

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

---

М.С. Плешко, М.В. Плешко

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**  
**В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Учебно-методическое пособие  
для лабораторных работ

Ростов-на-Дону  
2017

УДК 69(07) + 06

Рецензент – доктор технических наук, профессор В.И. Куштин

**Плешко, М.С.**

Методы решения научно-технических задач в строительстве: учебно-методическое пособие для лабораторных работ / М.С. Плешко, М.В. Плешко; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 23 с.: ил., табл. – Библиогр.: с. 22.

Представлены основные теоретические положения и порядок выполнения лабораторных работ по дисциплине «Методы решения научно-технических задач в строительстве».

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов всех форм обучения направления магистратуры «Строительство».

Одобрено к изданию кафедрой «Изыскания, проектирование и строительство железных дорог».

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение  | 4  |
| Лабораторная работа №1. Изучение закономерностей взаимодействия оснований и фундаментов транспортных сооружений на специализированном стенде «Геотек» | 5  |
| Лабораторная работа № 2. Экспериментальное исследование и мониторинг железобетонных конструкций   | 9  |
| Лабораторная работа №3. Экспериментальное исследование и мониторинг металлических конструкций   | 14 |
| Лабораторная работа №4. Численное моделирование объекта транспортной инфраструктуры в ПК ЛИРА. Статистический анализ данных                           | 17 |
| Библиографический список  | 22 |

## ВВЕДЕНИЕ

Магистратура позволяет получить более глубокое образование по выбранному направлению, а также сменить специализацию, вуз, город или страну где проходит обучение. Степень магистра дается магистранту после окончания обучения в магистратуре на базе уровня бакалавра или специалиста и защиты дипломного проекта (работы). Само название происходит от латинского «*magister*» – «наставник, учитель, руководитель».

Подготовка магистра отличается от программы обучения специалиста получением дополнительных теоретических и практических знаний. Зачисление в магистратуру производится на конкурсной основе с учетом предыдущего опыта самостоятельной творческой и научной работы студента за время обучения и его успеваемости.

В программу подготовки магистра входит большой блок учебных курсов научной направленности.

Целью дисциплины "Методы решения научно-технических задач в строительстве" является расширение и углубление подготовки в составе других базовых и вариативных дисциплин блока "Блок 1 - Дисциплины (модули)" Образовательной программы в соответствии с требованиями, установленными федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования для формирования у выпускника общепрофессиональных, профессиональных компетенций, способствующих решению профессиональных задач в соответствии с видами профессиональной деятельности, предусмотренными учебным планом и профильной направленностью магистерской программы "Проектирование, сооружение и эксплуатация объектов транспортной инфраструктуры".

Для достижения цели поставлены задачи ведения дисциплины:

- подготовка магистранта по разработанной в университете Образовательной программе к успешной аттестации планируемых результатов освоения дисциплины;
- подготовка магистранта к прохождению практик "Производственная";
- подготовка магистранта к научно-исследовательской работе и семинару;
- подготовка магистранта к итоговой аттестации;
- развитие социально-воспитательного компонента учебного процесса.

# **Лабораторная работа № 1**

## **ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ СТЕНДЕ «ГЕОТЕК»**

### **Основные теоретические положения**

Определение деформаций фундамента и величин осадок окружающей земной поверхности при строительстве новых объектов является сложной геотехнической задачей, требующей изучения полных полей напряжений и деформаций в основании и конструкциях, более точного моделирования поведения грунтов под нагрузкой, максимального приближения геометрических параметров расчетной схемы к реальным условиям. Одним из эффективных способов такого исследования, широко применяемого для решения различных геотехнических задач, является метод эквивалентных материалов.

Метод эквивалентных материалов позволяет в наглядной форме изучать механизм развития различных геологических и инженерно-геологических процессов. Наиболее эффективно применение метода на стадиях детальных инженерно-геологических исследований, когда имеются представительные данные об объекте строительства.

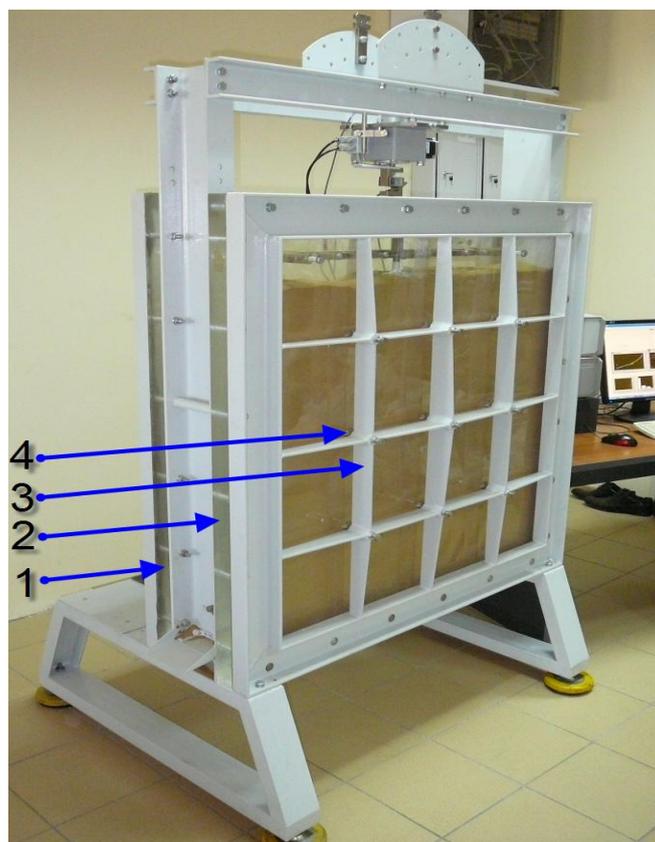
Сущность метода эквивалентных материалов заключается в том, что на физических моделях с известными допущениями и при соблюдении условий подобия изучаются различные физические процессы и результаты этих исследований используются для обоснования тех или иных проектных решений. В основе метода лежит теория механического подобия Ньютона, которая предполагает геометрическое, кинематическое и динамическое подобия.

