

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Городское строительство и хозяйство»

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИИ**

По дисциплине «Метрология испытаний зданий и сооружений»

Ташкент – 1999г.

**Составитель:** доц. Косимова С.Т., Арабова С.А.

Конспект лекции по дисциплине «Метрология испытаний зданий и сооружений» ТАСИ, Ташкент, 1999г., стр.

Настоящее пособие составлено по дисциплине «Метрология испытаний зданий и сооружений» для подготовки бакалавра по направлению «Городское строительство и хозяйство»

*Кафедра «Городское строительство и хозяйство»*

Пособие одобрено в научно-методическом совете Ташкентского архитектурно-строительного института и издается по решению Ученого совета института.

Протокол №4 22 апреля 1999 года

**Рецензент:** к.т.н. Ходжаев С.А.

## ЛЕКЦИЯ №1 ВВЕДЕНИЕ

### План лекции:

1. Цель и задачи дисциплины.
2. Неразрушающие методы испытания.
3. Разрушающие методы испытания.

Улучшение физико-механических свойств материала, повышение его прочностных характеристик способствуют совершенствованию конструкций и форм зданий и сооружений. Применение высокопрочных материалов привело к созданию более легких конструкций зданий с тонкими элементами. Однако чтобы избежать появления серьезных дефектов в процессе возведения и эксплуатации таких зданий расчеты их должны основываться на реальных расчетных схемах. Приближенные методы расчета не отражают реальной работы конструкции, в результате этого элементы имеют излишние запасы прочности или появляются дефекты.

Решение сложных инженерных задач не может ограничиваться одним теоретическим путем, а должен быть основан на проверенных экспериментальных данных. Эксперимент выявляет недостатки теории, отражая фактическое распределение деформаций в различных элементах.

Испытания конструкций проводят как неразрушающими, так и разрушающими методами. При разрушающих методах проводят выборочные испытания до разрушения образцов, отобранных из партии конструкций (1%). Существенное значение имеет система контроля качества с помощью методов и приборов неразрушающего контроля – ультразвукового, рентгеновского, радиометрического и приборов механического действия.

Исследование новых типов конструкций и сооружений, корректировку принятой расчетной схемы и определение напряженно-деформационного состояния обычно проводят в лабораторных условиях на моделях (1/20 и 1/10 натурной величины) или крупномасштабных моделях (1/3 – 1/5).

Для получения данных о деформациях, используют различные измерительные приборы (перемещений, взаимных сдвигов, углов поворота, давления и т.д.).

**Ключевые слова:** метрология, дефект, расчетные схемы, эксперимент, деформация, испытания, неразрушающие методы испытания, разрушающие методы испытания, выборочные испытания.

### Контрольные вопросы:

1. Назовите два метода испытаний конструкции.
2. Каким образом проводят разрушающие метод испытаний?
3. С помощью каких приборов проводят неразрушающие методы испытания?

### Литература:

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## ЛЕКЦИЯ №2 УСЛОВНОСТЬ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ.

### План лекции:

1. Условность расчетных характеристик материалов.
2. Изменение работы конструкции во времени.

Расчетные схемы испытываемых конструкций принимают такими же, как при расчете этих конструкций в процессе проектирования. Например: однопролетная балка в проекте рассчитывается как шарнирно опертая с одной неподвижной и другой подвижной опорами. Такую же схему опирания воспроизводят и при испытаниях. Полученные в опыте данные не отражают действительную работу конструкции в сооружении, учитывая, что в реальных условиях подвижность одной из опор не обеспечивается.

Конструкции должны испытываться в рабочем положении.

При испытании балок, ферм, балочных плит и настилов принимают схему опирания, предусматривающую две шарнирные опоры, одна из которых должна допускать свободное перемещение в дол оси изделия.

Расстояние  $a$  принимают равным половине принятой в проекте длины опирания.

Равномерно распределенная нагрузка может быть заменена сосредоточенными грузами.

### **Условность расчетных характеристик материалов.**

При определении усилий и напряжений в конструкциях исходят из нормативных характеристик материалов и нагрузок с ведением по СНИПу соответствующих нагрузок (коэффициентов).

Проводя испытания железобетонных изделий и оценивая их несущую способность, следует принимать во внимание, что бетон как материал по своей структуре неоднороден. Бетон так же не является сплошным материалом, в процессе формирования кроме видимых трещин, образуются микротрещины. Со всеми этими факторами необходимо считаться при оценке напряженного состояния материала в испытываемых конструкциях.

