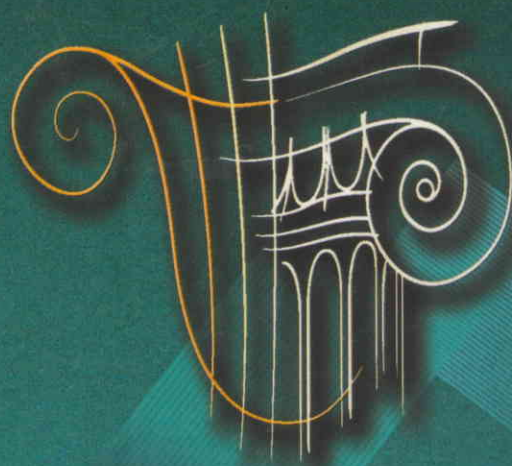


А.С. Городецкий, В.С. Шмуклер, А.В. Бондарев

<http://hnugh.b77.net.ua/contact-us/>

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Киев — Харьков — 2003



**ГОРОДЕЦКИЙ Александр Сергеевич,**  
доктор технических наук, профессор.  
Область научных интересов:  
информационные технологии  
проектирования объектов строительства  
**E-mail:** alex-gor@gor.kiev.ua



**ШМУКЛЕР Валерий Семенович,**  
доктор технических наук, профессор.  
Область научных интересов:  
конструктивные системы, методы их  
расчета и оптимизации  
**E-mail:** V\_Sh mukler@hotmail.com



**БОНДАРЕВ Александр Владимирович,**  
магистр.  
Область научных интересов:  
системы автоматизированного расчета  
конструкций  
**E-mail:** alex\_bond@ua.fm

**А.С. ГОРОДЕЦКИЙ, В.С. ШМУКЛЕР, А.В. БОНДАРЕВ**

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Рекомендовано Министерством образования и  
науки Украины в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений



**Киев - Харьков**

**2003**

ББК 38.2

Г 70

УДК 624.04:681.324.06:721.011.1

Рецензенты: Академик-секретарь отделения строительных наук Российской Академии архитектуры и строительных наук, д-р техн. наук, профессор Н.И. Карпенко

Заслуженный деятель науки и техники Украины, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, лауреат премии НАНУ им. академика Динника, д-р техн. наук, профессор А.О. Рассказов

Гриф выдан Министерством образования и науки Украины,  
письмо № 14/18.2-564 от 19.03.03

**Городецкий А.С., Шмуклер В.С., Бондарев А.В.**

Г 70

Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.

ISBN 966-593-309-4

Книга представляет собой учебное и справочное пособие по информационным технологиям расчета и проектирования строительных конструкций.

Она предназначена для широкого круга читателей: студентов строительных, транспортных и дорожных факультетов университетов, инженеров, занятых строительным проектированием, научных работников, преподавателей и аспирантов.

В книге последовательно рассмотрены теория и реализация метода конечных элементов, его применение для решения задач линейной и нелинейной механики деформируемого твердого тела и теории конструкций, а также задач регулирования и оптимизации параметров строительных систем. Изложены принципы построения и содержательная часть автоматизированных технологий расчета и проектирования конструкций. Особое внимание уделено описанию правил работы с программным комплексом ЛИРА.

В книге приведено значительное количество примеров, взятых из практики рабочего проектирования. Решение примеров оформлено в виде технологической последовательности работы на компьютере, имеющей подробную информацию о функционировании комплекса ЛИРА и представленную в виде экранов монитора, содержащих все необходимые комментарии.

Книга являє собою навчальний і довідковий посібник з інформаційних технологій розрахунку і проектування будівельних конструкцій.

Вона призначена для широкого кола читачів: студентів будівельних, транспортних і дорожніх факультетів університетів, інженерів, зайнятих будівельним проектуванням, науковців, викладачів і аспірантів.

У книзі послідовно розглянуті теорія і реалізація методу скінцевих елементів, його застосування для вирішення задач лінійної і нелінійної механіки твердого тіла, що деформується, і теорії конструкцій, а також задач регулювання й оптимізації параметрів будівельних систем. Викладено принципи побудови і змістовної частини автоматизованих технологій розрахунку і проектування конструкцій. Особлива увага приділена опису правил роботи з програмним комплексом ЛІРА.