Модель грунтового массива должна представлять копию уменьшенного геологического разреза пород в натуре на всю глубину от поверхности земли до нижней границы влияния фундамента.

Моделирование осуществляется с помощью специализированного стенда (рис. 1.1), предназначенного для проведения лабораторных и научно-исследовательских работ. Стенд позволяет проводить испытания различных типов фундаментов и подземных сооружений в условиях плоской и осесимметричной деформации.

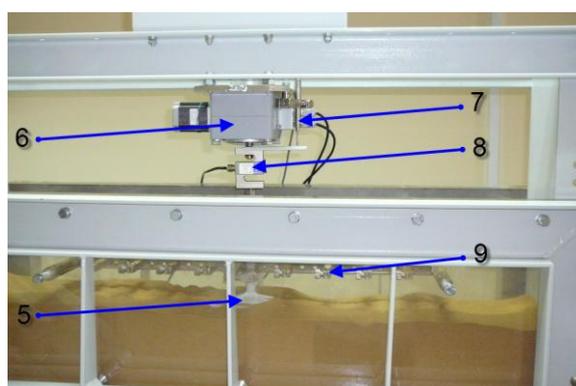
Конструкция стенда включает в себя плоский лоток с прозрачными передней 1 и задней 2 стенками, выполненные из оргстекла толщиной 50 мм. Для исключения деформирования стенок опорная рама стенда усилена двумя стальными решетками 3, в узлах которых установлены зажимные винты 4.

Внешняя нагрузка создается ступенями при помощи редуктора под управлением шаговым двигателем 6 (рис. 1.2). Нагрузка передается на земную поверхность с помощью штампа 5. Вертикальное перемещение модели фундамента измеряется датчиком перемещения 7, а нагрузка датчиком силы 8. Деформация (осадка) поверхности грунта измеряется датчиками перемещения, которые закрепляются на траверсе 9.



**Рис. 1.1. Стенд для испытаний подземных сооружений методом эквивалентных материалов**

Датчики перемещения 7 и силы 8 подключаются через блок электроники и интерфейс к персональному компьютеру. Модель фундамента располагается в грунте на заданной глубине. Для выгрузки песчаного грунта или иного сыпучего материала в основании стенда предусмотрены два открывающихся люка и два контейнера.



**Рис. 1.2. Конструкция загрузочного устройства**

Управление процессом испытаний осуществляется автоматизировано посредством электронно-преобразующего блока на 8 каналов и ноутбука с установленной программой Geotek-Foundation, которая разработана в среде Lab View.

Программа Geotek-Foundation организует работу с датчиками вертикальной деформации, датчиками вертикальной нагрузки и шаговым двигателем, которые подключены к электронно-преобразующему блоку. Пример рабочего окна программы представлен на рис. 1.3.



**Рис. 1.3. Окно программы Geotek-Foundation: процесс испытания**

С помощью Geotek-Foundation оператор станда осуществляет:

- управление процессом испытаний (нагрузением и разгрузкой) моделей фундамента и основания;
- ввод и хранение данных об испытаниях;
- визуализацию процесса испытания;
- протоколирование хода испытания и хранение протокола.

### **Порядок выполнения работы**

1. Лоток станда заполняется песчаным грунтом с послойным уплотнением до проектной отметки подошвы фундамента.
2. Модель фундамента опускается в станд и выводится в проектное положение, после чего производится засыпка и уплотнение песчаного грунта до проектной отметки земной поверхности.
3. Датчики перемещений закрепляются на траверсе станда в соответствии с принятой схемой установки.
4. Станд, блок электроники и ноутбук подключаются к системе электропитания.
5. Открывается окно программы Geotek-Foundation на закладке «Схема – нагружения».
6. Создается схема нагружения модели фундамента в соответствии с индивидуальным вариантом (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Индивидуальные варианты для создания схемы нагружения модели фундамента

| № варианта | Количество ступеней нагружения | Величины нагрузок по ступеням, кПа |
|------------|--------------------------------|------------------------------------|
| <i>1</i>   | <i>2</i>                       | <i>3</i>                           |
| 1          | 3                              | 100, 170, 240                      |
| 2          | 3                              | 110, 190, 280                      |
| 3          | 3                              | 250, 300, 350                      |
| 4          | 3                              | 350, 400, 450                      |
| 5          | 3                              | 400, 450, 500                      |
| 6          | 3                              | 75, 150, 225                       |
| 7          | 3                              | 100, 125, 150                      |
| 8          | 3                              | 125, 150, 175                      |
| 9          | 3                              | 150, 175, 200                      |
| 10         | 3                              | 175, 200, 225                      |
| 11         | 3                              | 200, 225, 250                      |
| 12         | 3                              | 225, 250, 275                      |
| 13         | 3                              | 250, 275, 300                      |
| 14         | 3                              | 275, 300, 325                      |
| 15         | 3                              | 300, 325, 350                      |
| 16         | 3                              | 325, 350, 375                      |
| 17         | 3                              | 350, 375, 400                      |
| 18         | 3                              | 375, 400, 425                      |
|            | 3                              | 400, 425, 450                      |
| 19         | 4                              | 50, 100, 150, 200                  |
| 20         | 4                              | 100, 200, 300, 400                 |
| 21         | 4                              | 100, 150, 200, 250                 |
| 22         | 4                              | 150, 200, 250, 300                 |
| 23         | 4                              | 250, 300, 350, 450                 |
| 24         | 4                              | 300, 350, 400, 450                 |
| 25         | 4                              | 350, 400, 450, 500                 |
| 26         | 4                              | 375, 400, 425, 450                 |
| 27         | 4                              | 400, 425, 450, 475                 |
| 28         | 4                              | 425, 450, 475, 500                 |
| 29         | 4                              | 60, 90, 120, 150                   |
| 30         | 5                              | 50, 100, 150, 200, 250             |
| 31         | 5                              | 100, 200, 300, 400, 500            |
| 32         | 5                              | 100, 150, 200, 250, 300            |
| 33         | 5                              | 150, 200, 250, 300, 350            |
| 34         | 5                              | 200, 250, 300, 350, 400            |
| 35         | 5                              | 250, 300, 350, 400, 450            |
| 36         | 5                              | 300, 350, 400, 450, 500            |
| 37         | 5                              | 200, 225, 250, 275, 300            |
| 38         | 5                              | 225, 250, 275, 300, 325            |
| 39         | 5                              | 250, 275, 300, 325, 350            |
| 40         | 5                              | 275, 300, 325, 350, 375            |