### **Изменение работы конструкции во времени.**

В процессе эксплуатации конструкции под влиянием внешних воздействий происходит изменение свойств материалов, а так же расстройство стыков и соединение элементов. Неравномерное распределение температуры создает и неравномерное поле напряжений, что приводит к появлению трещин в бетоне. При неблагоприятных условиях (низкая температура свежееуложенного бетона, плохой уход, воздействия агрессивной среды и т.д.) нарастание прочности бетона замедляется, а и когда падает.

От правильного учета всех факторов зависит оценка работы конструкции. Поэтому действительные условия работы конструкции требует уточнений путем соответствующих испытаний.

**Ключевые слова:** шарнирные опоры, свободное перемещение, длина опирания, равномерно распределенная нагрузка, сосредоточенные грузы, усилия, напряжения, несущая способность железобетона.

### **Контрольные вопросы:**

1. В каком положении испытывают конструкции?
2. Какую схему применяют при испытаниях балок, ферм, балочных плит и настилов?
3. Чем заменяют равномерно распределенную нагрузку?
4. Из чего исходят при определении усилий и напряжений в конструкциях?
5. В воздействиях каких факторов появляются трещины в бетоне?

### **Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.

4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

### ЛЕКЦИЯ №3

## ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЭЛЕКТРОТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫМ МЕТОДОМ

#### План лекции:

1. Проволочные тензорезисторы.
2. Коэффициент тензочувствительности.
3. Тензометрическая регистрирующая аппаратура.

Для измерения деформаций при испытаниях строительных конструкций и деталей широко используют проволочные тензорезисторы. В основу метода замера деформаций тензорезистором положен тензометрический эффект – изменение электрического сопротивления проводника и полупроводника при деформации.

Характеристикой тензорезистора является его коэффициент тензочувствительности, который представляет собой отношение относительного изменения сопротивления тензорезистора к его относительной деформации.

Широкое распространение получили проволочные тензорезисторы, представляющие собой несколько близко расположенных петель константановой проволоки, наклеенной специальным эластичным клеем на полоску тонкой бумаги.

К положительным качествам тензорезистора относятся: возможность непосредственной регистрации деформаций, как на поверхности, так и внутри конструкции, высокая точность измерения деформаций, возможность измерения деформаций вплоть до текучести материала конструкции, простота установки и другие.

В процессе деформации температура изменяется, длина и площадь поперечного сечения проволоки, что изменяет сопротивление тензорезистора:

$$K = \Delta R / R \Delta l; \quad \varepsilon = \Delta l / l; \quad \Delta R / R = K \varepsilon$$

Где,  $\Delta R/R$  – относительное изменение омического сопротивления тензорезистора;  $R$  – начальное сопротивление тензорезистора, Ом;  $\Delta R$  – величина изменения начального сопротивления тензорезистора при его деформаций, Ом;  $l$  – длина или база тензорезистора, мм;  $K$  – коэффициент чувствительности тензорезистора;  $\Delta l$  – величина деформации тензорезистора, равная деформации исследуемого элемента.

Тензорезисторы изготавливают с базой 5; 10; 20; 30; 50; 80; 100; 200 мм. База для измерения деформации в бетоне – 50; 80; 100 мм, в арматуре и на металлических закладных деталях 10; 20; 30 мм. Коэффициент чувствительности тензорезистора колеблется в пределах от 2,0 до 2,3.

При установке тензорезисторов поверхность очищается, протирают ацетоном, наносят грунтовку. При наклейке тензорезистора слой клея не должен быть толстым и излишек удаляется равномерным приглаживанием через целлофановую пленку.

### **Тензометрическая регистрирующая аппаратура.**

Величина деформаций, в зависимости от материала не выходит за пределы относительных единиц  $1 \times 10^{-6}$  до  $1 \times 10^{-3}$ . Измерение таких малых деформаций требует применения высокочувствительной регистрирующей аппаратуры с электронными усилителями. применяют электронные измерители деформаций типа ИД (ИСД-2, ИМАШ, ИСД-3, ИД-62), имеющие одинарный мост с ручной балансировкой: типа АИ или АИД.

Мостовая схема обеспечивает высокую чувствительность и точность регистрирующего устройства.