У книзі наведена значна кількість прикладів, узятих із практики робочого проектування. Рішення прикладів оформлено у вигляді технологічної послідовності роботи на комп'ютері, яка має докладну інформацію про функціонування комплексу ЛІРА і подана у вигляді екранів монітора, що містять усі необхідні коментарі.

This is a reference book on information technologies for analysis and design of building structures.

This book will be useful for students of building, transport and road-building departments of universities, civil and structural engineers, postgraduates, lecturers and scientists.

The book deals with theory and implementation of FEM, its application for problems of linear and nonlinear mechanics for deformed solid and theory of structures, problems of parameter optimization in structural systems. The book presents fundamentals and description of information technologies for analysis and design of structures. Special attention is given to description of LIRA software.

The book provides a large number of examples taken from real-world situations. Chapter 5 is structured as a training manual. This is a step-by-step guide for solving engineering problems with LIRA software.

ISBN 966-593-309-4

© А.С. Городецкий, 2003  
В.С. Шмуклер, 2003  
А.В. Бондарев, 2003

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**Предисловие** ..... 11

**Глава 1. СОВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА  
КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ)** ..... 15

1.1. Основные положения ..... 15

1.2. Выбор координатных функций ..... 18

1.3. Исследование конечных элементов (КЭ) ..... 26

1.4. Сравнение различных типов конечных элементов ..... 37

1.5. Связь МКЭ с другими методами строительной механики ..... 39

**Глава 2. ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ  
МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА** ..... 43

2.1. Схема решения задач ..... 43

2.2. Стержневые системы ..... 44

2.3. Пластинчатые системы (плоское напряженное состояние) ..... 47

2.4. Тонкие изгибаемые плиты ..... 51

2.5. Оболочечные системы ..... 59

2.6. Конструкции на упругом основании ..... 61

2.7. Массивные конструкции (трехмерное напряженное состояние) ..... 73

2.8. Основные вопросы алгоритмизации МКЭ ..... 76

2.9. Составление канонических уравнений МКЭ ..... 77

2.10. Решение систем уравнений высоких порядков ..... 80

2.11. Определение компонентов напряженно-деформированного  
состояния КЭ ..... 83

2.12. Реализация различных граничных условий ..... 84

2.13. Применение суперэлементов для расчета сложных систем ..... 87

**Глава 3. ПРИМЕНЕНИЕ МКЭ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НЕЛИНЕЙНОЙ  
МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА** ..... 95

3.1. Вариационная постановка задачи. Сходимость МКЭ ..... 95

3.2. Построение нелинейных разрешающих уравнений МКЭ ..... 100

3.3. Решение систем нелинейных уравнений ..... 103

Оглавление

3.4. Расчет железобетонных конструкций с учетом нелинейных свойств материала ..... 121

3.5. Учет специфики деформирования железобетонных конструкций, находящихся в условиях сложного напряженного состояния ..... 131

3.6. Некоторые аспекты построения адекватных расчетных схем для прямых задач строительной механики ..... 141

**Глава 4. СОВРЕМЕННЫЕ РАСЧЕТНЫЕ И КОНСТРУИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ** ..... 189

4.1. Краткий обзор расчетных программных комплексов ..... 189

4.2. Современные направления разработки и особенности функционирования проектирующих систем ..... 193