7. Проверяются показания датчиков силы и перемещений.
8. Запускается процесс испытания.
9. По результатам испытаний формируется отчет в табличной форме (табл. 1.2) с помощью программы Geotek-Foundation.

Таблица 1.2 – Результаты испытаний модели фундамента

| № ступени | Нагрузка, кПа | Величина вертикальных перемещений, мм по датчику № |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
|-----------|---------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|--|
|           |               | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |  |
| 1         |               |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 2         |               |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 3         |               |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 4         |               |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |
| 5         |               |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |  |

10. Выполняется анализ полученных данных, строятся графики зависимости осадки фундамента и деформирования земной поверхности от нагрузки в соответствии с индивидуальным заданием.

11. На основании анализа делается вывод о закономерностях деформирования модели фундамента и деформирования земной поверхности при ступенчатом режиме нагружения.

## **Лабораторная работа № 2**

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Цель работы:** выполнить экспериментальное исследование и мониторинг железобетонной конструкции с помощью ультразвукового низкочастотного томографа A1040 MIRA.

#### **Оборудование и материалы:**

1. Ультразвуковой низкочастотный томограф A1040 MIRA.
2. Ноутбук со специализированным программным обеспечением.
3. Железобетонный элемент фундамента с внутренними пустотами и инородными включениями.

#### **Основные теоретические положения**

Ультразвуковой томограф A1040 MIRA предназначен для контроля конструкций из бетона, железобетона и камня при одностороннем доступе к ним с целью определения целостности материала в конструкции, поиска инородных включений, полостей, непроливов, расслоений и трещин, а также измерения толщины объекта контроля (рис. 2.1). Возможен контроль объектов с толщиной до 2-х метров.



**Рис. 2.1. Внешний вид томографа ультразвукового низкочастотного A1040 MIRA**

Томограф представляет собой полностью автономный измерительный блок, которым проводят сбор и томографическую обработку полученных данных. Измерительный блок содержит матричную антенную решетку из 48 (12 блоков по 4 элемента в каждом) низкочастотных широкополосных преобразователей поперечных волн с сухим точечным контактом и керамическими износостойкими наконечниками (рис. 2.2). Это обеспечивает их продолжительное использование по грубым поверхностям, без применения контактной жидкости. Каждый преобразователь имеет независимый пружинный подвес, что позволяет проводить контроль по неровным поверхностям. Номинальная рабочая частота решетки 50 кГц.



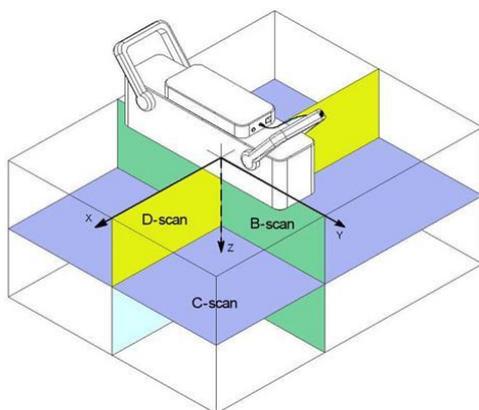
**Рис. 2.2. Антенная решетка ультразвукового низкочастотного томографа A1040 MIRA**

На лицевой стороне прибора расположен TFT дисплей и клавиатура, которые позволяют настраивать прибор на объект контроля, выбирать необходимые режимы работы, проводить контроль и предварительный анализ.

Работа томографа осуществляется от съемного аккумулятора, который обеспечивает до 5 часов непрерывной работы. Также возможно питание прибора напрямую от сети переменного тока.

В приборе используется метод синтезированной фокусируемой апертуры с комбинационным зондированием (САФТ-К), при котором происходит фокусировка ультразвука в каждую точку полупространства. Массив данных форми-

руется путем сбора информации со всех измерительных пар антенного устройства томографа. Принимаемые антенной решеткой сигналы обрабатываются на встроенном компьютере непосредственно в процессе работы. Затем полученные данные представляются на экране прибора и сохраняются во встроенной флэш-памяти. В результате получается наглядный образ сечения объекта контроля (В-тип), где разными цветами (в зависимости от выбранной цветовой схемы) закодирована отражающая способность каждой точки визуализируемого объема (рис. 2.3).



**Рис. 2.3. Схема расположения плоскостей сканирования**

Время сбора данных и вывода на экран образа сечения в одной позиции решетки – 3 сек. Для расширенной обработки данных с помощью специализированного программного обеспечения существует возможность передать их на внешний компьютер.

Время сбора данных и вывода на экран образа сечения в одной позиции решетки – 3 сек. Для расширенной обработки данных с помощью специализированного программного обеспечения существует возможность передать их на внешний компьютер.