При подготовке аппаратуры подключают автоматический переключатель к электронному измерителю деформаций. Проанализированные тензорезисторы подпаенные к монтажным колодкам, подключают при помощи соединительных кабелей. Электронный измеритель подключают к сети и после прогрева прибора производят записи тензочувствительности тензорезисторов.

При работе с прибором можно также пользоваться и ручным управлением.

**Ключевые слова:** тензорезисторы, проволочные тензорезисторы, коэффициент тензочувствительности, база тензорезистора.

### **Контрольные вопросы:**

1. На чем основан тензорезисторный метод?
2. Что представляет собой коэффициент тензочувствительности?
3. Какие тензорезисторы получили широкое распространение?
4. Назовите положительные качества тензорезистора.
5. С какой базой изготавливают тензорезисторы.
6. В каких пределах колеблется коэффициент чувствительности тензорезистора.
7. Как устанавливают тензорезистор.

### **Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## **ЛЕКЦИЯ №4 УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД**

### **План лекции:**

1. Тарировочные графики.
2. Измерительная аппаратура.

Физические свойства среды и типы волн (продольные, поперечные) влияют на скорость распространения колебаний. Скорость распространения продольных волн ( $v_e$ ) в 1,5-3 раза превышает скорость поперечных волн ( $v_t$ ). В газообразных и жидких средах распространяются продольные волны, а в твердых – как продольные, так и поперечные.

При достижении ультразвуковой волны границы раздела двух сред часть энергии переходит во вторую среду, а часть – отражается.

Различают ультразвуковой метод и метод непрерывного излучения. Импульсный метод сквозного прозвучивания называется теневым методом, а метод, основанный на отражении ультразвуковых волн – ЭХО - методом. Наиболее распространение получили ультразвуковой импульсный метод испытаний, основанный на измерении в скорости распространения ультразвуковых волн напряжения, а также характеристик их рассеяния и поглощения. Этот метод используют как для определения прочности и однородности материала, так и для контроля процесса трещинообразования под действием нагрузок.

Определение прочности бетона производят путем нахождения прямой зависимости между скоростью распространения ультразвука и прочностью бетона. Для этого используют тарировочные графики.

Для построения тарировочного графика изготавливают 12 кубиков или цилиндров в возрасте 3,7,14,28 суток и подвергают их испытанию на сжатие. Перед испытанием определяют скорость распространения ультразвука в разных точках образцов. Кубики прозвучивают в двух направлениях – по

центрам граней и в 3-4 точках каждой грани на расстоянии 2-4 см от углов. По средним данным прочности на сжатие и скорости распространения ультразвука строят тарировочную кривую.

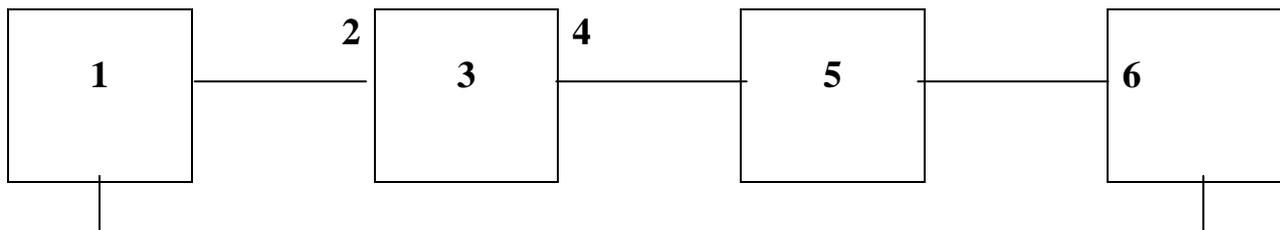

Для определения прочности бетона испытываемой конструкции ее прозвучивают и сравнивают с характеристикой тарировочного графика, находят прочность бетона конструкции.

Ультразвуковой способ определения возникновения трещинообразования при испытании железобетонной конструкций заключается в прозвучивании конструкции. Во всех случаях при статической нагрузке, когда значение скорости распространения зондирующего импульса оказывается меньше скорости предыдущего отчета, имеет место структурное измерение бетона, т.е. появление микро-макро трещин. При прозвучивании сжатой и растянутой зоны будет возникать следующие явления: в сжатой зоне при первых ступенях загрузки будет замечаться увеличение скорости продольных волн ультразвука, а перед разрушением с появлением трещин скорость будет уменьшаться, в растянутой зоне скорость продольных волн ультразвука до момента появления микротрещин будет незначительно уменьшаться, а с возникновением микротрещин и потом макротрещин произойдет резкое падение скорости волн. Эти стадии следует фиксировать. В процессе испытания следует отметить нагрузку при которой появляются микро и макротрещины.