4.3. Программный комплекс ЛИРА ..... 200

4.3.1. ЛИР-ВИЗОР – единая интуитивная среда пользователя ..... 202

4.3.2. Процессор ..... 207

4.3.3. ЛИР-АРМ – проектирующая система железобетонных конструкций ..... 215

4.3.4. ЛИР-СТК – проектирующая система стальных конструкций ..... 216

4.3.5. ЛИР-ДОК – документирующая среда ..... 217

4.4. Программный комплекс МОНОМАХ ..... 219

**Глава 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ** ..... 229

5.1. **Пример № 1. Плоская рама. Создание расчетной схемы** ..... 229

5.1.1. Запуск программы ..... 234

5.1.2. Создание новой задачи ..... 235

5.1.3. Построение геометрической схемы рамы ..... 238

5.1.4. Выбор компонентов расчетной схемы и ее корректировка ..... 243

5.1.4.1. Идентификация элементов расчетной схемы ..... 243

5.1.4.2. Операции корректировки ..... 244

5.1.4.2.1. Удаление лишних компонентов ..... 246

5.1.4.2.2. Добавление элементов ..... 249

5.1.5. Упаковка схемы ..... 249

5.1.6. 1

5.1.7. 3

5.1.8. 1

5.1.9. 3

5.1.10. 1

5.1.11. 1

5.1.12. 1

5.1.13. 1

5.2. **Прим**

5.2.1. 1

5.2.2. 1

5.3. **Прим**

5.3.1. 1

5.3.2. 1

5.3.3. 1

5.3.4. 1

5.3.5. 1

5.3.6. 1

5.3.7. 1

5.3.8. 1

5.4. **Прим**

5.4.1. 1

5.4. 1

со

5.4. 1

с р

5.5. **Прим**

состо

5.5.1. 1

5.6. **Прим**

5.6.1. 1

5.7. **Прим**

5.7.1. 1

5.8. **Прим**

... для статического расчета многопролетной неразрезной ...  
 ... Сечения пролетов могут быть разными, имеется ...  
 ... нагрузка в трех загружениях задается произвольная.  
 ... углов поворота, изгибающих моментов и

121	5.1.6. Визуализация модели .....	251
131	5.1.7. Задание связей и шарниров .....	255
141	5.1.8. Назначение шарниров .....	259
	5.1.9. Задание жесткостных характеристик элементов.....	262
	5.1.10. Глобальные, местные и локальные системы координат .....	272
	5.1.11. Задание внешних статических нагрузок .....	276
	5.1.12. Информация о компонентах модели .....	289
189	5.1.13. Библиотека конечных элементов ПК ЛИРА.....	293
189	5.2. <b>Пример № 1.</b> Выполнение расчета.....	297
	5.2.1. Нормальный ход решения задачи.....	297
	5.2.2. Аварийное завершение расчета.....	302
193	5.3. <b>Пример № 1.</b> Анализ и документирование .....	306
200	5.3.1. Рабочее окно. Просмотр и анализ результатов расчета .....	306
202	5.3.2. Всплывающее меню системы ЛИР-ВИЗОР.....	313
207	5.3.3. Графическое отображение модели и результатов расчета.....	314
	5.3.4. Графический документатор.....	319
215	5.3.5. Интерактивные таблицы .....	326
216	5.3.6. Составление отчета .....	331
217	5.3.7. Стандартные выходные таблицы.....	332
219	5.3.8. Пояснительная записка к расчету .....	334
	5.4. <b>Пример № 2.</b> Минимизация веса балки.....	336
	5.4.1. Последовательность действий при выполнении расчета .....	345
229	5.4.1.1. Шаг 1. Создание балки постоянного сечения, состоящей из 12 конечных элементов (1-я балка) .....	345
229	5.4.1.2. Шаг 2. Создание балки из 12 конечных элементов с различными поперечными сечениями (3-я балка) .....	384
234	5.5. <b>Пример № 3.</b> Исследование напряженно-деформированного состояния висячей стены .....	403
235	5.5.1. Последовательность действий при выполнении расчета .....	406
238	5.6. <b>Пример № 4.</b> Усиление тонкостенной конструкции.....	506
243	5.6.1. Последовательность действий при выполнении расчета .....	512
243	5.7. <b>Пример № 5.</b> Рама гражданского здания .....	586
244	5.7.1. Последовательность действий при выполнении расчета .....	589
246	5.8. <b>Пример № 6.</b> Рама промышленного здания.....	689

Оглавление

5.8.1. Последовательность действий при выполнении расчета.....692

5.8.2. Расчет и конструирование сечений железобетонных элементов в системе ЛИР-АРМ.....796

5.8.3. Конструирование сечений стальных элементов в системе ЛИР-СТК .....817

**Приложение 1 .....851**

**Приложение 2 .....859**

**Список литературы .....881**

Forec

Cha

1.1.