В томографе реализовано два основных режима работы.

Режим «ОБЗОР» предназначен для оперативного просмотра внутренней структуры конструкции в произвольных местах. На экране отображается В-томограмма на глубину до 2 метров.

Дополнительно в данном режиме возможно:

- автоматическое определение скорости распространения ультразвуковой волны.
- измерение координат и уровней образов в томограмме.
- измерение толщины конструкции.
- просмотр В-Сканов (рис. 2.4).

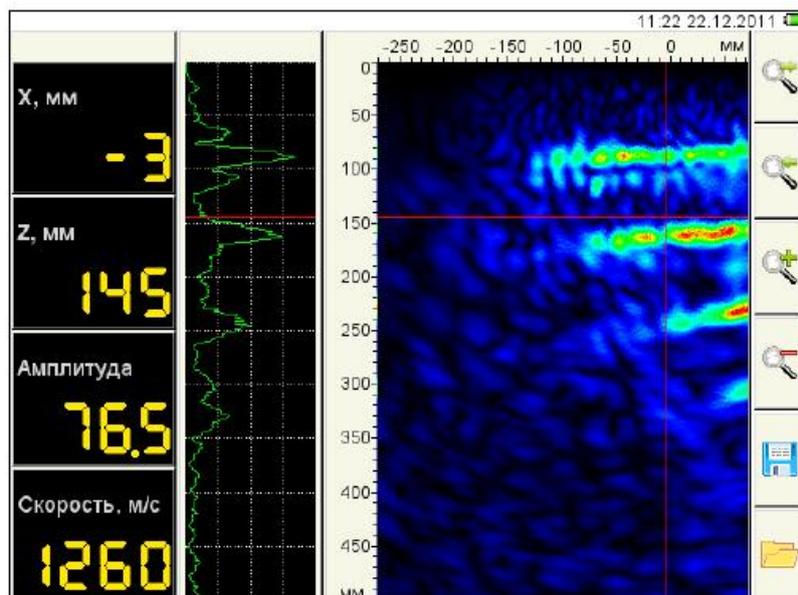


Рис.2.4. Пример рабочего окна экрана томографа в режиме «Обзор»

Режим «КАРТА» предназначен для формирования массива данных в форме набора В-томограмм объекта контроля (перпендикулярных поверхности) при сканировании антенной решеткой вдоль ранее размеченных линий с постоянным шагом (рис. 2.5). Из накопленного 3-х мерного массива данных можно выводить на экран любое изображение В-типа.

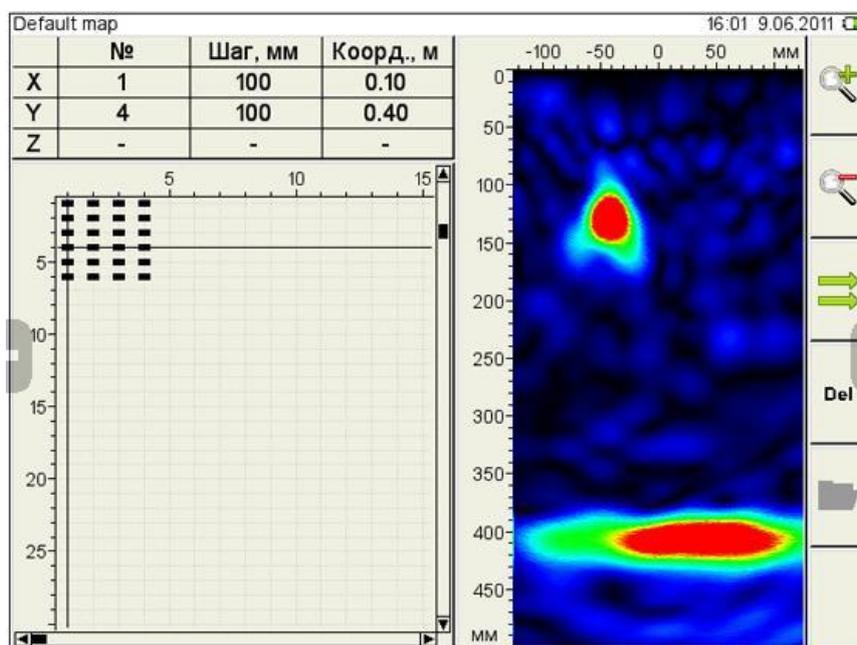


Рис. 2.5. Пример рабочего окна экрана томографа в режиме «Карта»

Контроль проводится по схеме пошагового сканирования объекта контроля с объединением данных и реконструкцией объема под всей отсканированной площадью объекта контроля.

Томограф А1040 МІРА поставляется в комплекте со специализированным программным обеспечением для расширенной обработки собранных данных на внешнем компьютере.

Программа обеспечивает считывание данных из прибора и представления их как в виде томограмм, так и в 3-х мерном объемном виде, что облегчает понимание конфигурации внутренней структуры бетонного объекта контроля.

Для каждого отражателя можно определить координаты его залегания в объекте контроля.

### Порядок выполнения работы

1. Исследуемая поверхность очищается от пыли и других загрязнений, мешающих проникновению низкочастотных ультразвуковых волн.

2. Составляется схема сканирования в соответствии с индивидуальным вариантом (табл. 2.1). Начало координат соответствует верхнему левому углу поверхности. Ось X направлена от начала координат вправо, ось Y – вниз.