В качестве измерительной аппаратуры используют специальные осциллографические устройства, которые обеспечивают измерение распространения в бетоне упругих волн.

Наиболее распространенные приборы: ПИК-7, ПИК-10, АМ-4, УЗП-62.

Принцип работы: электронный генератор высокочастотных импульсов 1 периодически посылает электрические импульсы на излучитель 2, который преобразует электрические импульсы в ультразвуковые механические волны. Ультразвуковые волны проходят через исследуемый бетонный элемент 3 и попадают на шум-приемник 4, который ультразвуковые колебания преобразуют в электрические импульсы, направляемые в усилитель 5. Усиленный импульс попадает на индикатор лучевой трубки 6.



Экран индикатора создает шкалу меток времени виде вертикальных отметок с определенными интервалами, по числу которых определяют время прохождения ультразвукового импульса через бетон. По изменению скорости ультразвука в бетоне в процессе нагружения элемента определяют величину напряжений, при которых возникают микротрещины, устанавливают распределение сжимающих и растягивающих напряжений по высоте сечения изгибаемых элементов, а так же выявление свойств бетона на различных этапах нагружения испытываемой конструкции.

**Ключевые слова:** скорость распространения колебаний, продольные волны, поперечные волны, ультразвуковой импульсный метод, сквозное прозвучивание, теневой метод, эхо-метод, тарировочные графики, микротрещины, макротрещины, осциллографические устройства.

**Контрольные вопросы:**

1. Что влияет на скорость распространения колебаний?
2. Какой метод называется теневым, а какой эхо-методом?
3. На чем основан ультразвуковой импульсный метод?
4. Для чего используют тарировочные графики?
5. Что делают для построения тарировочного графика.

**Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## ЛЕКЦИЯ №5 РЕНТГЕНОВСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ.

### План лекции:

1. Контроль поляризованными излучениями.
2. Фотографический метод.
3. Определение диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона.

Для оценки физико-механических характеристик материалов и качества конструкций применяют контроль поляризованными излучениями. Наиболее широкое применение при испытаниях конструкций получили лучи, представляющие собой электромагнитные колебания высокой частоты 10Гц;  $\gamma$  – лучи обладают большой проникающей способностью. Регистрация излучений производится поляризационным, фотографическим и люминесцентными методами.

Под действием радиоактивного излучения некоторые вещества способны испускать свет (люминесцировать), вспышки которого можно наблюдать визуально, фотографировать или регистрировать фотоэлектрическими методами с помощью аппаратуры, включающей усилительные радиолампы – фотоэлектронные умножители. Широкое распространение получили фотографический метод регистрации излучений при обнаружении внутренних дефектов в конструкциях. Большое внимание при неразрушающих способах испытания конструкций уделяется тонизиционному методу, при котором измерения можно производить как сквозными просвечиваниями конструкций и материалов, так и рассеянием  $\gamma$  – излучения.

В состав измерительной установки сквозного просвечивания входят источник  $\gamma$  – излучений (1), счетчик заряженных частиц (2), измеритель скорости счета (3) и стрелочный индикатор, позволяющий судить об интенсивности  $\gamma$  – излучения.

Контроль бетонных изделий толщиной до 500 мм может быть осуществлен просвечиванием.

При большой толщине изделий и одностороннем доступе к изделию применяют регистрацию рассеянного излучения.

Метод излучения позволяют определить объемную массу бетонной смеси и бетона в конструкциях, проверять однородность бетона, выявлять трещины и дефектные участки, определять положение арматуры, толщину защитного слоя бетона.

Сущность дефектоскопии заключается в просвечивании исследуемого изделия и фиксации на фотопленки интенсивности прошедшего излучения.

В качестве источников излучения используются радиоактивные изотопы, рентгеновские трубки и бетатроны. Радиоактивные изотопы-источники  $\gamma$ -лучей более компактны, не требуют источников питания. Их недостаток – необходимость постоянной радиационной защиты влияния которой значительно возрастает с увеличением мощности излучения и запаса энергии.