1.2. S

1.3. I

1.4. C

1.5. I

Chap

2.1. I

2.2. I

2.3. I

2.4. 7

2.5. S

2.6. S

2.7. I

2.8. 7

2.9. C

2.10. S

2.11. C

2.12. I

2.13. S

Chap

3.1. I

3.2. I

3.3. I

3.4. I

3.5. I

Программа предназначена для интерпретации на неравномерной сетке заданной функции и вычисления значений и интерполяции функции от заданных аргументов.



**CONTENTS**

**Foreword**..... 11

**Chapter 1. MODERN DESCRIPTION OF FEM**..... 15

1.1. General notes ..... 15

1.2. Selection of component functions ..... 18

1.3. Research on finite elements (FE)..... 26

1.4. Comparison of various FE types ..... 37

1.5. Relationship between FEM and other methods of building mechanics ..... 39

**Chapter 2. APPLICATION OF FEM TO PROBLEMS OF LINEAR MECHANICS FOR DEFORMED SOLID**..... 43

2.1. Method of solution..... 43

2.2. Bar systems ..... 44

2.3. Plate systems (plane stress) ..... 47

2.4. Thin slabs in bending..... 51

2.5. Shell systems..... 59

2.6. Structures on elastic foundation..... 61

2.7. Massive structures (three-dimensional stress)..... 73

2.8. Algorithmization of FEM ..... 76

2.9. Canonical equations of FEM ..... 77

2.10. Systems of high-degree equations ..... 80

2.11. Components of stress-deformation state of FE ..... 83

2.12. Different boundary conditions..... 84

2.13. Super-elements for analysis of complex structures ..... 87

**Chapter 3. APPLICATION OF FEM TO PROBLEMS OF NONLINEAR MECHANICS FOR DEFORMED SOLID**..... 95

3.1. Various problem definitions. Convergence of FEM ..... 95

3.2. Nonlinear equations of FEM ..... 100

3.3. Systems of nonlinear equations ..... 103

3.4. Analysis of reinforced concrete structures with account of nonlinear parameters of material ..... 121

3.5. Specific deformations of reinforced concrete structures subjected to combined stress..... 131

3.6. Creation of adequate design models for direct problems of building mechanics .....	141
<b>Chapter 4. MODERN DESIGN AND ANALYSIS SOFTWARE .....</b>	<b>189</b>
4.1. Analysis software – an overview.....	189
4.2. Modern tendencies in development and peculiarities of functioning for design software .....	193
4.3. Software package LIRA .....	200
4.3.1. LIR-VISOR – unified graphic environment .....	202
4.3.2. Solver.....	207
4.3.3. LIR-ARM – design system for reinforced concrete structures.....	215
4.3.4. LIR-STC – design system for steel structures.....	216
4.3.5. DOCUMENTER – documentation system .....	217
4.4. Software package MONOMAKH .....	219
<b>Chapter 5. SIMULATION OF STRESS-DEFORMATION STATE OF STRUCTURES.....</b>	<b>229</b>
5.1. <b>Example 1. 2D frame. Creating design model .....</b>	<b>229</b>
5.1.1. Running the software.....	234
5.1.2. Creating new problem .....	235
5.1.3. Defining problem geometry for the frame .....	238
5.1.4. Selecting and editing components of design model .....	243
5.1.4.1. Identifying elements of design model.....	243
5.1.4.2. Editing options .....	244
5.1.4.2.1. Deleting redundant components.....	246
5.1.4.2.2. Adding elements.....	249
5.1.5. Packing model .....	249
5.1.6. Visualizing model.....	251
5.1.7. Defining restraints and hinges.....	255
5.1.8. Assigning hinges .....	259
5.1.9. Defining element properties .....	262
5.1.10. Global coordinate system, local coordinate systems for nodes and elements.....	272
5.1.11. Applying external static loads .....	276
5.1.12. Information about components of the model .....	289
5.1.13. FE library in LIRA software .....	293