Таблица 2.1 – Индивидуальные задания для проведения исследования элемента железобетонного фундамента ультразвуковым томографом

| № варианта | Координаты начальной точки сканирования по осям X и Y, мм | Ширина изображения, мм | Высота изображения, мм | Шаг по оси X, мм | Шаг по оси Y, мм |
|------------|---|------------------------|------------------------|------------------|------------------|
| 1          | 0, 50   | 600                    | 250                    | 50               | 50               |
| 2          | 0, 100  | 600                    | 250                    | 50               | 50               |
| 3          | 0, 150  | 600                    | 250                    | 50               | 50               |
| 4          | 0, 200  | 600                    | 200                    | 50               | 50               |
| 5          | 0, 250  | 600                    | 200                    | 50               | 50               |
| 6          | 0, 300  | 600                    | 200                    | 50               | 50               |
| 7          | 0, 350  | 600                    | 200                    | 50               | 50               |
| 8          | 0, 400  | 600                    | 150                    | 50               | 50               |
| 9          | 0, 450  | 600                    | 150                    | 50               | 50               |
| 10         | 0, 500  | 600                    | 150                    | 50               | 50               |
| 11         | 100, 50   | 500                    | 250                    | 50               | 50               |
| 12         | 100, 100  | 500                    | 250                    | 50               | 50               |
| 13         | 100, 150  | 500                    | 250                    | 50               | 50               |
| 14         | 100, 200  | 500                    | 200                    | 50               | 50               |
| 15         | 100, 250  | 500                    | 200                    | 50               | 50               |
| 16         | 100, 300  | 500                    | 200                    | 50               | 50               |
| 17         | 100, 350  | 500                    | 200                    | 50               | 50               |
| 18         | 100, 400  | 500                    | 150                    | 50               | 50               |
| 19         | 100, 450  | 500                    | 150                    | 50               | 50               |
| 20         | 100, 500  | 500                    | 150                    | 50               | 50               |
| 21         | 200, 50   | 400                    | 250                    | 50               | 50               |
| 22         | 200, 100  | 400                    | 250                    | 50               | 50               |
| 23         | 200, 150  | 400                    | 250                    | 50               | 50               |
| 24         | 200, 200  | 400                    | 200                    | 50               | 50               |
| 25         | 200, 250  | 400                    | 200                    | 50               | 50               |
| 26         | 200, 300  | 400                    | 200                    | 50               | 50               |
| 27         | 200, 350  | 400                    | 200                    | 50               | 50               |
| 28         | 200, 400  | 400                    | 150                    | 50               | 50               |

3. На рабочую поверхность элемента фундамента наносится сетка с размером квадрата 50x50 мм в соответствии с индивидуальным вариантом.

4. Включается прибор (включение происходит с десятисекундной задержкой, повторное нажатие приведет к выключению прибора).

5. Включается режим НАСТРОЙКА и производится настройка параметров для работы прибора.

6. Производится проверка прибора. Томограф помещается в место поверхности, где заранее известна внутренняя структура объекта, плотно прижимается к исследуемой поверхности, после чего нажимается кнопка начала зондирования (кнопка «пуск» на ручке томографа). Проверка производится в режиме ОБЗОР путем анализа полученного изображения В-Скана с фактической внутренней структурой объекта.

7. Производится местный контроль. Томограф помещается центральную часть заданной области сканирования, нажимается и отпускается кнопка «пуск» на ручке томографа. Производится несколько сканирований. Полученные сканы изображения анализируются, и делается предварительный вывод о внутренней структуре исследуемого объекта. Данные, получаемые при контроле в этом режиме, не записываются автоматически, поэтому их следует записывать при необходимости вручную, как отдельные кадры.

8. Производится сплошной контроль. Для этого выбирается режим КАРТА, задаются ее параметры в соответствии с индивидуальным вариантом. Прибор помещается в точку начала сканирования, которое отмечено разметкой на исследуемой поверхности и нажать кнопку зондирования. Далее, прибор помещается в следующее положение в соответствии с ранее размеченной сеткой. Таким способом проходится вся область сканирования.

9. Полученные данные передаются на ноутбук, где с помощью специализированной программы строятся характерные сканы и 3D-модель исследуемой области элемента железобетонного фундамента.

10. Полученные данные анализируются, делается вывод достоверности полученных с помощью ультразвукового томографа данных о внутренней структуре элемента железобетонного фундамента.

### **Лабораторная работа №3** **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ** **МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Цель работы:** экспериментальное исследование и мониторинг металлических конструкций с помощью научно-исследовательского комплекса «Модель несущих конструкций промышленного здания» МКПЗ-7ЛР- 11.

**Оборудование и материалы:**

1. Научно-исследовательский комплекс «Модель несущих конструкций промышленного здания» МКПЗ-7ЛР- 11.

2. Компьютер с пакетом программ MS Office 2013 и программой МКПЗ.

## Основные теоретические положения

Научно-исследовательский комплекс "Модель несущих конструкций промышленного здания» МКПЗ-7ЛР-11 представлен на рисунке 3.1.

Научно-исследовательский комплекс включает в себя:

1. Стенд «Модель несущих конструкций промышленного здания» МКПЗ-7ЛР-11 состоящий из:

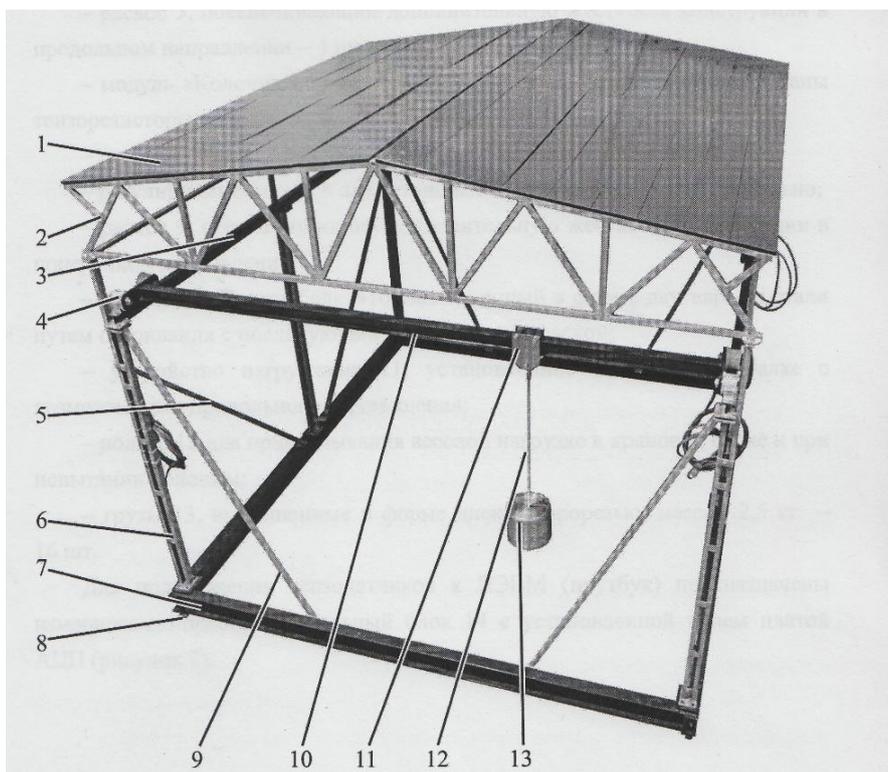
- грузы 1, выполненные в форме полос, для нагружения модуля «Перекрытие здания» - 36 шт;
- модуль «Перекрытия здания» 2, выполненный в виде ферменной конструкции из алюминиевой профильной трубы сечением 12x12x1,2 мм;
- модуль «Подкрановая балка» 3, выполненный в форме двутавра из стали путем сваривания с последующей полимерной окраской – 2 шт;
- опорные катки 4, установленные на модуле «Крановая балка», для обеспечения возможности перемещения модуля «Крановая балка» с весовой нагрузкой вдоль модуля «Подкрановая балка» - 4 шт;
- раскос 5, обеспечивающий дополнительную жесткость конструкции в продольном направлении – 4 шт;
- модуль «Колонна здания» 6 – 6шт, на два из которых смонтированы тензорезисторы по 9 шт. на модуль;
- основание-рама 7 для установки всех модулей;
- регулируемые опоры 8 для установки основания-рамы горизонтально;
- раскос 9, обеспечивающий дополнительную жесткость конструкции в поперечном направлении;
- модуль «Крановая балка» 10, выполненный в форме двутавра из стали путем сваривания с последующей полимерной окраской;
- устройство нагружения 11, установленное на крановой балке с возможностью продольного перемещения;
- подвес 12 для прикладывания весовой нагрузки к крановой балке и при испытании колонны;
- грузы 13, выполненные в форме диска с прорезью, массой 2,5 кг – 16 шт.

Габаритные размеры стенда: ширина 1872 мм, глубина 1760мм, высота – 1200мм, масса без грузов – 120 кг. Весовая нагрузка, имитирующая распределенное воздействие со стороны перекрытия здания – 2,2 кН, весовая нагрузка, имитирующая воздействие на крановую балку – 400 Н

2. Компьютер с установленным программным обеспечением «Модель промышленного здания»

3. Измерительно преобразовательный блок мощностью 200 Вт

4. Плата АЦП Е14-140, установленная внутри измерительно-преобразовательного блока, подключенная к компьютеру через USB кабель.



**Рис. 3.1. Научно-исследовательский комплекс «Модель несущих конструкций промышленного здания» МКПЗ-7ЛР-11**

Стенд «Модель несущих конструкций промышленного здания» МКПЗ-7ЛР-11 представляет собой модель несущих конструкций, применяемых при строительстве промышленных одноэтажных зданий. На элементы конструкций установлены тензорезисторы, позволяющие определять деформации в различных точках конструкции как при ее монтаже, так и при последующем нагружении. Нагрузки, действующие на элементы стенда, создают путем установки грузов в различные точки стенда.

Сигналы с тензорезисторов усиливаются и выводятся на компьютер через измерительно-преобразовательный блок и плату АЦПЕ14-140.

### **Порядок выполнения работы**

1. Включить компьютер, дождаться загрузки операционной системы.
2. Установить на раму-основание стенда модули, проверить надежность затяжки соединений на собранной конструкции.
3. Включить питание измерительно-преобразовательного блока и выждать 15-20 минут для прогрева тензорезисторов и усилителей.
4. Запустить на компьютере программу «Модель промышленного здания».
5. Проконтролировать выход датчиков и усилителей на стационарный тепловой режим: после балансировки изменение показаний не должно меняться более чем на 3 единицы в течении 5 минут.
6. Провести нагружение модулей весовой нагрузкой, выполнить все необходимые замеры.

7. Выполнить процедуры мониторинга и занести показания тензорезисторов в таблицу.

8. Произвести статистическую обработку данных, выявить основные зависимости. Построить графики

9. Сделать выводы.

### Индивидуальные задания

Индивидуальные задания для каждого варианта представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Индивидуальные задания по вариантам

