как правило, в функции времени, и дискретных (непрерывных во времени) цифровых отсчетов или различным образом зафиксированных отметок.

Графики, построения в функции времени, являются наиболее удобной и наглядной формой при исследовании нестационарных, то есть изменяющихся во времени процессов. При стационарных процессах графики не столь обязательны и могут быть замерены рядом дискретных измерений.

#### **Этапы обработки:**

1) зарегистрированные сложные процессы разделяют на более простые составляющие. Так, например, колебания любых сложных очертаний приемами гармонического анализа могут быть представлены в виде сумм простых гармонических колебаний;

2) определяют численные значения параметров, характеризующих исследуемые процессы;

3) полученные данные в случае необходимости подвергаются дальнейшей обработке (путем дифференцирования и интегрирования по измеренным перемещениям определяют скорости и ускорения и тому подобное);

4) на основании произведенной обработки дают общую оценку динамической работы исследуемого объекта.

#### **Способы проведения обработки:**

Обработка получаемой информации полностью или частично автоматизирована. Для этой цели применяются специальные приборы и их комплексы.

Результаты измерений можно переносить на магнитные носители для дальнейшей обработки их на ЭВМ. Возможна также передача электрических сигналов от измерительных приборов непосредственно на вычислительные машины.

#### **Графики динамических процессов:**

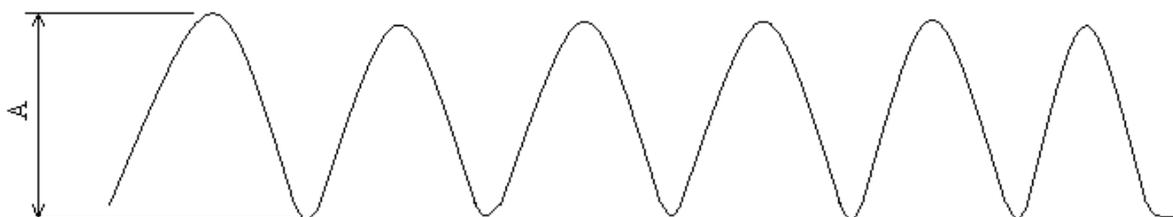
Графики, построенные в функции времени, являются наиболее распространенным видом документации динамических испытаний. Механические приборы вычерчивают лишь одну диаграмму. Для определения масштаба времени необходимы отметки времени. При записях, выполняемых с помощью осциллографов, на их движущейся фотоленте может одновременно фиксироваться ряд диаграмм (до 24). Показания группы приборов на одной ленте дают возможность надежно увязать полученные данные во времени.

Для определения масштаба времени может быть использована одна из записей колебания со строго заданной частотой; применяются также отметки времени в виде поперечных линий, засвечиваемых на фотоленте.

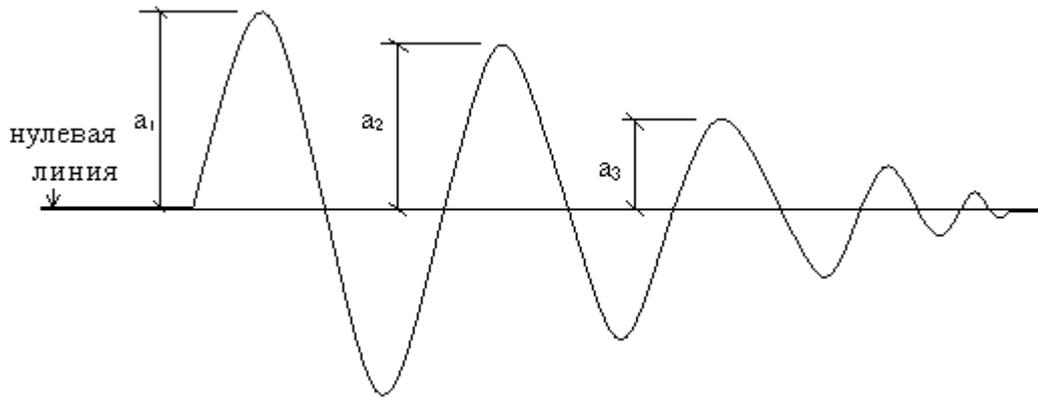
#### **Определение параметров колебательных процессов:**

##### *А. Определение размахов и амплитуд колебаний.*

При заданном масштабе измерений размах определяется как разность значений экстремальных ординат колебаний за рассматриваемый период.



Для измерения амплитуд до начала испытаний на графике должна быть нанесена «нулевая линия», соответствующая показанию прибора в состоянии равновесия; после окончания испытания она должна быть нанесена для проверки.



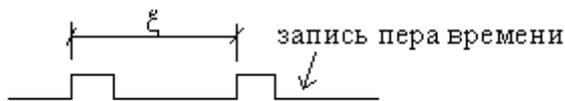
На графиках значительной длины положение нулевой линии окончательно устанавливают при анализе диаграммы.

Для автоматизации трудоемких измерений, связанных с ручной обработкой графиков, имеются так называемые «очислители» виброграмм, где замеры ординат производятся с помощью чувствительных фотоэлементов с автоматическим точным приведением к середине толщины линии записи.

Результаты измерений получают в виде дискретных отсчетов на лентах для дальнейшей обработки их на ЭВМ.

*Б. Измерение периодов колебаний:*

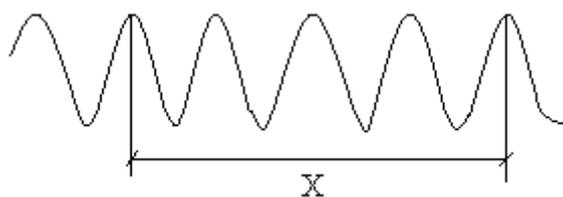
При заданном масштабе времени определение периодов колебаний не представляет затруднений. При наличии строго стабильного режима для уменьшения погрешностей измерения вдоль оси абсцисс целесообразно производить на участке, включающем несколько циклов колебаний, с вычислением по полученному результату продолжительности одного периода.



$\xi$  – расстояние между записанными отметками времени при заданном интервале в  $\tau$  с;

$x$  – замеренная на графике длина записи  $\eta$  полных колебаний;

тогда 
$$T = \frac{x}{\eta \cdot \xi} \cdot \tau (\text{с}).$$



*В. Переход от перемещений к скоростям и ускорениям и обратно:*

Перемещение, скорости и ускорения связаны между собой дифференциальными зависимостями.

Операции перехода могут быть выполнены графически, путем аналитической обработки и с применением приборов.

Наиболее простым является случай установившихся гармонических колебаний с амплитудой  $a$  и частотой  $\omega$  описываемых уравнением:

$$y = -a \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t.$$

Переход от измеренных амплитуд к максимальным ускорениям может быть выполнен путем простейшего пересчета, поскольку ускорения

$$\ddot{y} = -a \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t ,$$

тогда  $|\max \dot{y}| = a \cdot \omega^2$

Аналогично для определения максимальной скорости получим

$$|\max \dot{y}| = a \cdot \omega .$$

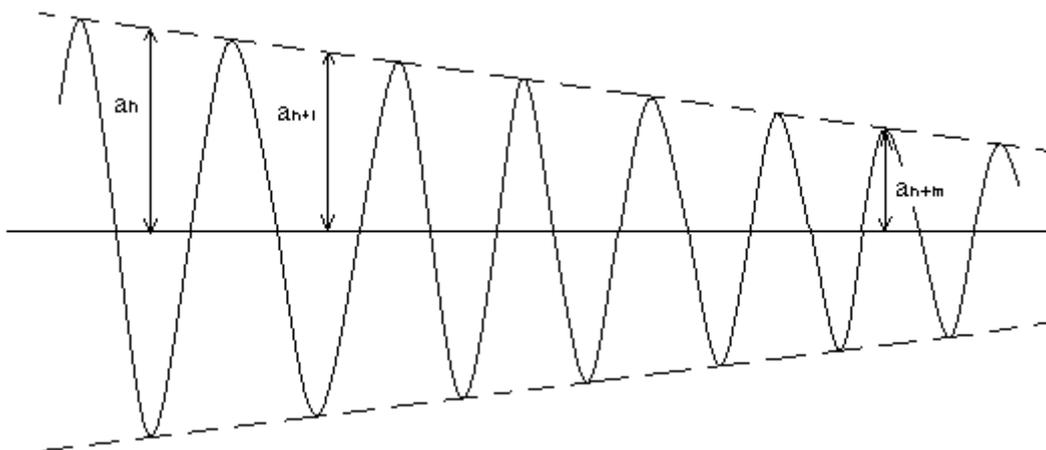
*Г. Определение коэффициента поглощения:*

а) определение  $\psi$  по затуханию свободных колебаний:

При наличии развернутого во времени графика затухающих колебаний получаем:

$$\psi = 2 \cdot \delta ,$$

где  $\delta = \ln \frac{a_n}{a_{n+1}}$



**Затруднение этого метода:**

1) Затухание колебаний идет медленно и  $a_n \approx a_{n+1}$  поэтому берут более отдаленную амплитуду:

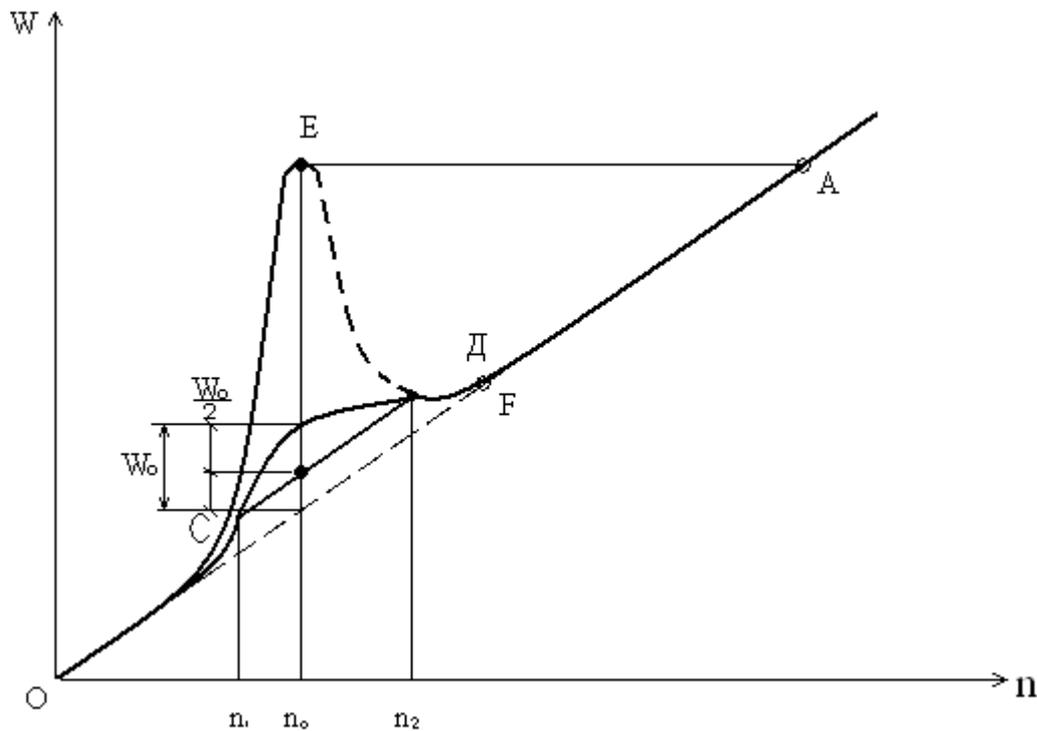
$$\delta = \frac{1}{m} \ln \frac{a_n}{a_{n+m}} .$$

2) Значение  $\delta$  не остаются строго стабильными по длине диаграммы. Декремент колебаний поэтому определяют не для одного, а для нескольких участков по длине графика участка с отнесением получаемых значений  $\delta$  к середине каждого участка. По полученным данным строят затем графики, представляющие зависимость  $\psi$  от амплитуды динамических колебаний.

3) Способ трудно применим при сложном очертании диаграммы обусловленном наложением друг на друга затухающих колебаний разных частот. В таких случаях целесообразно определять  $\psi$  по резонансным кривым.

б) Определение  $\psi$  по резонансным кривым.

1) по кривой расхода мощности при резонансе



Кривая расхода энергии  $W$  при работе центробежных вибрационных машин для двух значений  $\psi$ . Начальный и конечный участки этих кривых соединен пунктирной линией  $OA$ , выделяющей очертание пика резонанса.

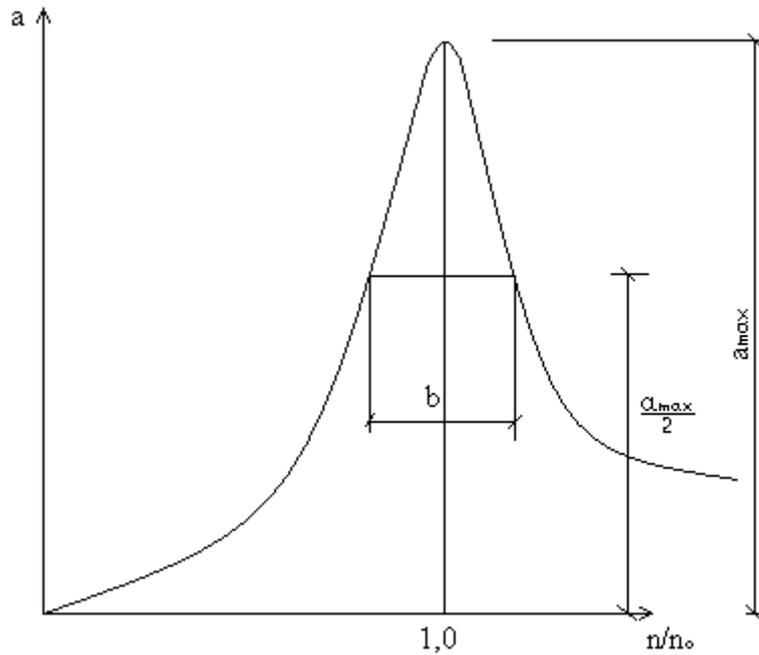
$$\psi = \pi \frac{n_2 - n_1}{n_0} .$$

где  $n_0$  – резонансная частота;

$\begin{cases} n_1 \\ n_2 \end{cases}$  – частоты точек  $C$  и  $D$  резонансной кривой, лежащих на пересечении

этой кривой с отрезком  $CD$ , проведенным параллельно  $OA$  через середину высоты  $W_0$  пика резонанса.

2) Определение  $\psi$  по ширине резонансного амплитудного пика.



(Отношения частоты оборотов машин к резонансной частоте)

$$\psi = \frac{2\pi}{\sqrt{3}} b \cdot (1 - b^2)^2,$$

где  $b$  – измеренная по графику ширина петли резонанса на половине ее высоты.

#### Определение формы колебаний:

Для выявления формы колебаний необходима одновременная запись динамических перемещений в ряде точек колеблющейся системы с дальнейшим графическим анализом полученных колебаний.

Иногда необходимо знать приведенные массы:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

где  $k$  – коэффициент жесткости.

Инерционные силы определяют соотношением

$$Q_{ин} = -m \cdot \ddot{y},$$

$\ddot{y}$  – могут быть найдены по обработке виброграмм.

Динамические напряжения  $\sigma_{дин}$  могут быть найдены экспериментальным путем по действующим динамическим нагрузкам и значениям инерционных сил.

Полученные значения  $\sigma_{дин}$  в пределах упругой работы могут быть получены по показаниям тензорезисторов и других приборов если известен  $E_{дин}$ .

#### Оценка и использование результатов динамических испытаний.

Наиболее полное представление об условиях работы исследованной конструкции дает сопоставление экспериментально определенных значений

динамических параметров (частот колебаний, значений перемещений, деформаций и так далее) с соответствующими им теоретическими при условии, что в расчетах отражены необходимые данные, характеризующие фактическое состояние проверяемого объекта.

При наличии нормативных требований, например, в отношении значений параметров вибраций, не препятствующих работе прецизионных станков, и так далее полученные фактические значения не должны превосходить допускаемых.

Экспериментально определенные частоты свободных колебаний элементов конструкций позволяют уточнять требования к режиму эксплуатации для предупреждения возможности резонанса. Если же резонанс и связанные с ним нежелательные явления уже имеют место, то полученные данные о частотах собственных колебаний используют при разработке необходимых защитных мер.

При динамических испытаниях однотипных конструкций и элементов сопоставление частоты и интенсивности затухания колебаний позволяет давать сравнительную оценку состоянию и работоспособности объектов.

Проведение через определенные интервалы времени повторных испытаний одного и того же сооружения для сопоставления динамических характеристик позволяет (по уменьшению частоты собственных колебаний, ускорению затуханий колебаний, изменению очертаний пика резонанса) давать объективную оценку изменению состоянию исследуемого сооружения. Такая возможность не требует больших затрат времени и труда и является одной из ценных особенностей динамических испытаний.

## Лекция 12

### ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА И ДЕФЕКТОСКОПИЯ МАТЕРИАЛА

Проверки подлежат главные параметры, характеризующие родом материала и соединений и условиями их работы. Выполняемые при этом операции распадаются на следующие группы:

- 1) определение физико-механических характеристик;
- 2) дефектоскопия материалов и соединений;
- 3) толщинометрия;
- 4) химический состав и структура материала.

В результате измерений устанавливается «марка» материала, то есть оцениваются фактические физико-механические характеристики материала в данном сооружении и проверяется состояние материала и соединений и соответствия их требованиям эксплуатации. По способу проведения необходимых исследований и измерений применяемые методы могут быть отнесены к следующим группам:

- 1) способы, связанные с взятием образцов (нарушение сплошности);
- 2) неразрушающие методы;
- 3) промежуточные способы (не требующие выемки образцов, но оставляющие вмятины).

#### **А. Отбор образцов:**

Отбор образцов ведёт к ослаблению сечения конструкции; если в массивных бетонных элементах эти отверстия можно заделать, то в металле нет. Поэтому естественно стремление их брать с менее ответственных элементов и ограничению числа отбираемых проб. Однако этим нарушается основная цель взятия образцов (оценка работы материала именно в ответственных элементах конструкций), иногда необходимо взять пробы из десятков и сотен точек конструкции.

Несмотря на все недостатки отбор проб всё же продолжает осуществляться.

#### *а) взятие образцов из металлических конструкций.*

Обычно берутся огневой резкой. Важно, чтобы остаточные напряжения сварки у вновь наносимых швов заполняющих отверстия накладок не ухудшали условий работы элементов и не создавали бы возможности появления в них хрупких трещин.

#### *б) Отбор образцов бетона:*

Для бетона необходимы образцы больше, чем для металла.