### **Определение толщины защитного слоя бетона и диаметра арматуры**

Из схемы видно, что

$$L/(L-a) = (l + l')/l = d'/d$$

Диаметр арматуры

$$d = d' * (l/l + l')$$

Заменив в равенстве

$$(L-a)*d' = Ld \quad a = b + (d/2)$$

получим  $L - b - (d/2) = L (d/d')$

откуда  $b = L (1 - d/d') - d/2$

После соответствующих преобразований толщине защитного слоя равна:

$$b = L (l'/L + l') - d/2$$

**Ключевые слова:** контроль поляризованными излучениями, фотографический метод, люминесцентный метод, радиоактивное излучение, тонизационный метод, толщина защитного слоя бетона, дефектоскопия.

**Контрольные вопросы:**

1. Какой метод используют для обнаружения внутренних дефектов в конструкциях?
2. Что входит в состав измерительной установки сквозного просвечивания?
3. Что является источником излучения?
4. Назовите недостатки радиоактивного изотопа.

**Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## **ЛЕКЦИЯ №6 ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ**

**План лекции:**

1. Испытательные прессы и машины.
2. Силовая плита и стендовое испытательное оборудование.

**Испытательные прессы и машины**

Испытательные прессы предназначены для испытания образцов материалов и элементов конструкций на сжатие. Прессы выполняются с гидравлическим и механическим приводом. Сжимающие усилия находятся в пределах от нескольких до тысячи тонн.

При испытаниях на растяжение используют специализированные и универсальные машины замеряющие усилия растяжения.

Для проведения определенных видов испытаний применяют специализированные и универсальные испытательные машины. В зависимости от расположения от испытываемого образца в процессе растяжения испытательные машины разделяют на горизонтальные и вертикальные.

Измерение усилий может осуществляться рычажными устройствами с подвижными грузами, рычажно-маятниковыми системами, пружинными силоизмерителями, монOMETрами, силоизмерительными гидроцилиндрами, комбинированными и другие.

Специальные испытательные машины обеспечивают проведение узкого круга работ, универсальные для проведения испытаний на сжатие, растяжение, срез и изгиб.

Испытательные машины работают по принципу гидравлического действия.

### **Силовая плита и стендовое испытательное оборудование**

Испытание железобетонной конструкций и их элементов проводят на специально оборудованных стендах, когда размеры конструкции и необходимые усилия превышают возможности прессового оборудования. Наибольшее распространение получили стационарные стенды, предназначенные для испытания в вертикальном (рабочем) положении балок, ферм, стеновых панелей, рамных и арочных конструкций и другие. Стенды могут быть смонтированы на фундаменте или силовой плите.

Силовая плита представляет собой железобетонный массив толщиной 1000-1500 мм. силовая плита служит опорой для испытываемой конструкции: в ней закрепляют стойки и подкосы домкратной установки и заанкеривают тяги, образующие с силовой плитой и верхней траверсой замкнутый контур, необходимый для создания домкратами нагрузки на конструкцию.

Силовая плита армирована в продольном и поперечном направлениях. Для обеспечения анкеровки в силовой плите имеются горизонтальные борозды, анкерные щели, образованные в ней стальными сварными балками или фермами.

Стендовые испытательные установки подразделяются на два вида – с вертикальной или горизонтальной передачей нагрузки.

Конструкции испытывают в рабочем положении. В зависимости от габаритов испытываемой конструкции и характера испытаний установка монтируется на силовой плите из отдельных узлов и деталей. Компоновка их позволяет испытывать конструкции и продольный изгиб, на сдвиг. Передачу нагрузок от домкратов на испытываемую конструкцию производят при помощи распределительных балок.

При испытании используют гидравлические домкраты грузоподъемностью от 5,0 до 200 т. Давление развиваемое домкратами измеряют манометрами. Для нагнетания масла в домкраты применяют плунжерные насосы и насосные станции с ручным и электрифицированными приводами.

Проверку и тарирование испытательных машин, стендов и установок необходимо производить не реже одного раза в год.

**Ключевые слова:** испытательные прессы, специализированные и универсальные машины, рычажные устройства, рычажно-маятниковые системы, пружинные силоизмерители, манометры, стационарные стенды, домкрат, анкер, тарирование испытательных машины.

**Контрольные вопросы:**

1. Для чего предназначены испытательные прессы?
2. На какие виды разделяются испытательные машины.
3. По какому принципу работают испытательные машины?
4. Для чего предназначены стационарные стенды.
5. Что представляет собой силовая плита?
6. Для чего служат распределительные балки?

**Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## ЛЕКЦИЯ №7

### МЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

#### План лекции:

1. Прогибомеры.
2. Индикаторы.
3. Механические тензометры.
4. Клинометры.

Приборы для определения прогибов, линейных и угловых деформаций. При статических испытаниях строительных конструкций применяют механические приборы: прогибомеры, индикаторы, тензометры, клинометры, сдвигомеры.

Для измерения перемещения какой-либо точки конструкции относительно другой неподвижной точки применяют прогибомеры с проволочной связью – Максимова с ценой деления 0,1 мм, Аистова – 0,01 мм, Емельянова 0,01 мм и другие. Прогибомеры с проволочной связью обеспечивают достаточно высокую точность и неограниченный диапазон измерения перемещений. Применяют при определении прогибов балок, ригелей, ферм, панелей перекрытий, стоек, колонн, стеновых панелей и другие.

Для измерения небольших по величине перемещений применяют индикаторы часового типа. Индикаторы характеризуются ценой деления от 0,01 до 0,001 мм и пределом измерения от 0 до 10 мм. при испытаниях индикаторы устанавливают с помощью специального штатива. Индикаторами можно измерят деформации конструкций на большом участке. Индикаторы просты в обращении и обладают высокой точностью.

Механические тензометры. Для измерения величин малых абсолютных линейных деформаций применяют тензометры. Тензометры изготавливают разных по конструкции (Гугенбергера, Аистова, Нилендера и другие).

Крепление тензометров осуществляют разными способами (струбцинами, чайками, скобами). При измерении деформаций следует руководствоваться следующим:

1. плоскость тензометра должна быть перпендикулярно поверхности.
2. После установки стрелки на начальный отсчет, проверяют точность установки.
3. При сжатии показаний стрелка и ее изображение в зеркале шкалы должны совпадать.

Приборы для измерения углов поворота сечений элементов конструкций, называют клинометрами. Принцип устройства клинометра основан на использовании цилиндрического уровня. Применяют клинометры системы Стопмана, Аистова и рычажные. Точность клинометра в зависимости от величины базы прибора и хода микрометрического винта

колеблется от 2" до 6". Клинометры просты в установке и работе, обеспечивает большую точность измерений, но очень чувствителен к температурным влияниям. Прибор требует осторожного обращения.

Прибор для определения поверхностной твердости бетона. Для оценки прочности бетона используют методы ударного отпечатка, упругого отскока бойка, объема лунки при выстреле в бетон, вдавливания штампа, отрыва и скалывания. Оценка прочности бетона в конструкциях с помощью приборов механического действия основана на корреляционной связи между измеряемыми параметрами и пределом прочности бетона при сжатии. Подвергаемые испытанию участки поверхности бетона должны быть гладкими, сухими, иметь положительную температуру. Тарировочные кривые для определения прочности бетона при сжатии строят на основании результатов испытаний бетонных образцов из трех замесов бетонной смеси одинакового состава.

**Ключевые слова:** прогибомеры, индикаторы, тензометры, клинометры, сдвигомеры, метод ударного отпечатка, метод упругого отскока бойка.

**Контрольные вопросы:**

1. Какие приборы применяют при статических испытаниях строительных конструкций?
2. Для чего используют прогибомеры?
3. Какой прибор применяют для измерения перемещений?
4. Требования при измерении деформации тензометром?
5. Как называется прибор для измерения углов поворота сечений элементов конструкции?
6. Какие методы используют для оценки прочности бетона?

**Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## ЛЕКЦИЯ №8

### ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ.

#### **План лекции:**

1. Схема испытания.
2. График построения экспериментальных данных.

Испытания проводятся при положительной температуре воздуха. При подготовке составляют схему испытания конструкции с указанием приложения сил, условия закрепления и оперение конструкции, приведены расчетная и контрольная нагрузки, методика испытания. Затем составляют монтажную схему с указанием испытательного стенда или прессы, и порядка монтажа, расстановки измерительных приборов и мероприятия по технике безопасности.

Загружение испытываемой конструкции производят ступенями 0,2 от контрольной нагрузки при проверке жесткости и 0,1 при прочности. На каждой ступени конструкцию выдерживают под нагрузкой не ниже 10 минут. Запись показаний приборов производят после и до приложения нагрузки. Вовремя выдержки конструкцию тщательно осматривают и фиксируют образование и раскрытие трещин. После проведения испытаний составляют протокол испытаний.