5.2. E	5
5.3. E	5
5.4. E	5
5.5. E	5
5.6. E	5
5.7. E	5
5.8. E	5
Apper	
Apper	
Refer	

5.2. <b>Example 1. Performing analysis</b> .....	297
5.2.1. Ordinary solution.....	297
5.2.2. Abnormal end of the program .....	302
5.3. <b>Example 1. Analysis and documentation</b> .....	306
5.3.1. Working area. Evaluating and interpreting analysis results.....	306
5.3.2. Pull-down menus of LIRA software .....	313
5.3.3. Graphical representation of the model and analysis results.....	314
5.3.4. DOCUMENTER .....	319
5.3.5. Interactive tables.....	326
5.3.6. Report .....	331
5.3.7. Standard tables.....	332
5.3.8. Explanatory notes to the analysis .....	334
5.4. <b>Example 2. Minimizing the beam weight</b> .....	336
5.4.1. Sequence of operations during analysis .....	345
5.4.1.1. Step 1. Create constant-section beam that contains 12 finite elements (1 <sup>st</sup> beam) .....	345
5.4.1.2. Step 2. Create beam that contains 12 finite elements with different cross-sections (3 <sup>rd</sup> beam).....	384
5.5. <b>Example 3. Investigating stress-deformation state of the wall</b> .....	403
5.5.1. Sequence of operations during analysis .....	406
5.6. <b>Example 4. Strengthening the thin-walled structure</b> .....	506
5.6.1. Sequence of operations during analysis .....	512
5.7. <b>Example 5. Frame of civil structure</b> .....	586
5.7.1. Sequence of operations during analysis .....	589
5.8. <b>Example 6. Frame of industrial structure</b> .....	689
5.8.1. Sequence of operations during analysis .....	692
5.8.2. Analysis and design of reinforced concrete structures in design system LIR-ARM .....	796
5.8.3. Analysis and design of steel structures in design system LIR-STC.....	817
<b>Appendix 1</b> .....	851
<b>Appendix 2</b> .....	859
<b>References</b> .....	881

**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:**

- $A$  – дифференциальный оператор задачи;
- $u$  – вектор перемещений;
- $f$  – вектор внешних нагрузок;
- $B$  – матрица операций дифференцирования;
- $D$  – матрица упругости;
- $\Omega$  – область рассматриваемой задачи;
- $I(u)$  – функционал полной потенциальной энергии системы;
- $\Pi$  – потенциальная энергия деформации;
- $W$  – работа внешних сил;
- $\sigma$  – вектор напряжений;
- $\varepsilon$  – вектор деформаций;
- $\varphi$  – вектор координатных функций;
- $q$  – вектор степеней свободы;
- $K$  – матрица жесткости всей системы;
- $P$  – вектор внешней нагрузки в узлах;
- $\Omega_r$  – область  $r$  конечного элемента;
- $K_r$  – матрица жесткости  $r$  конечного элемента
- $H_A$  – энергетическое пространство задачи.

Каким образом вещи конструируются именно такими, какие они есть? Что же именно вкладывает в свое изделие его создатель, чтобы заставить его производить должное эстетическое впечатление? Короткий ответ будет, наверное, таким: свой собственный характер и свои собственные внутренние ценности.

Джеймс Э. Гордон

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные информационные технологии расчета и проектирования строительных объектов, основанные на быстро развивающихся технических платформах и операционных средах компьютеров, позволяют интенсивно совершенствовать расчетные схемы, повышая уровень их адекватности и степень корректности создаваемой модели. В настоящее время, процедура моделирования, как правило, реализуется на основе метода конечных элементов (МКЭ), позволяющего отразить и учесть при проектировании такие специфические моменты как:

- особенности совместного деформирования элементов сложных комбинированных систем, состоящих из стержней, пластин, оболочек, массивных тел, вант и так далее;
- особенности поведения под нагрузкой конструкций со сложной структурой (изменчивость механико-геометрических характеристик в пределах элемента, наличие вырезов, полостей, ребер жесткости, точечных и непрерывных опор и т.д.);
- особенности, связанные с конструкцией узлов, как правило, характеризующихся различной податливостью при различных видах воздействий;
- особенности, связанные с видом нагружений: статическое, динамическое, температурное и т.д.;
- особенности, связанные с учетом процесса возведения, когда на отдельных этапах строительства может существенно меняться конструктивная схема сооружения;

## Предисловие

- особенности, связанные с реологическими свойствами материала - пластичность, ползучесть, релаксация, усадка, а также трещинообразование, обуславливающие "приспособляемость" конструкций;
- особенности учета, при необходимости, регулирования напряженно-деформированным состоянием отдельных конструктивов и системы в целом;
- особенности эксплуатации алгоритмов оптимального проектирования.

К перечисленному следует присовокупить относительную простоту организации обмена информацией с проектирующими системами, что является следствием каноничности представления данных в методе конечных элементов. Тем не менее, и это особенно важно помнить инженерам и исследователям-прикладникам, метод конечных элементов является численным, то есть приближенным методом математической физики. Сказанное предопределяет необходимость знания не только его основных положений и формальных процедур, но и таких атрибутов, как сходимость решения, устойчивость, оценка точности.

В связи с этим, авторы сочли необходимым в первых трех главах привести основы МКЭ, представив этот материал, с одной стороны, в достаточно строгом виде (кратко приводятся теоретические основы МКЭ, доказательства его сходимости, в том числе и для нелинейных задач), с другой, большинство теоретических положений снабдить физической сутью и проиллюстрировать конкретными численными примерами, т.е. основные теоретические положения изложить с "инженерной" точки зрения. Данные разделы могут быть полезными как начинающим для ознакомления с МКЭ, так и специалистам, занятым разработкой собственных программ. В связи с чем, для наиболее распространенных конечных элементов приводятся матрицы жесткости в аналитическом виде.

В третьей главе, при изложении алгоритмов расчета конструкций, учитывающих нелинейности разных видов, обсуждаются вопросы использования МКЭ для решения задач регулирования напряженно-деформированным состоянием и оптимизации параметров строительных систем. Этот

разде  
пряме  
цией  
также  
Ч  
проек  
средст  
широ  
автор  
ность  
вать,  
можно  
смысл  
может  
с ПК  
для сп  
зирова  
инфор  
инфор  
логию  
О  
больш  
ются в  
чающ  
ных ра  
числен  
татов.  
Пр  
ванны  
ется н  
мость  
сание

раздел, по нашему мнению, будет полезным инженерам при реализации прямых проектных задач, а также исследователям, занятым рационализацией конструктивных решений. Материал первых трех глав может быть также использован при составлении курсового изложения МКЭ.

Четвертая глава посвящена описанию качественных особенностей проектирующих систем, функционирующих на основе программных средств, реализующих МКЭ. В связи с чем, приводится характеристика широко известного программного комплекса ЛИРА, к созданию которого авторы имеют прямое отношение. Учитывая определенную универсальность представления информации в этом комплексе, можно констатировать, что ознакомление с этой главой обеспечит, в какой-то мере, возможность работы с любым другим программным средством аналогичной смысловой направленности. Следует также отметить, что этот раздел может рассматриваться как лапидарное изложение инструкции по работе с ПК ЛИРА. Приведенный материал, кроме того, представляет интерес для специалистов, занятых созданием и эксплуатацией систем автоматизированного проектирования объектов строительства, так как содержит информацию о структуре и функционировании прикладного программно-информационного обеспечения, задающего принципиально новую технологию строительного проектирования.

Основой книги авторы считают пятую главу. Ее объем занимает большую часть. Здесь на шести представительных примерах прослеживаются все этапы информационных технологий расчета конструкций, включающие анализ принятых конструктивных решений, составление адекватных расчетных схем, конечноэлементное моделирование, реализацию вычислений, использующую ПК ЛИРА, визуализацию и обсуждение результатов.