По ГОСТ 10180-67 куб должен быть не менее 70,7×70,7×70,7 мм. Испытание на изгиб балочки – 100×100×400 мм. Такие образцы могут быть взяты лишь из массивных бетонных и ж/б конструкций и блоков. В других случаях прибегают к испытаниям нестандартных образцов с размерами, обусловленными сечениями исследуемых элементов.

Наилучшим способом отбора образцов из бетона является высверливание бетонных цилиндров с помощью алмазных коронок. Пустоты после взятия образцов желательно сразу же заполнять безусадочным цементом.

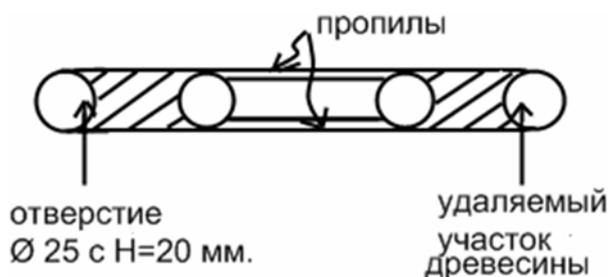
Необходимо считаться с изменением характеристик бетона во времени, при испытании взятых образцов (скорейшее испытание)

в) *Взятие образцов древесины:*

В деревянных конструкциях вырезка образцов для лабораторной проверки физико-механических характеристик, как правило, нецелесообразна. Если же пробы все таки будут взяты, то необходимо предохранять их от изменения влажности. Места вырезки образцов должны быть надежно заделаны вставками на клею, накладками и если нужно антисептированы.

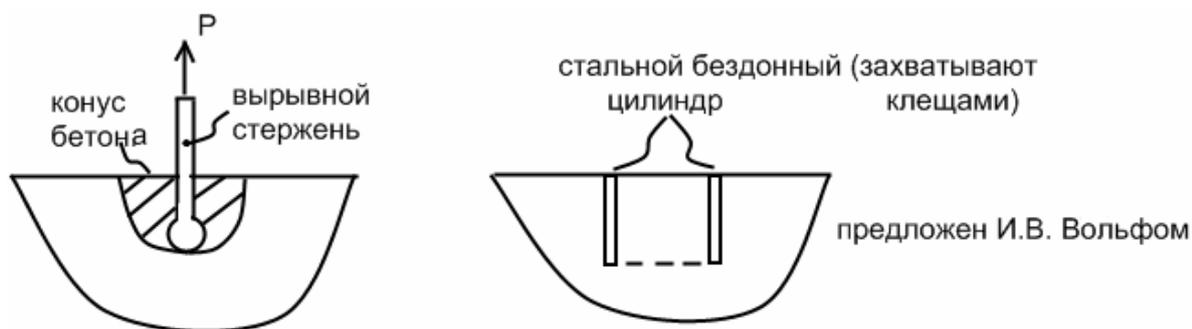
### **Испытание материала непосредственно в конструкции.**

1) испытание древесины на срез



При помощи рычажного приспособления, производится скол и измеряется усилие скола. Разделив усилие скола на площадь скола находим сопротивление древесины срезу.

2) испытание бетона на срез и отрыв в конструкции.



Эти способы, уступая по своей эффективности далее рассматриваемым широкого применения не получили.

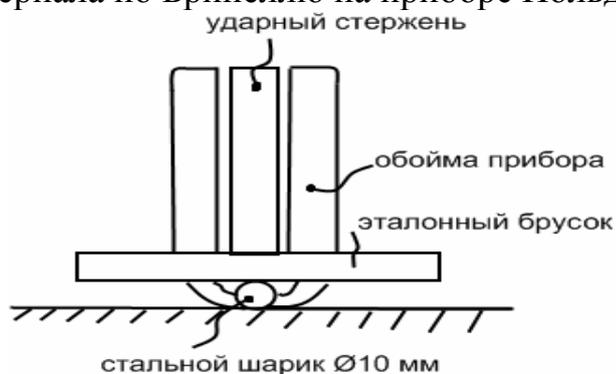
### **Оценка прочности материала по механическим характеристикам его поверхностного слоя.**

Перенесен в строительство из металловедения («пробы на твердость»). Испытание путем вдавливания в поверхность конструкции стального шарика или алмаза ( по Бринеллю, Роквеллу, Виккерсу); измерения по упругому отскоку падающего шарика (по Шору). Полученные при этом данные

переводятся в прочностные характеристики металла по эмпирическим формулам или с применением соответствующих графиков и таблиц.

*а) оценка прочности металла.*

Твердость материала по Бринеллю на приборе Польди:



$$HB = HB_{\text{эт}} \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{\text{эт}}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d^2}}$$

$HB_{\text{эт}}$  – твердость эталонного бруска.

$D$  – диаметр шарика;

$d_{\text{эт}}$  – отпечаток на эталоне (диаметр);

$d$  – диаметр отпечатка на материале.

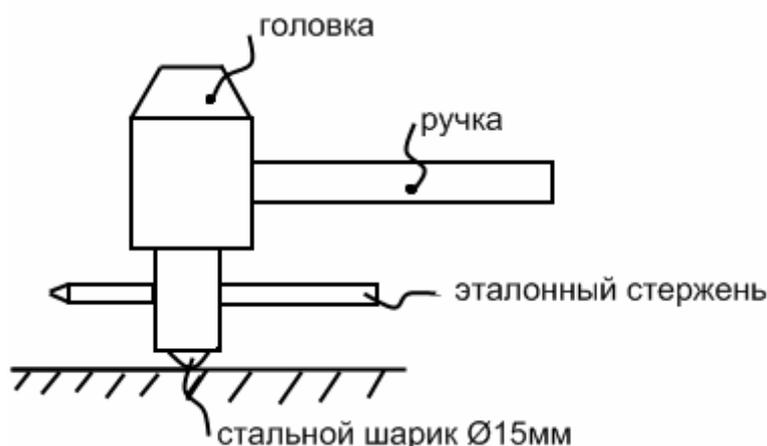
Определение прочности по НВ производится по специальным таблицам.

*б) оценка прочности бетона:*

Здесь приходится учитывать:

- 1) большой разброс результатов испытаний на твердость;
- 2) возможная карбонизация поверхностного слоя, повышающая показатели; увлажнение поверхности – снижающее показатели;
- 3) возможность расхождения прочностных характеристик на поверхности и в глубине массивов.

А. Эталонный молоток К.П. Кашкарова.



Принцип действия аналогичен прибору Польди.

Определяют  $d_6/d_{эт}$ , а по нему оценивают прочность бетона.

Молоток рекомендуется для оценки отпускной прочности бетонных изделий на заводах Ж.Б.И.; прочности бетона при передаче напряжения арматуры на бетон; коэффициента изменчивости прочности бетона в изделиях и конструкциях (при освидетельствовании сооружений).

Б. Оценка прочности древесины.

а) *метод ударных отпечатков* (А.Х. Певцова)

О прочности судят по диаметру отпечатка при падении стального шарика диаметром 25мм с высоты 50см со специальной подставки. Затем переход к прочности осуществляют по специальным экспериментальным кривым.

б) *способ стрельбы* (предложен К.П. Кашкаровым).

Стреляют со специальной подставки на расстоянии 10см из малокалиберной винтовки. Глубина погружения пули определяется электрозондом (от влажности не зависит).

При освидетельствовании нередко встаёт необходимость взятия повторных образцов для определения характеристик материала и выяснения влияния времени и условия эксплуатации на эти характеристики.

При взятии образцов, связанном с нарушением сплошности возвращение к той же точке исключено. Механическое испытание поверхностного слоя вблизи первоначальных точек после нежелательно. Поэтому переходят к неразрушающим методам оценки.

**Преимущества их:**

а) возможность быстрого выполнения измерений в любом количестве точек конструкций;

б) отсутствие необходимости в нарушениях сплошности и повреждении поверхности;

в) возможность получения всевозможных данных о качестве и состоянии материала;

г) возможность неоднократного повторения измерений.

**Особенности затрудняющие их применения.**

1. Неизбежность сужения об определяемых параметрах по «косвенным» физическим показателям. (зависимость между параметром измеряемым и переводным носит корреляционный характер).

2. Применение неразрушающих методов контроля требует соответствующей, часто довольно сложной, аппаратуры (высокая квалификация).

**По физическим принципам различают следующие неразрушающие методы:**

а) акустические;

б) ионизирующее излучение;

в) магнитные, электромагнитные и электрические;

г) при помощи проникающих сред (жидких и газообразных).

### 1. Акустические методы

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

Колебания могут быть: ультразвуковые методы ( $\omega =$  от 20 тыс. Гц и выше), звуковые (от 20 до 20 тыс. Гц), инфразвуковые (до 20 Гц).

### 2. Ультразвуковые методы

Для возбуждения ультразвуковых волн на поверхность исследуемого материала устанавливают преобразователи электротока в механические колебания. Чаще всего они действуют по принципу пьезоэффекта. Поскольку воздушные прослойки препятствуют передаче и приёму ультразвуковых колебаний, между преобразователями и исследуемым материалом наносят контактирующую среду; для металла применяют обычно минеральное масло; для бетона и других материалов с неровной поверхностью необходимы – солидол, технический вазелин, эпоксидные смолы.

Ультразвуковые колебания могут быть введены в исследуемую среду узким направленным пучком-«лучом». Они переходя из одной среды в другую преломляются, а также отражаются от граней, разделяющих эти среды. В воздушных прослойках – почти полностью затухают.