Обработка материалов испытаний производят для получения и систематизации результатов, пользуясь которыми можно проанализировать работу конструкции под нагрузкой в процессе всего периода испытаний.

Графическое построение экспериментальных данных по результатам испытаний включает графики и эпюры прогиба конструкции, графики зависимости деформаций от нагрузки, эпюры распределения деформаций, графики углов поворота сечений, диафрагмы «усилие-деформация» для стали, графики деформаций бетона от напряжений и графики нарастания модуля упругости бетона.

Оценка работы конструкций сводится к сопоставлению экспериментальных данных с соответствующими нормативными требованиями.

Конструкция не может считаться пригодной к эксплуатации и выдержавшей испытание, если разрушающее усилие или деформации и ширина раскрытия трещин превзойдут значения, указанные в нормах.

**Ключевые слова:** схема испытания, расчетная нагрузка, контрольная нагрузка, монтажная схема.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что указывается в схеме испытаний?
2. Что указывается в монтажной схеме?
3. Сколько минут выдерживают конструкцию под нагрузкой на каждой ступени загрузки?

4. Для чего производят обработку материалов испытания?
5. Что включает в себя графическое построения экспериментальных данных.

### **Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## **ЛЕКЦИЯ №9 ИСПЫТАНИЯ ФУНДАМЕНТНЫХ БЛОКОВ И КОЛОНН**

### **План лекции:**

1. Испытание фундаментных блоков.
2. Испытание колонн.
3. Испытание коротких консолей колонн.

### **Испытание фундаментных блоков**

Целью испытания является экспериментальная проверка несущей способности и характер работы фундаментных башмаков. С целью приближения условий работы к действительным принимается схема испытания фундаментных башмаков, с экспериментальными приложения сил  $l = 2 \text{ см}$  относительно геометрической осей колонн. Испытания проводят в гидравлическом прессе.

В процессе испытаний определяют нагрузку, соответствующую появлению первых трещин, максимальную нагрузку, смещение колонны, характер трещинообразования и величину раскрытия трещин, горизонтальные и вертикальные деформаций бетона. Загружают ступенями 500 кН (50тс). Заключение предельным состоянием является не прочность, а

трещиностойкость, на что влияет прочность раствора.

### **Испытание колонн**

Испытание колонн проводится на гидравлическом прессе. Загружение образцов колонн осуществляется этапами по 300 кН (30тс). Оценка прочности, жесткости и трещиностойкости внецентренно сжатой железобетонной колонны считается по прочности годной по заданную нагрузку в случае, если разрушающие нагрузки превышает расчетную не менее чем в 1,6 раза.

М – индикаторы, Д – тензорезисторы.

Продольные деформации опытных образцов колонн измеряют в трех сечениях по высоте установленными тензорезисторами. Эти же деформации в середине колонны измеряли индикаторами часового типа на базе 500 мм, которые устанавливают в средней части колонны по два прибора в каждой грани.

### **Испытание коротких консолей колонны**

Цель проверки прочности, жесткости и трещиностойкости узлов сопряжения ригелей с колоннами каркаса.

Общий вид узла

трещ.100 кН (10тс)

Первые трещины появляются в зоне их примыкания к колонне у верхней опорной грани. Разрушение происходит по наклонному сечению с развитием трещины, идущей от точки приложения нагрузки вниз к основанию консоли.

**Ключевые слова:** фундаментные башмаки, трещиностойкость, индикаторы часового типа.

**Контрольные вопросы:**

1. Цель испытания фундаментных блоков.
2. Как устанавливают тензорезисторы при испытании колонн?
3. В какой зоне появляется первые трещины при испытании коротких консолей колонн?

**Литература:**

6. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.
7. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
8. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
9. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
10. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.

## **ЛЕКЦИЯ № 10 ИСПЫТАНИЕ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЙ И СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ.**

**План лекции:**

1. Испытание панелей перекрытия.
2. Испытания стеновых панелей.
3. Испытание ригелей.

**Испытания панелей перекрытий**

Статические испытания панелей перекрытий проводят с целью контрольной проверки оценки прочности, жесткости и трещиностойкости.



На схеме испытания панели показан порядок расстановки измерительных приборов, а так же изображено, как равномерно распределенная нагрузка на опыте заменяется сосредоточенными грузами.