| № варианта | Индивидуальное задание   |
|------------|--|
| 1          | Выявить закономерности изменения деформаций в стержнях перекрытия, опертого на «жесткое» основание, при действии внешней нагрузки              |
| 2          | Выявить закономерности изменения деформаций в колонне, опертой на «жесткое» основание, при сборке модели здания                                |
| 3          | Выявить закономерности изменения деформаций в подкрановой балке при сборке модели здания   |
| 4          | Выявить закономерности изменения деформаций в колонне, опертой на «жесткое» основание, при действии нагрузок от перекрытия и подкрановой балки |
| 5          | Выявить закономерности изменения деформаций в стержнях перекрытия, опертого на модуль «Колонна», при действии внешней нагрузки                 |
| 6          | Выявить закономерности изменения деформаций в подкрановой балке в составе здания   |
| 7          | Выявить закономерности изменения деформаций в крановой балке в составе здания  |
| 8          | Выполнить сравнительный анализ деформирования металлических конструкций при изменении крановой нагрузки  |
| 9          | Выполнить сравнительный анализ деформирования металлических конструкций при изменении внешней нагрузки.  |
| 10         | Выявить закономерности изменения деформаций в нижнем поясе фермы, опертого на модуль «Колонна», при действии внешней нагрузки                  |
| 11         | Выявить закономерности изменения деформаций в верхнем поясе фермы, опертого на модуль «Колонна», при действии внешней нагрузки                 |
| 12         | Выявить закономерности изменения деформаций в нижнем поясе фермы, опертого на модуль «Колонна», при действии крановой нагрузки                 |
| 13         | Выявить закономерности изменения деформаций в верхнем поясе фермы, опертого на модуль «Колонна», при действии крановой нагрузки                |

### Лабораторная работа №4

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В ПК ЛИРА. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ

**Цель работы:** разработка и расчет численной модели объекта транспортной инфраструктуры с использованием программного комплекса ЛИРА. Статистический анализ данных.

## Оборудование и материалы:

1. Персональный компьютер с монитором.
2. Пакет программ MS Office 2013.
3. Программный комплекс ЛИРА.

## Основные теоретические положения

Сущность метода конечных элементов (МКЭ) заключается в том, что область, занимаемая телом, разбивается на конечное количество подобластей, например, треугольников для плоской модели или тетраэдров для пространственной (рис. 4.1). Последние носят название конечных элементов (КЭ), а сам процесс разбивки – дискретизацией.

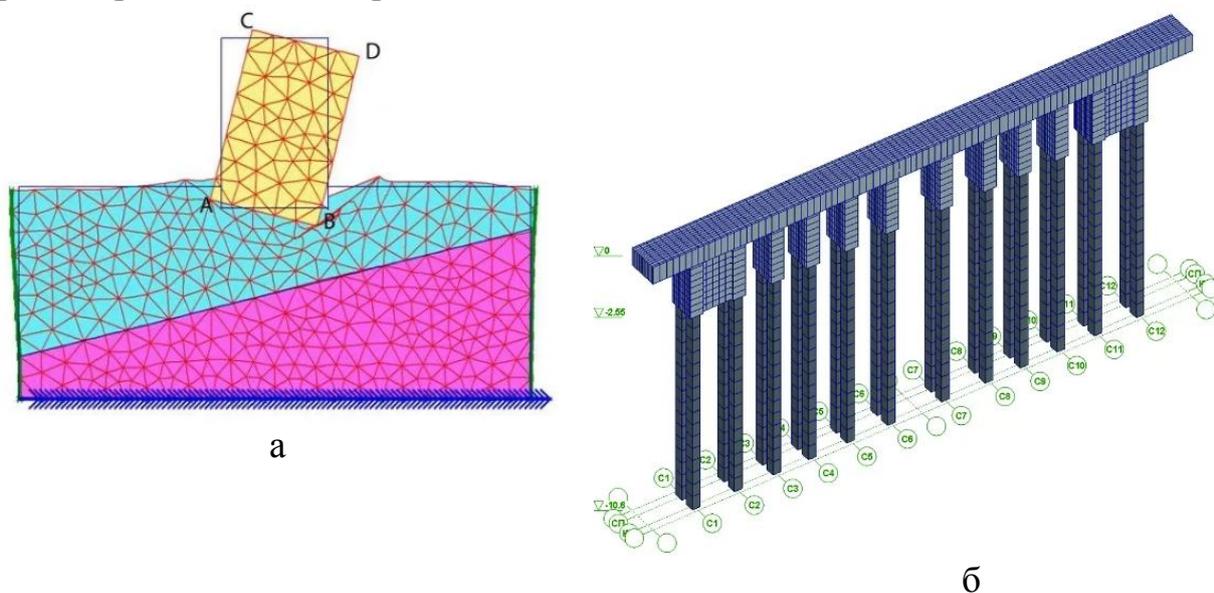


Рис. 4.1. Примеры конечно-элементных моделей:

а – плоская; б – объемная

Затем внутри каждого элемента разбиения задается приближенная функция в максимально простой форме – обычно это полином, как правило, третьей или четвертой степени. Точность приближения повышается за счет более мелкого разбиения области. Составляется система линейных алгебраических уравнений. Количество уравнений равно количеству неизвестных значений в узлах, на которых ищется решение исходной системы, прямо пропорционально количеству элементов и ограничивается только возможностями компьютерной техники.

Возникновение метода конечных элементов связано с решением задач космических исследований в 1950-х годах. Идея МКЭ была разработана в СССР ещё в 1936 г., но из-за неразвитости вычислительной техники метод не получил развития, поэтому впервые был применён на ЭВМ лишь в 1944 г. И. Аргирисом.

Существенный толчок в своём развитии МКЭ получил в 1963 г. после того, как было доказано, что его можно рассматривать как один из вариантов распространённого в строительной механике метода Рэлея-Ритца, который путём ми-

нимизации потенциальной энергии сводит задачу к системе линейных уравнений равновесия. После того, как была установлена связь МКЭ с процедурой минимизации, он стал применяться к задачам, описываемым уравнениями Лапласа или Пуассона. Область применения МКЭ значительно расширилась, когда было установлено (1968 г.), что уравнения, определяющие элементы в задачах, могут быть легко получены с помощью вариантов метода взвешенных невязок, таких как метод Галёркина или метод наименьших квадратов. Это сыграло важную роль в теоретическом обосновании МКЭ, так как позволило применять его при решении многих типов дифференциальных уравнений. Таким образом, метод конечных элементов превратился в общий метод численного решения дифференциальных уравнений или систем дифференциальных уравнений.