Скорость распространения волн является одним из основных показателей при оценке физико-механических характеристик и состояния бетона, древесины и других материалов с переменной плотностью и влажностью.

По характеру излучения необходимо отметить:

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

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

### Применение ультразвуковых методов:

$$v = \sqrt{\frac{E_{\text{дин}}}{\rho}},$$

$\rho$  – плотность материала

$E_{\text{дин}}$  – динамический модуль упругости

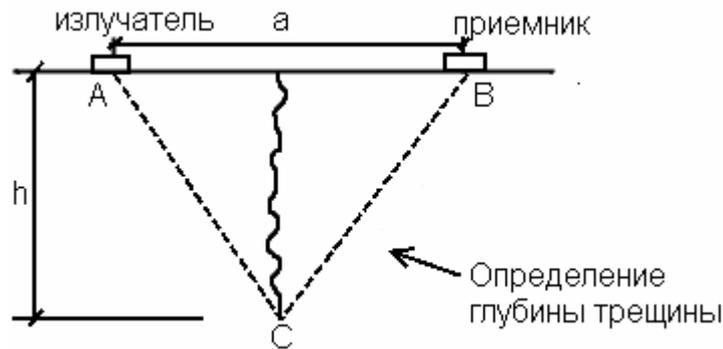
$v$  – скорость распространения звуковых волн

Применяется для определения толщины при одностороннем доступе.

Дойдя до противоположной грани элемента волна отражается и идет в обратном направлении.

$$h = \frac{V}{2f};$$

( $f$  – резонансная частота).



$$t_h = \frac{\sqrt{4h^2 + a^2}}{V},$$

откуда время, затраченное на путь ACB

$$h = \frac{V}{2} \sqrt{t_h^2 - \left(\frac{a}{v}\right)^2}.$$

Другие практические области применения ультразвуковых методов:  
*в бетоне:*

- а) определение прочности бетона (ГОСТ 17624–72);
- б) контроль однородности бетона;
- в) выявление и исследование дефектов в бетоне;
- г) определение толщины верхнего ослабленного слоя бетона;

*в металле:*

- а) импульсная дефектоскопия швов;
- б) дефектоскопия основного металла;
- в) толщинометрия;

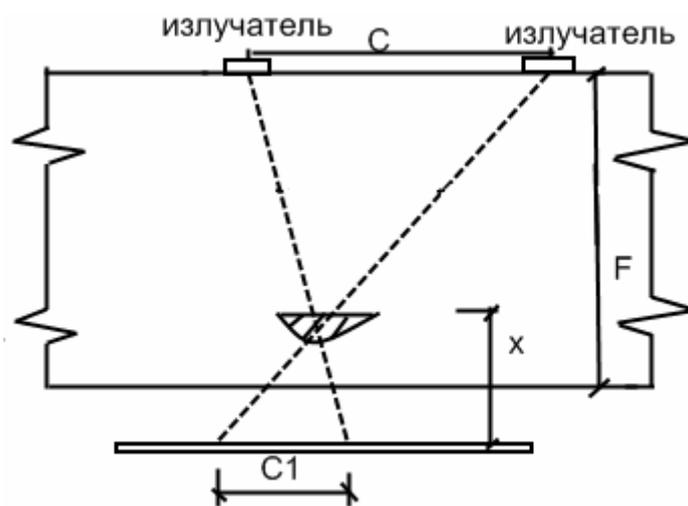
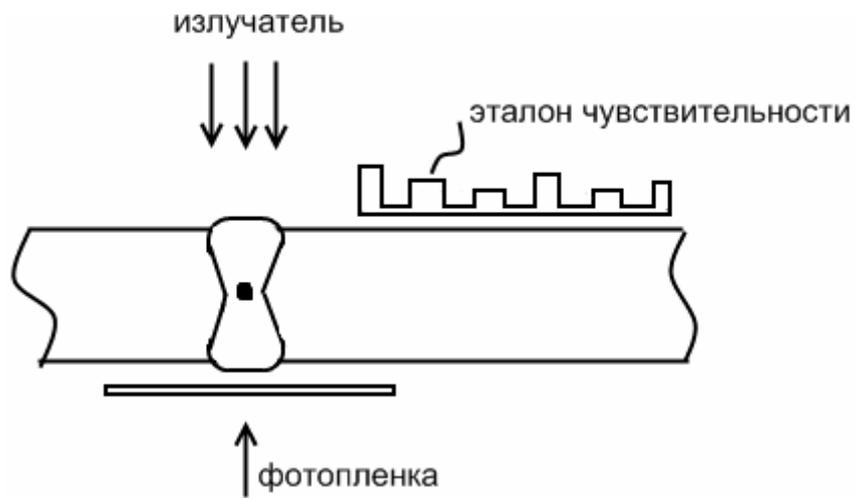
*в дереве:*

- а) проверка физико-механических характеристик, проверка качества и дефектоскопия основного материала;
- б) дефектоскопия клеевых соединений и стыков.

**Ионизирующие излучения:**

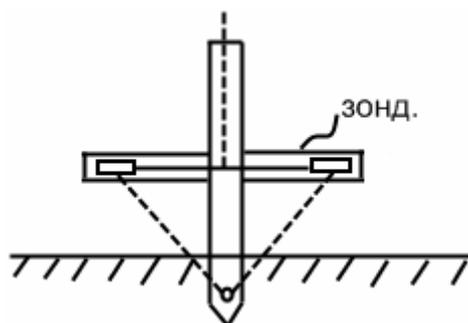
рентгеновские лучи, гамма-излучение, поток нейтронов.

В металлических конструкциях производят дефектоскопию сварных соединений (по ГОСТ 7512–69).

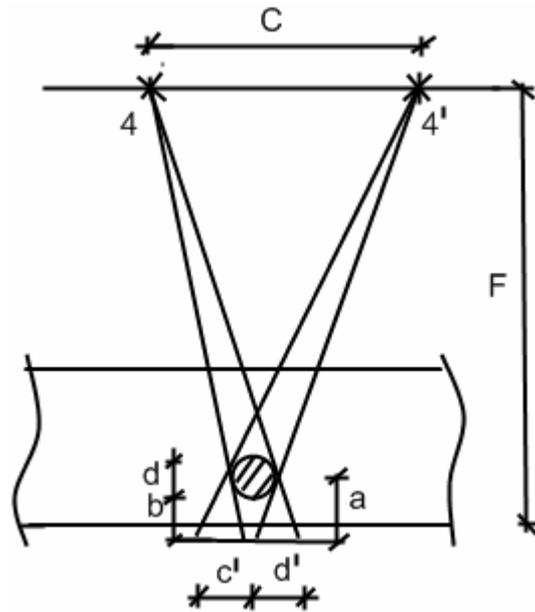


где  $x = \frac{cF}{c + c_1}$ .

В бетоне и железобетоне определяют:



- а) плотность (по ГОСТ 17623–72);
- б) контроль однородности и дефектоскопию бетона;
- в) определение положения и диаметра арматуры и толщины защитного слоя.



где  $d = d' \frac{c}{c + c'}$ ;

$$e = F \frac{c}{c + c'} - \frac{d}{2}.$$

### **Магнитные, электрические и электромагнитные методы:**

Сущность методов заключается в том, что магнитный поток, проходящий в металле и пересекающий трещины или другие дефекты, встречает большое магнитное сопротивление в виде прослойки воздуха или неферромагнитного включения и силовые линии, искривляясь, выходят на поверхность, что обуславливает возникновение местных потоков рассеяния.

Намагничивание производят с помощью электромагнитов с использованием индукционных токов, циркулярным намагничиванием и т.д.

Выявление дефектов производится:

- а) порошковым методом (железный сурик, окалина и т.д.);
- б) магнитографический метод (например в трубопроводах намагничивают соленоидами и накладывают магнитную ленту).

С помощью магнитных и электромагнитных приборов толщина элементов из ферромагнитных металлов определяется использованием зависимости между регистрируемой величиной магнитного потока и толщиной исследуемого материала.

Магнитные характеристики ферромагнитных материалов меняются при изменении их напряжённого состояния. На этом принципе основаны приборы для определения напряжений.

### **Определение влажности древесины:**

По замеренному  $R_{om}$  (сопротивлению) можно судить о состоянии материала в конструкции, пользуясь соответствующими зависимостями между электропроводностью и влажностью.

Игольчатые электроды заглубляют в древесину на  $5\div 10$  мм и снимают отсчёт  $R_{ом}$ .

**Контроль проникающими жидкостями и газами.**

а) *контроль герметичности соединений;*

1) испытание водой (1 атм.);

2) проба керосином (мелкая вязкость и поверхностное натяжение керосина);

3) проба сжатым воздухом (4 атм.);

4) проба вакуумом.

б) *выявление трещин, выходящих на поверхность.*

**Другие неразрушающие методы контроля:**

а) *радиоволновый метод:*

используется спектр частот санти- и миллиметрового диапазона – эффективно при контроле пластмасс, дерева, бетона и т.д.

б) *тепловые методы:*

регистрируются:

1) инфракрасное излучение от внешнего источника, отражённое от исследуемого материала или прошедшее через него;

2) местные отклонения собственных инфракрасных излучений поверхности проверяемого нагретого элемента.

## Лекция 13

# КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

### **Общие требования.**

Важным моментом в условиях строительного производства является контроль качества.