Панель загружают 25 тн гидравлическими домкратами ДГ-25. Нагрузка от домкратов передается равномерно по площади панели через систему распределительных траверс.

Загружение проводят ступенями, составляющими 0,2 от контрольной нагрузки по проверке жесткости изделия. После каждой ступени загрузки снимают отсчеты по приборам; панель осматривают и фиксируют имеющиеся трещины. После контрольной нагрузки дается выдержка в течение 1ч.

В ходе испытаний производят следующие замеры:

- а) прогибов панелей в середине пролета – прогибомерами с ценой деления 0,01 мм;
- б) осадки опор панелей – индикаторами часового типа с ценой деления 0,01мм;
- в) ширина раскрытия трещин в панели – переносной биннокулярной лупой с ценой деления 0,05 мм.

Прочность бетона определяется испытанием на сжатие контрольных кубов.

График прогиба панели  
перекрытия

## **Испытания стеновых панелей**

Испытания стеновых несущих панелей проводили с целью определения прочности и деформативности панелей, а так же деформативно прочностных характеристик бетона в панелях и по опорному сечению.

Испытываемый образец представляет собой часть внутренней несущей стены, смонтированной из натурной панели и трех элементов платформенного стыка: двух фрагментов плит перекрытий и фрагмента верхней части, расположенной ниже панели в виде железобетонной распределительной балки.

Образцы панелей монтируют, с соблюдением проектных характеристик платформенного стыка, на силовой плите в испытательном стенде и испытывают на центральное сжатие. По длине панели нагрузка создается двумя гидравлическими домкратами.

Распределение усилий, создаваемых домкратами, осуществляется по длине панели металлической траверсой. Нагрузка на опытные образцы подается ступенями.

В процессе испытаний по установленным приборам производят замеры:

а) продольных деформаций бетона панели – тензорезисторами, установленными в трех исследуемых сечениях по высоте панели с шагом 200 мм;

б) поперечных деформаций бетона – тензорезисторами устанавливаемыми на нижней опорной поверхности панели, примыкавшей к стыку, а так же на баковых торцах в зоне стыка;

в) горизонтальных смещений панели из ее плоскости – прогибомерами, устанавливаемыми в трех уровнях по высоте панели;

г) деформаций растворных швов платформенного стыка над и под плитами перекрытий – индикаторами, установленными по длине швов;

д) горизонтальных смещений плит перекрытий в двух уровнях по их высоте – индикаторами на торцах плит перекрытий.

Разрушение как правило происходит в опорных зонах панелей раздроблением бетона вдоль верхней опорной зоны или скалыванием бетона вдоль кромок нижней опорной зоны панели.

### **Испытания ригелей**

Для испытания принимают статически определенную схему двухконсольной балки, в которой испытываемый ригель составляет среднюю пролетную часть, а консольную часть составляют отрезки ригелей.

Для создания крутящих моментов нагрузка смещается с продольной оси закрепления ригелей. Нагрузки на консоли, вызывающую опорные моменты, прикладывают так же не несимметрично.

Испытание ригелей проводят двумя этапами. На первом этапе определяют прогиб посередине пролета и угла поворота опорных сечений при нормативной нагрузке. На втором этапе последовательно доводят до разрушения пролетную часть ригеля и опорные сечения с целью проверки прочности. Одновременно проводят наблюдения за развитием пластических деформаций в монтажных планках.

В процессе загрузки опытных образцов проводят наблюдение за появлением и раскрытием трещин.

**Ключевые слова:** равномерно распределенная нагрузка, сосредоточенные грузы, гидравлические домкраты, система распределенных траверс.

### **Контрольные вопросы:**

1. В сколько этапов производят испытание ригелей?
2. Какие замеры производят в ходе испытаний панелей перекрытий?
3. Цель проведения испытания стеновых панелей.

### **Литература:**

1. В.В.Судаков «Контроль качества и надежность железобетонных конструкций» Л., Стройиздат, 1980.

2. Г.Я.Почтовик, А.Б.Злочевский, А.И.Яковлев «Методы и средства испытания строительных конструкций» М., Высшая школа, 1973.
3. А.Г.Комар, Е.Н.Дубровин и другие. «Испытания сборных железобетонных конструкций» М., Высшая школа, 1980.
4. Д.Е.Долидзе «Испытание конструкций и сооружений» М., Высшая школа, 1975.
5. В.Н.Масточенко «Испытание строительных конструкций на моделях» М., Высшая школа, 1972.