Широкому распространению МКЭ для решения геомеханических задач способствовали труды Б.З. Амусина и Д.К. Фадеева. Сегодня МКЭ применяется для решения самого широкого класса задач при проектировании новых и анализе напряженно-деформированного состояния существующих транспортных тоннелей с помощью современных программных пакетов ANSYS, COSMOS/M, Лира-Windows, SCAD GROUP, STAAD Pro, FEM models, PLAXIS, RobotMillennium, FLAC (ItascaCompany), ABAQUS, ADAPT, CRISP, SOFiSTiK, CivilFEM, LS-DYNA, Z\_SOIL и др.

### **Порядок выполнения работы**

1. Создание задачи. Для того чтобы начать работу с ПК ЛИРА 10.4, выполните следующую команду Windows: Пуск Программы (Все программы) LiraSoft Lira 10.4. После запуска ПК ЛИРА 10.4 открывается редактор начальной загрузки, который позволяет:

- создать новый проект;
- открыть недавно использовавшиеся проекты;
- открыть или импортировать проекты хранящиеся на компьютере;
- выполнить пакетный расчет.

Для создания нового проекта необходимо указать:

- имя создаваемой задачи – расчет обделки;
- описание – Расчет обделки тоннеля, автор Иванов И.И.;
- тип создаваемой задачи - Плоская задача.

2. Создание геометрии расчетной схемы. На основании исходного чертежа обделки определяются координаты узлов плоской модели обделки, чтобы размеры грани конечного элемента не превышали 10 см. Далее осуществляется ввод узлов и конечных элементов типа трехузловые и четырехузловые пластины. После этого формируется сетка конечных элементов окружающего грунтового массива в соответствии с исходными инженерно-геологическими условиями с постепенным увеличением граней конечных элементов от 10 см до 100 см. Общие размеры модели по высоте и ширине должны составлять порядка 10 максимальных размеров сечения обделки для исключения влияния граничных условий.

3. Задание граничных условий численной модели. Граничные условия задаются в виде ограничения перемещений узлов нижней и боковых граней численной модели по нормали к ним.

4. Задание сечений. С помощью меню «Редакторы - Редактор сечений/жесткостей» задаются сечения конечных элементов модели.

5. Задание свойств материалов. С помощью меню «Редакторы - Редактор материалов» задаются свойства материалов обделки и грунтового массива.

6. С помощью меню «Редакторы - Редактор параметров конструирования», задаются параметры конструирования модели. После этого производится назначение сечений, материалов и параметров конструирования элементам расчетной схемы.

7. Задание загружений модели. С помощью меню «Редакторы - Редактор загружений» формируются расчетные сочетания усилий. Далее необходимо назначить нагрузки с помощью меню «Схема - Назначить нагрузки».

8. Расчет модели при различных режимах нагружения. Задача отправляется на расчет с помощью меню «Расчет - Выполнить расчет».

9. Просмотр и статистический анализ результатов расчета. После расчета задачи переход в режим результатов расчета осуществляется автоматически. На экран выводятся основные эпюры напряжений и перемещений модели, формуруются таблицы с результатами и составляется сводный отчет. Выявляются основные зависимости, строятся графики.

10. На основании анализа полученных результатов делается вывод о работоспособности конструкции при различных режимах нагружения.

#### **Индивидуальные варианты для выполнения лабораторий работы:**

1. Разработка и расчет численной модели фундамента при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

2. Разработка и расчет численной модели железнодорожного пути при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

3. Разработка и расчет численной модели искусственного сооружения на железной дороге при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

4. Разработка и расчет численной модели металлического железнодорожного моста при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

5. Разработка и расчет численной модели железобетонного железнодорожного моста при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

6. Разработка и расчет численной модели обделки однопутного железнодорожного тоннеля при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

7. Разработка и расчет численной модели обделки двухпутного железнодорожного тоннеля при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

8. Разработка и расчет численной модели портала железнодорожного тоннеля при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.
9. Разработка и расчет численной модели сервисной штольни железнодорожного тоннеля при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.
10. Разработка и расчет численной модели безбалластного пути при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.
11. Разработка и расчет численной модели жилого дома при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.
12. Разработка и расчет численной модели вокзала при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.
13. Разработка и расчет численной модели офисного здания при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.
14. Разработка и расчет численной модели производственного здания при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.
15. Разработка и расчет численной модели свайного фундамента при различных режимах нагружения. Статистический анализ данных.

## Библиографический список

1. Ли Р.И. Основы научных исследований [Электронный ресурс]: Учебное пособие/ Ли Р.И.— Электрон. текстовые данные. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. – 190 с. ЭБС "IPRbooks".
2. Гусева Е.Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. Флинта, 2011 г. – 220 с. ЭБС "КнигаФонд".
3. СП 119.13330.2012. Железные дороги колеи 1520 мм. Актуализированная редакция СНиП 32-01-95 – Введ. 2013-01-01. – М., 2012. – 56 с.
4. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* – Введ. 2011-05-20. – М., 2011. – 85 с.
5. СП 122.13330.2012. Тоннели железнодорожные и автодорожные». Актуализированная редакция СНиП 32-04-97 – Введ. 2013-01-01. – М., 2012. – 132 с.
6. СП 46.13330.2012 Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 3.06.04-91. - Введ. 2011-05-20.-М. 2012.

*Учебное издание*

**Плешко Михаил Степанович**  
**Плешко Марианна Викторовна**

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ  
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Печатается в авторской редакции

Технический редактор Т.В. Бродская

Подписано в печать 14.11.17. Формат 60×84/16.  
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 1,39.  
Тираж            экз. Изд. № 90813. Заказ

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

---

Адрес университета:  
344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, д. 2.