Совершенствование конструктивных форм, применение различных материалов, увеличение нагрузок, широкое применение индустриальных методов возведения зданий, а также работы непосредственно на строительной площадке (замоноличивание и заделка стыков, выполнение скрытых работ, сварочные работы) требуют их повседневного и тщательного контроля.

Поэтому контроль качества должен производиться на всех стадиях – проектирования, изготовления материалов и изделий строительства и эксплуатации жилых, промышленных, гражданских и других зданий и сооружений с тем, чтобы не допускались отклонения от требований действующих норм; стандартов, технических условий, своевременно выявлялись и устранялись дефекты, отклонения, ошибки и нарушения, обеспечивались надежность и долговечность конструкций и сооружений.

Контроль за состоянием конструкций приходится выполнять и в тех сооружениях, которые возводились по старым техническим правилам и условиям. При этом надо располагать данными о прочности материалов и действующих на конструкции нагрузках.

Работники проектных институтов, строительных и производственных лабораторий, ОТК осуществляют все виды контроля качества исходных материалов, изделий и конструкций.

Контроль качества в строительстве состоит из следующих видов деятельности:

1. Проверка соответствия стандартам, техническим паспортам, сертификатам поступающих на строительство материалов, конструкций и изделий; бетонных смесей, строительных растворов, арматурной стали, вяжущих веществ, заполнителей, подборы составов бетона, раствора, водоцементных, антикоррозионных составов, антисептиков и других материалов; выдача разрешений на их применение

2. Контроль за дозированием и приготовлением бетонов и растворов, мастик, лакокрасочных составов на централизованных и построечных установках.

3. Контроль за соблюдением правил транспортирования, разгрузки и хранения на приобъектных складах строительных материалов, конструкций и изделий.

4. Отбор проб затвердевшего раствора из швов кирпичных и полносборных зданий и сооружений для контроля оценки прочности. Отбор проб смесей бетона и раствора для изготовления контрольных образцов, наблюдение за их состоянием и испытания в установленные сроки.

5. Испытание сварных соединений; проверка соответствия и качества электродов выборочный контроль режимов сварки, проверка качества сварки закладных деталей.

6. Определение фактической прочности бетона в конструкциях и сооружения, сравнительная оценка прочности в кубах и конструкциях.

7. Отбор проб кирпича для стандартных испытаний, ориентировочная оценка прочности кирпича в кладке.

8. Проверка прочности сцепления штукатурки с основанием.

9. Проверка качества гидроизоляции.

10. Контроль глубины промерзания грунта, его влажности, пористости, плотности; установление уровня расположения грунтовых вод.

11. Химический анализ грунтовых вод с целью определения степени их агрессивности – наблюдения за состоянием возводимых в осеннее-зимний период зданий и отдельных конструкций при оттепелях и весеннем оттаивании.

12. Установление степени коррозии металлических конструкций.

13. Установление характера поражения древесины в образцах и в натуре.

14. Установка маяков на трещины при деформациях и ведение журнала наблюдения за ними.

15. Участие в комиссиях по обследованию сооружений при возникновении аварийных ситуаций или разборке причин аварий.

16. Ведение технической лабораторной документации, наблюдения за температурной, осадками, состоянием лабораторного оборудования, приборов, аппаратуры, измерительного инструмента и приспособлений.

### **Организация контроля качества строительных и монтажных работ.**

Качество здесь определяется прочностными показателями возводимых сооружений, соответствиях реальных размеров проектным, тщательностью отделки. качество СМР определяется по результатам производственного контроля и оценивается в соответствии со специальной инструкцией по оценке качества работ. При производстве работ предусмотрели три стадии контроля: входной, операционный и приемочный.

Входному контролю подвергаются все конструкции и материалы. Проверяется соответствие их качества требованиям нормативной документации, а также наличие необходимых сертификатов на металлические конструкции и паспортов на железобетонные конструкции. Проверка необходима для выявления дефектов при изготовлении и перевозке.

Целью операционного контроля – выявление недостатков при проведении строительно-монтажных работ и устранение их. Он включает в себя систематический контроль за ходом работ и промежуточный контроль при сдаче-приемке скрытых работ. Контроль за качеством строительно-монтажных работ позволяет установить соответствие их выполнению проекту про-

изводства работ, а также существующим правилам и инструкциям. Он охватывает: разгрузку конструкций и материалов, их хранение и непосредственное использование в процессе строительства. Внесение изменений в проект производства работ должно быть согласовано с организацией его разработавшей. Существенную роль при проверке размеров сооружения и положения конструкций ( в плане и по высоте) играет геодезический контроль монтажных работ.

Для повышения качества монтажных работ разрабатываются и внедряются операционные системы управления качеством монтажных работ. Составной частью системы являются типовые схемы операционного контроля качества (СОКК) монтажа конструкций различных сооружений. Она содержит инструктивный материал, позволяющий оценить качество монтажных работ, выполненных бригадой, звеном, отдельным рабочим, а также на объекте в целом.

Промежуточная сдача – приемка работ необходима для контроля качества скрытых работ, которые не могут быть проведены при последующих операциях. При монтаже конструкций зданий промежуточной сдаче – приемке подлежат: основания до монтажа фундаментов; фундаменты до обратной засыпки; установка и стыковка арматуры перед бетонированием; стыки до замоноличивания; опоры и места опирания конструкций; сварка выпусков арматуры и закладных деталей; защита металлических деталей от коррозий; заделка и герметизация стыков и швов; монтажные стыки металлических конструкций; поверхности стыковых элементов в узлах, соединяемых высокопрочными болтами.

По существующим правилам ряд сооружений перед сдачей должен быть подвергнут испытаниям (цилиндрических резервуаров – на герметичность, корпуса – на прочность и плотность; объекты доменных цехов – на прочность и плотность, тросовые отметки – на прочность). Программа таких испытаний устанавливается согласно специальным нормативным документам и требованиям проекта. результаты испытаний оформляются в виде актов аналогично промежуточной приемке скрытых работ. Сдача приемка объекта осуществляется после окончания строительно-монтажных работ. Исполнители еще раз проверяют качество всех выполненных работ и проводят геодезический контроль всего сооружения. Для окончательной сдачи смонтированных строительных конструкций необходима следующая документация: рабочие чертежи смонтированных конструкций с нанесенными на них в процессе монтажа отклонениями от проекта, согласованными с проектными организациями; заводские сертификаты или паспорта; документы удостоверяющие качество примененных на монтаже материалов; документы лабораторных анализов при сварке и при замоноличивании стыков; опись удостоверений о квалификации сварщиков; материалы геодезического контроля; акты на скрытые работы; акты на проведение испытаний

конструкций журналы монтажных и сварочных работ; ведомости замеренных предварительных напряжений для преднапряженных в процессе монтажа конструкций.

Приемка всех вводимых в эксплуатацию сооружений осуществляется в две стадии: приемка рабочей комиссией; приемка государственной комиссией.

В состав рабочей комиссии, организуемой заказчиком, входят: представитель заказчика, представители генерального подрядчика, субподрядных организаций, технической инспекции советов профсоюзов, профорганизации заказчика, органов санитарного и пожарного надзора. Рабочая комиссия проверяет всю документацию, которая затем предъявляется государственной комиссии.

Эта комиссия определяет соответствие данных, изложенных в документах, фактически выполненным работам; производит дополнительные испытания; проверяет отдельные скрытые работы и их соответствие актам. После ликвидации всех недоделок, вставленных рабочей комиссией, заказчик организует сдачу построенного сооружения государственной комиссии. Представители ГАСКа проверяют полноту и правильность всей технической и юридической документации, а также проводят предварительный осмотр сооружения, на основании чего составляется документ о возможности назначения государственной приемочной комиссией.

Она обязана определить соответствие объекта утвержденному проекту и правилам технической эксплуатации; готовность объекта к сдаче в эксплуатацию и соответствие стоимости строительства утвержденным сметам.

По результатам своей работы государственная комиссия выносит решение о возможности ввода объекта в эксплуатацию и составляет акт, в котором дается оценка качества работ, а также записываются замечания и указания об отклонении от проекта, норм и технических условий, не препятствующих нормальной эксплуатации сооружения. Качество законченного объекта зависит во многом от системы контроля качества при его возведении.

Контроль за качеством строительства осуществляют: инженерно-технический персоналстроек; технический надзор заказчика; авторский надзор проектной организации; ГАСК; банки, финансирующие строительство; государственная санитарная инспекция и государственный пожарный надзор; техническая инспекция министерств и ведомств, органы охраны и труда и МЧС.

Инженерно-технический персоналстроек обязан вести входной, операционный и приемочный контроль, обращая внимание на соответствие качества работ требованиям СНиП, и нормативных документов, особенно за качеством скрытых работ.

Технический надзор со стороны заказчика (сотрудник отдела капитального строительства) осуществляется следующим образом:

– проверяется наличие и содержание сопроводительной документации на материалы и конструкции;

– не допускается применение материалов и изделий не соответствующих требованиям ГОСТ и нормативной документации, а также дорогих материалов (больше по стоимости чем в смете);

– ведет повседневный контроль за ходом выполнения и качеством работ; контролирует соответствие этих работ проекту и требованиям СНиП;

– участвует в отборе образцов и материалов для испытаний, знакомится с методикой и результатами испытаний;

– участвовать в освидетельствовании скрытых работ и не допускать производства следующих работ до подписания акта на скрытые работы;

– контролировать правильность ведения документации, отражающей все отступления от проекта, дефекты и нарушения Т.У. при производстве работ;

– давать конкретные распоряжения по исправлению допущенных недостатков с указанием сроков их исправления и ответственных за это лиц.

В обязанности авторского надзора входит:

– ведение журнала авторского надзора, в котором фиксируются все выявления несоответствия, заносятся распоряжения по исправлению нарушений;

– контроль за своевременным и качественным выполнением распоряжений по устранению дефектов;

– участие в приемке техническим надзором заказчика отдельных наиболее ответственных конструкций;

– участие в приемке скрытых работ;

– проверка сопроводительной документации на материалы и конструкции, поступающие на строй площадку.

Органы государственного архитектурно-строительного контроля обязаны:

– контролировать качество строительно-монтажных работ, а также работ по благоустройству и озеленению территорий;

– контролировать качество и соответствие нормативным требованиям материалов и изделий, поступающих на стройплощадки;

– контролировать производство строительных материалов и конструкций;

Различают государственную и ведомственную поверку средств измерений.

Метрологическая аттестация средств измерений – исследований, выполняемое метрологическими органами для определения метрологических свойств этих средств измерений и выдача документа с указанием полученных данных.

Поверочная схема – утверждений в определенном порядке документ, устанавливающий средства, метода и точность передачи размера единицы физической величины от эталона рабочим средствам измерений. Различают

общесоюзные и локальные (отдельных метрологических служб) поверочные схемы.

Средства поверки – это технические средства, необходимые для осуществления поверки средств измерений в соответствии с требованиями нормативно-технических документов на методы и средства поверки (рабочие эталоны, образцовые средства измерений, стандартные образцы и образцовые меры, вспомогательные приборы, устройства и материалы, поверочные приспособления).

Средства измерений – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормирование метрологические характеристики (системы мер, измерительные приборы и преобразователи, измерительные установки и системы).

Под измерительным прибором понимают средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме доступной для непосредственного восприятия наблюдателя.

Измерительный преобразователь – средство измерения, которое вырабатывает сигнал в форме удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения.

Измерение – процесс нахождения какой-либо физической величины с помощью технических средств и сравнения с эталоном.

Параметры измерения:

- погрешность измерения;
  - точность измерения;
  - достоверность измерения;
  - диапазон измерения;
  - предел измерения;
  - цена деления шкалы;
  - чувствительность прибора.
- отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины

Различают три класса измерений: особо точные, высокоточные и технические.

Проблема метрологического обеспечения измерений неразрывно связаны со стандартизацией.

Стандартизация – это установление и применение правил для упорядочения деятельности в определенной области. Объектом стандартизации являются конкретная конструкция, нормы, требования, методы, термины, обозначения, имеющие перспективу многократного применения, используемые в науке, технике, строительстве.

## Примеры :

Стандарты в зависимости от среды действия разделяют на четыре категории: государственная (ГОСТ); отраслевая (ОСТ); республиканская (РСТ); стандарты предприятия (СТП).

### Стандарты стран членов СЭВ – СТСЭВ

В строительстве действуют СНиП, устанавливающий требования ко всей строительной продукции и содержит нормы строительного проектирования, тогда как ГОСТы содержат требования к строительным материалам и изделиям массового производства, методам испытания материалов и конструкций, измерений, обработки и представления результатов.

В зависимости от содержания стандарты подразделяются на 13 отдельных видов.

С точки зрения изучаемой дисциплины интересны следующие:

– стандарты ТУ, которые содержат требования к продукции при ее изготовлении, поставке и эксплуатации, регламентируют методы испытаний, правила приемки.

– стандарты технических требований (нормируют показатели качества, надежности и долговечности)

– стандарты методов испытаний; (порядок отбора образцов и проб, единство методов и средств измерений).

– стандарты правил приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения.

Стандартизация не только фиксирует достигнутый уровень производства, но и является одним из рычагов прогресса науки и техники.

### **Контроль качества конструкций и сооружений.**

Одно из направлений стандартизации – разработка норм и методов контроля количественных и качественных характеристик свойств продукции.

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Показатель качества продукции – количественная характеристика ее свойств, входящих в состав ее качества. В показателях качества продукции необходимо различать наименование и их численные значения. Показатели качества продукции могут быть единичными и комплексными (пример – приведенные затраты)

Различают реально достигнутые и базовые показатели качества.

Цель контроля качества продукции – проверка соответствия показателей качества продукции установленным требованиям которые могут быть зафиксированы в стандартах, Т.У., договорах о поставке, паспорте изделия и других соответствующих документах.

Различают входной, операционный и приемочный контроли. Контроль может быть сплошным или выборочным.

Различают два основных метода контроля: неразрушающий и разрушающий.

По степени использования средств контроля определяют следующие виды контроля:

- измерительный контроль (с применением средств измерений)
- регистрационный контроль (регистрируется число проявления измеряемых качественных признаков продукции)
- органолептический контроль (органы чувств)
- визуальный контроль (органы зрения)
- технический осмотр-контроль (детальное ознакомление с проектной и исполнительной документацией)

*Виды контрольных испытаний:*

- предварительные испытания
- приемочные испытания (контрольные испытания опытных образцов продукции)
- приемно-сдаточные испытания (проводит изготовитель продукции)
- периодические испытания
- типовые испытания (после внесения изменений в конструкцию или технологию)
- аттестационные испытания

Контрольные испытания по уровню исполнителей: государственные, заводские, ведомственные.

Развиваются автоматизация контроля и статистические методы контроля.

### **Понятие об оценке надежности конструкций, зданий и сооружений.**

Одной из проблем И.С. является оценка надежности рассматриваемых систем.

Под надежностью понимают свойство системы выполнять поставленные перед нею функции в конкретных условиях эксплуатации на рассматриваемом интервале времени.

Применительно к строительным объектам можно выделить три основных частных свойства:

- безотказность
- долговечность
- ремонтпригодность

Отказ – нарушение работоспособности объекта. Под наработкой понимают продолжительность функционирования объекта.

## Лекция 14

# МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Для решения задач повышения качества изготовления и монтажа строительных конструкций большое значение имеет метрологическое обеспечение контроля качества.

Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Предметом метрологии являются общая теория измерений, единицы физических величин и их системы, методы и средства измерений, основы обеспечения единства измерений и единообразия средства измерений, эталоны и образцовые средства измерений, методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Метрология является научной основой метрологического обеспечения, под которым понимают установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Метрологическое обеспечение включает в себя следующие системы:

- государственные эталоны единиц физических величин, обеспечивающие воспроизведение единиц с наивысшей точностью;
- передачу размеров единиц физических величин от эталонов всем средствам измерений с помощью образцовых средств измерений и других средств поверки;
- разработки, постановки на производство и впуска в обращение рабочих средств измерений, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик продукции, технологических процессов и других объектов в сфере материального производства, научных исследований и других видов деятельности;
- стандартные справочные данные о физических константах и свойствах веществ и материалов, обеспечивающие достоверными данными научные исследования, разработку технологических процессов, получение и использование материалов и конструкций.

В метрологическое обеспечение также входят:

- обязательные периодические государственные испытания или метрологическая аттестация средств измерений, предназначенных для серийного или массового производства и ввоза их из-за границы партиями, обеспечивающими единообразие средств измерений при их разработке и выпуске в обращение;
- обязательная государственная и ведомственная поверка средств измерений, обеспечивающая единообразие средств измерений при их изготовлении, эксплуатации и ремонте;

– стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов, обеспечивающие воспроизведение единиц величины, характеризующих состава и свойства веществ и материалов.

Основные понятия метрологического обеспечения следующие:

**А.** Поверка средств измерений – определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление их пригодности к применению. Различают государственную (производится органами государственной метрологической службы) и ведомственную (производится органами ведомственных метрологических служб) поверку средств измерений.

**Б.** Метрологическая аттестация средств измерений – исследование средств измерений, выполняемое метрологическими органами для определения метрологических свойств этих средств измерений, и выдача документа с указанием полученных данных.

**В.** Поверочная схема – утверждений в установленном порядке документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от эталона рабочим средствам измерений. Различают поверочные схемы общегосударственные и локальные (отдельных органов метрологической службы).

**Г.** Средства поверки – это технические средства, необходимые для осуществления поверки средств измерений в соответствии с требованиями нормативно технических документов на методы и средства поверки. Средства поверки включают в себя рабочие эталоны; образцовые средства измерений, в том числе стандартные образцы и образцовые меры; вспомогательные приборы, устройства и материалы: поверочные приспособления.

**Д.** Средства измерений – это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормирование метрологические характеристики. Средства измерений включают в себе меры, измерительные приборы и преобразователи, измерительные установки и системы.

Первоочередными задачами развития метрологического обеспечения являются следующие задачи:

– установление для каждого основного технологического и строительного процесса перечень измеряемых и контролируемых параметров и соответствующих схем их активного контроля;

– создание отраслевых метрологических центров разработки специальных методов и средств измерений, испытаний и контроля, а также координация такой разработки;

– организация разработки отраслевой системы стандартных образцов свойств и состава и соответствующих образцовых средств для их аттестации с целью поддержания и повышения уровня точности и достоверности, а также совершенствование поверочных схем;

– организация ведомственных метрологических служб на основе перестройки работы строительных лабораторий, ОТК, ОГМ, ОГЭ и отделов

КИП предприятий, а также технических инспекций, подразделений Орггестроек, институтов и тому подобное.

Измерение – это процесс нахождения какой – либо физической величины с помощью технических средств и сравнение их с эталоном. Измерение включает в себя следующие элементы:

1. Объект измерения, свойства или состояния которого характеризует измеряемая величина;
2. Единицу измерения;
3. Техническое средство измерения, градуированное в выбранных единицах;
4. Метод измерения;
5. Регистрирующее устройство, воспринимающее результат измерения;
6. Окончательный результат измерения.

Измерения характеризуются рядом параметров:

- погрешностью измерений (разность между истинными и измеренными значениями величин);
- точностью измерений (степень приближения результатов измерений к истинному значению);
- достоверностью измерений (вероятность отклонения измерения от истинного значения);
- диапазон измерений (область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений);
- ценой деления шкалы (разность значений величины, соответствующей двум соседним отметкам шкалы);
- пределом измерений (наибольшим и наименьшим значением диапазона измерений);
- чувствительностью измерительного прибора (отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к вызвавшему его изменению измеряемой величины).

Различают три класса измерений: особо точные, высокоточные и технические. Технические, как правило, применяются в практике испытания строительных конструкций.

Проблемы метрологического обеспечения измерений неразрывно связаны с задачами, стоящими перед стандартизацией.

Стандартизация – это установление и применение правил для упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон и, в частности, для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении функциональных условий и требований техники безопасности. Объектами стандартизации являются конкретная продукция нормы, требования, методы, термины, обозначения и так далее, имеющие перспективу многократного применения, используемые в науке, технике, строительстве.

В строительстве стандартизации подлежат методы расчета и проектирования конструкций и сооружений, требования к материалам и изделиям, допуски на стадии монтажа и изготовления конструкции зданий и сооружений, методы испытаний и проведения измерений, методы представления и обработки получаемых результатов измерений и так далее.

В зависимости от среды действия стандарты подразделяются на: государственные (ГОСТы), отраслевые (ОСТ) и стандарты предприятий (СТП).

В области строительства наряду со стандартами действуют строительные нормы и правила (СНиПы). СНиПы устанавливают требования ко всей строительной продукции и содержат нормы строительного проектирования, тогда как ГОСТы содержат требования к строительным материалам и изделиям массового производства, методам испытания материалов и конструкций, измерений, обработки и представления результатов.

В зависимости от содержания стандарты подразделяются на 13 отдельных видов.

С точки зрения освидетельствования и испытания конструкций и сооружений наибольший интерес представляют следующие:

- стандарты технических условий, содержащие всесторонние требования к продукции при ее изготовлении, поставке и эксплуатации, регламентирующие методы испытаний, правила приемки;

- стандарты технических требований, которые нормируют показатели качества, надежности и долговечности продукции, устанавливают срок службы и тому подобное;

- стандарты методов испытаний, которые включают требования о порядке отбора проб или образцов, методы испытаний материалов и изделий, используемые для оценки качества продукции;

- стандарты правил приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения, регламентирующие порядок приемки изделий, вид и программу испытаний при приемке.

Стандарты существенно влияют на темпы развития и уровень производства, фиксируя не только достигнутый его уровень, но и являются одним из рычагов.

- конструировать соблюдения проектных и технических требований по архитектурным решениям и качеству исполнения фасадов;

- принимать участие в работе государственных приемочных комиссий;

- принимать участие в расследовании аварий на строительстве;

- анализировать и обобщать результаты контроля качества производства строительных материалов и конструкций, строительного-монтажных работ;

- разрабатывать и направлять в соответствующие организации предложения по повышению качества возводимых сооружений.

Банковский контроль осуществляется банком предоставляющим кредиты и предусматривает проверку соответствия проектных и реальных объемов строительно-монтажных работ, расценок на эти работы, а также контроль качества строящихся сооружений.

Государственная санитарная инспекция и государственный пожарный надзор контролируют:

- соблюдения всех санитарных и противопожарных норм во время строительства;

- проверяют соответствия проектов вновь возводимых и реконструируемых объектов санитарным и противопожарным требованиям.

### **Использование в строительстве прогрессивных материалов, конструкций и технологических процессов.**

Повысить качество строительно-монтажных работ можно только использованием прогрессивных строительных конструкций и материалов, современных технологических процессов, поддающихся своевременному и четкому контролю. Перспективны поточные методы производства конвейерного и блочного монтажа, что требует дальнейшего развития производства и серийности конструкций. На некоторых строительствах (КамАЗ, Атоммаш, Чебоксарский завод тракторных прицепов) был изменен конвейерно-блочный метод, при котором для сборки блока организуется конвейер. Поточная сборка монтажных блоков на земле позволяет не только увеличить производительность труда и сократить сроки строительства, но также обеспечить значительный рост качества строительно-монтажных работ за счет хорошей организации рабочих мест; широкого использования блока стационарных кондукторов; использование механизированного инструмента; выполнения всех операций по отлаженной технологии. При конвейерно-блочном методе монтажа может быть организован более надежный комплексный контроль качества работ, упрощается процесс исправления недостатков.

В дальнейшем в технологические процессы будет широко внедряться промышленное телевидение, двусторонней радиосвязи, установок для управления оборудованием, промышленные работы и тому подобное.

### **Обеспечение качества строительно-монтажных работ.**

Качество и надежность строящихся зданий и сооружений должны обеспечиваться путем осуществления комплекса мер эффективно контроля на всех стадиях строительной продукции.

Контроль качества строительно-монтажных работ осуществляется специальными службами, создаваемыми в строительной организации, а также в других организациях, осуществляющих надзор за ходом строительства.

Производственный контроль качества строительно-монтажных работ включает в себя входной контроль, операционный контроль и приемочный контроль.

На всех стадиях строительства с целью проверки эффективности производственного контроля должен выборочно осуществляться инспекционный контроль.

При входном контроле прежде всего производится контроль комплектности и достаточности рабочей документации на производство строительного-монтажных работ. Входной контроль строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования осуществляют внешним осмотром на предмет соответствия их требованиям технических условий, стандартов или других нормативных документов и рабочей документации, а также наличия и содержания паспортов, сертификатов и других сопроводительных документов.

Операционный контроль осуществляется в ходе выполнения строительных процессов или производственных операций и обеспечивает своевременное выявление недостатков и дефектов, а также принятие мер по их устранению и предупреждению. При этом проверяется: соответствие выполняемых работ рабочим чертежам, строительным нормам, правилам и стандартам. Особое внимание обращается на выполнение специальных мероприятий при строительстве на просадочных грунтах, в районах с оползнями и карстовыми явлениями, вечной мерзлоты, а также при строительстве сложных и уникальных объектов. Результаты этого контроля фиксируются в общем журнале работ.

Руководящими документами при операционном контроле являются строительные нормы и правила части 3, технологические карты и в их составе схемы операционного контроля качества (СОККи). СОККи содержат эскизные чертежи конструкций с указанием на них допусков, перечни операций или процессов, контролируемых производителями работ с участием, при необходимости, строительной лаборатории, геодезической и других служб специального контроля, указания о составе, сроках и способах контроля.

При приемочном контроле необходимо производить проверку качества выполненных строительного-монтажных работ, а также ответственных конструкций.

Ответственные конструкции по мере их готовности подлежат приемке в процесс строительства (с участием представителя проектной организации или авторского надзора) с составлением акта промежуточной приемки этих конструкций по соответствующей форме.

Скрытые работы подлежат освидетельствованию с составлением актов по определенной форме. Акт освидетельствования скрытых работ составляется на законченный процесс, выполненный самостоятельным подразделением исполнителей.

При возведении сложных и уникальных объектов акты приемки ответственных конструкций и освидетельствование скрытых работ должны составляться с учетом особых указаний и технических условий проекта.

Управление качеством строительно-монтажных работ должно осуществляться строительными организациями и включать совокупность мероприятий, методов и средств, направленных на обеспечение соответствия качества строительно-монтажных работ и законченных строительством объектов требованиям нормативных документов и проектной документации.

На всех этапах строительства с целью проверки эффективности ранее выполненного производственного контроля должен выборочно осуществляться инспекционный контроль. Он осуществляется специальными службами, если они имеются в составе строительной организации, либо специально создаваемыми для этой цели комиссиями.

По результатам производственного и инспекционного контроля качества строительно-монтажных работ разрабатываются мероприятия по устранению выявленных дефектов, при этом учитываются также требования авторского надзора.

Схемы операционного контроля качества строительных материалов и строительно-монтажных работ подразделяют следующую пунктуацию:

1. Виды материалов или работ;
2. Цель контроля;
3. Предмет контроля;
4. Метод контроля;
5. Место отбора пробы или контроля;
6. Периодичность контроля.

«Справочник по контролю качества строительства жилых и общественных зданий». – М.М. Шулькевич; Т.Д. Дмитренко; А.И. Бойко; Издательство «Будивельник» 1986 год.

#### **Определение прочности бетона и кирпичной кладки.**

При обследовании строительных конструкций, выполненных из бетона и кирпичной кладки, зачастую для определения их фактической несущей способности необходимо определить их прочностные показатели. Наиболее достоверным способом определения прочности бетона в конструкции является отбор образцов или кернов с последующим их испытанием в лабораторных условиях в соответствии с ГОСТ 10180-78. Однако минимальные размеры бетонного образца 70,7×70,7×70,7 мм., следовательно не из всякой конструкции его можно взять, да и сам отбор проб и кернов предполагает применение дорогостоящего инструмента (алмазных коронок, перфораторов и тому подобное), что делает этот способ определение прочности бетона экономически невыгодными.

Чаще всего прочность бетона при обследовании определяют различными неразрушающими методами, как механическими согласно ГОСТ 22690-88, так и физическими (например по ГОСТ 17624-87 «Ультразвуковой метод определения прочности»).

При операционном контроле необходимо проверять соответствие каждого вида выполненных работ требованиям технических условий, инструкций, рабочей документации, установленной технологии производства работ и требованиям СНиП.

Проектных организаций и органов государственного надзора и контроля, действующих на основании специальных положений.

### **Контроль качества в строительстве.**

Качество – совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенную потребность в соответствии с ее назначением.

Оно является объективной характеристикой продукции, формируется в результате трудовой деятельности лиц, занятых проектированием, изготовлением и эксплуатацией.

Контролем качества продукции принято называть проверку соответствия показателей качества продукции установленным требованиям, которые могут быть зафиксированы в стандартах, Т.У, договорах о поставке (например качество отделки панелей), паспорте изделия и в других документах.

На стадии проектирования – нормоконтроля – то есть соответствие ГОС-Том и другим нормативно – механическим документом. Здесь важны показатели назначения, уровня стандартизации и унификации, технологические и тому подобное.

В процессе изготовления – технический контроль – проверка технических процессов. Классифицируется по нескольким признакам:

1) в зависимости от места организации:

– входной контроль – контроль сырья, материалов, комплектующих изделий.

– операционный контроль – технологическое оборудование.

– приемочный контроль – готовая продукция, пригодность к поставке.

2) в зависимости от охвата контролируемой продукции:

– сплошной контроль;

– выборочный контроль.

## Лекция 15 РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Большинство зданий и сооружений состоят из конструктивных элементов, технологического оборудования и инженерных коммуникаций. Это и определяем многообразие их форм и методов реконструкции.

Под реконструкцией зданий и сооружений понимают изменение их объёмно-планировочного решения с целью приспособления к новым функционально-эксплуатационным, санитарно-бытовым и градостроительным нормам и требованиям.

По своему функциональному назначению все здания можно разделить на жилые, общественные и производственные. Поэтому реконструкция каждого из вида здания производится по своей методике с многообразием форм. Так реконструкция жилых зданий может быть комплексной и частичной. При комплексной реконструкции жилых зданий решаются задачи повышения капитальности здания, его благоустройства и увеличения жилой площади. При этом возможна замена несущих и ограждающих конструкций, пристройка дополнительных площадей и надстройка. Обычно настраивают одно-пятиэтажные здания, имеющие физический износ не более 60%. Надстройка зданий более эффективна чем пристройка, так как не увеличивается площадь застройки и не требуется подведение новых инженерных коммуникаций. При комплексной реконструкции кирпичных зданий возможна частичная перекладка стен и полная замена перекрытий, если они выполнены из деревянных несущих элементов. Здание после комплексной реконструкции должно отвечать санитарно-бытовым и эксплуатационным требованиям. При частичной реконструкции возможна перепланировка помещений, пробивка новых дверных и оконных проёмов, небольшая перекладка стен. Частичная реконструкция целесообразна для зданий при их физическом износе не более 40%.

Реконструкция жилых зданий должна учитывать требования СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные» и ВСН 61-89 (р) «Реконструкция и капитальный ремонт жилых домов. Нормы проектирования».

При реконструкции общественных зданий руководствуются СНиП 2.08.02-89\* «Общественные здания и сооружения». Особое внимание при этом уделяется требованиям противопожарной безопасности и путям эвакуации людей из здания. В процессе переустройства зданий под общественное используются различные виды планировок. Иногда необходимо в одноэтажных производственных зданиях выполнить встроенные этажи. При этом высота помещения одноэтажного производственного здания должна быть не менее двух этажей общественного здания, например, не менее 6,6 м. Если помещения общественного назначения реконструируются под жилые здания, то необходимо стремиться к выполнению всех требований для жилых зданий с устройством дополнительных лестничных клеток и входов.

Под реконструкцией промышленных зданий понимают переустройство помещений основного, подсобного и обслуживающего назначения с целью увеличения мощности, улучшения качества выпускаемой продукции при улучшении условий труда и охраны окружающей среды. Реконструкция промышленных зданий тесно связана с интенсификацией производства, развивающейся по трём основным направлениям: расширение, модернизация и техническое перевооружение. Поэтому характер реконструкции здания сводится к следующим видам:

- изменение объёмно-планировочной структуры здания;
- повышение эксплуатационных свойств несущих и ограждающих конструкций;
- улучшение освещения, воздухообмена, эстетики интерьера;
- увеличение технологических нагрузок.

Как правило, реконструкция промышленных зданий осуществляется в условиях действующего производства, что сдерживает темпы реконструкции и затрудняет строительные-монтажные работы по реконструкции. На практике используются следующие конструктивные мероприятия по реконструкции промышленных зданий:

- увеличение высоты здания и его объёмов;
- увеличение пролётов путём удаления промежуточных колонн;
- усиление несущих строительных конструкций (колонн, ферм покрытия, подкрановых балок и т.п.);
- усиление междуэтажных перекрытий под новые технологические нагрузки;
- переустройство внутренних стен, конструкций покрытий и перекрытий.

Технико-экономические показатели являются важной составной частью проекта реконструкции здания. В основном экономическая целесообразность реконструкции зданий зависит от сопоставления приведённых затрат на 1 м<sup>2</sup> общей площади здания, либо на объект в целом. Необходимо отметить, что на стоимость реконструкции в большей степени влияют показатели физического и морального износа конструкций здания.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освоение дисциплины «Обследование и усиление строительных конструкций при реконструкции зданий и сооружений» позволяет студенту знать: экспериментальные методы контроля напряжённо-деформированного состояния конструкции; нормативную базу в области обследования и реконструкции зданий и сооружений; методику измерений и работы с измерительной аппаратурой по обследованию конструкций; состав работ и порядок проведения инженерного обследования; научно-техническую информацию отечественного и зарубежного опыта по методам обследования и усиления. Студент должен уметь: пользоваться методами и средствами проведения эксперимента; составлять отчёт или заключение по выполненным работам; составлять ведомости дефектов и производить оценку влияния этих дефектов на несущую способность конструкций. Он должен владеть: навыками проведения обследования и усиления строительных конструкций, образцов и моделей; математическим моделированием, методами постановки и проведения экспериментов по заданным методикам.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

## Основная литература

1. Градостроительный кодекс РФ [Текст].
2. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений [Текст]. Веден в действие Федеральным законом РФ №384-ФЗ от 30.12.2009.
3. ГОСТ Р 53778-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2012. – 61 с.
4. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих конструкций зданий и сооружений [Текст]. – М.: Госстрой России, 2004. – 26 с.
5. Обследование испытания зданий и сооружений [Текст]: учебник для вузов / В.И. Римшин [и др.] – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2006. – 655 с.
6. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий [Текст]: учеб. пособие / И.С. Гучкин. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 349 с.

## Дополнительная литература

1. Техническая эксплуатация, обследование и усиление строительных конструкций [Текст]: учеб. пособие / В.С. Абрашитов. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 218 с.
2. Обследование и испытание зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / А.А. Землянский. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 240 с.
3. Обследование, расчёт и усиление зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / А.А. Калинин. М.: Изд-во АСВ, 2004. 160 с.
4. ВСН 57-8 (р). Положение по техническому обследованию зданий и сооружений [Текст]. – М.: Госстрой России, 1998. – 92 с.
5. ВСН 58-88 (р). Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обследования зданий, объектов коммунального и социально-коммунального назначения [Текст]. – М.: Госкомархитектуры, 1990. – 32 с.
6. ВСН 53-86 (р). Правила оценки физического износа жилых зданий [Текст]. – М.: Госгражданстрой, 1988. – 72 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ЛЕКЦИЯ 1 ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСА. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ .....	7
ЛЕКЦИЯ 2 СОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ: НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ .....	12
ЛЕКЦИЯ №3 ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ СООРУЖЕНИЙ:.....	16
ЛЕКЦИЯ 4 СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ .....	21
ЛЕКЦИЯ 5 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.....	27
ЛЕКЦИЯ 6 ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКАЯ АППАРАТУРА. УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ ПРОВОЛОЧНЫХ ДАТЧИКОВ .....	32
ЛЕКЦИЯ 7 ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ .....	39
ЛЕКЦИЯ 8 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ:.....	47
ЛЕКЦИЯ 9 ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ: ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	54
ЛЕКЦИЯ 10 ИЗМЕРЕНИЕ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ .....	62
ЛЕКЦИЯ 11 ПРОВЕДЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ .....	68
ЛЕКЦИЯ 12 ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА И ДЕФЕКТОСКОПИЯ МАТЕРИАЛА .....	77
ЛЕКЦИЯ 13 КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ. ....	86

ЛЕКЦИЯ 14	
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	94
ЛЕКЦИЯ 15	
РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ .....	102
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	104
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	105

Учебное издание

Абрашитов Валентин Султанович

**ОБСЛЕДОВАНИЕ И УСИЛЕНИЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ  
И СООРУЖЕНИЙ**

Курс лекций  
по направлению подготовки  
08.03.01 «Строительство»

В авторской редакции  
Верстка Н.В. Кучина

---

Подписано в печать 08.11.16. Формат 60×84/16.  
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.  
Усл.печ.л. 2,28. Уч.-изд.л. 6,75. Тираж 80 экз.  
Заказ № 701.

---

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