При этом, в примерах рассмотрены достаточно сложные комбинированные системы, сопротивление которых внешним воздействиям отличается нелинейным характером. Подобная ситуация обусловила необходимость построения специальных итерационных алгоритмов, подробное описание которых приведено в главе, с сопровождением необходимыми ком-

ментариями. Рассмотренные задачи являются поводом не только для детального изучения правил работы с ПК ЛИРА, но и для постановок и решений других не менее сложных проблем.

Данный раздел может быть полезен как опытным специалистам, занятым совершенствованием расчетных схем, так и специалистам, осваивающим ПК ЛИРА. Последнее утверждение основано на том факте, что в инструктивных материалах ПК ЛИРА отсутствуют подробные указания по работе на компьютере, включающие описание всей технологии и последовательно отражающие этапы формирования модели, решения задачи, анализа результатов. Поэтому эта часть, в определенной степени, дополняет инструкцию ПК ЛИРА. В то же время она может лечь в основу изложения курса ПК ЛИРА в высших учебных заведениях.

Таким образом, настоящая работа носит комплексный характер и может рассматриваться как учебное и справочное пособие для инженеров и студентов. Научные работники, занятые затронутыми в ней проблемами, и разработчики соответствующего прикладного программного обеспечения также найдут здесь для себя, по нашему мнению, полезную информацию.

В заключение авторы выражают благодарность за понимание, терпимость и творческое отношение рецензентам книги: действительному члену Российской Академии строительных наук и архитектуры, доктору технических наук, профессору Николаю Ивановичу Карпенко и заслуженному деятелю науки и техники Украины, лауреату Государственной премии Украины в области науки и техники, лауреату премии НАНУ им. академика Динника, доктору технических наук, профессору Александру Олеговичу Рассказову.



## Глава 1. СОВРЕМЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

### 1.1. Основные положения

Метод конечных элементов МКЭ [25,34,62,63,64,66,68] рассматривается ниже в форме перемещений, т.е. для случаев, когда искомой разрешающей функцией служит перемещение. Это вызвано тем, что выбор расчетной схемы для МКЭ в перемещениях легко поддается алгоритмизации, а практическое использование МКЭ немислимо без применения современных компьютеров.

Краёвые задачи механики в операторном виде записываются так:

$$Au \equiv -(Bu)^T DBu = f. \quad (1.1)$$

Свойства дифференциального оператора  $A$  для задач механики (положительная определенность, самосопряженность) позволяют осуществить вариационную постановку этих задач, т.е. заменить задачу решения дифференциальных уравнений (1.1) задачей нахождения минимума функционала

$$I(u) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (Au, u) d\Omega - \int_{\Omega} f u d\Omega = \frac{1}{2} \int_{\Omega} (Bu)^T DBu - \int_{\Omega} f u d\Omega. \quad (1.2)$$

Это значит, что значения  $u$  доставляющие минимум функционалу (1.2), в то же время являются и решением системы (1.1). Вариационная постановка задачи имеет определенные преимущества, которые вытекают из того, что порядок дифференциального оператора понижается в 2 раза. Отсюда создаются условия более удобного формулирования граничных условий, смягченных требований к координатным функциям и более простого представления разностных выражений. Используя обозначения механики функционал (1.2) можно представить в виде

$$I(u) = \Pi - W = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \varepsilon^T \sigma d\Omega - \int_{\Omega} f^T u d\Omega. \quad (1.3)$$

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков В.Н. Взаимосвязь диаграммы прочности двухосно сжатого бетона и характеристик  $\sigma$ - $\epsilon$  при одноосном сжатии и растяжении // Бетон и железобетон. – М., 1991, № 11. – С.24-26.
2. Бамбура А.Н., Бачинский В.Я., Журавлева Н.В., Пешкова И.Н. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона. – Киев, 1987. – 24 с.
3. Баничук Н.В. Оптимизация форм упругих тел. – М.: Наука, 1980. – 256 с.
4. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности, ползучести. – М.: Высшая школа, 1968. – 512 с.
5. Белопольский А.И., Шмуклер В.С., Скала Г.Ф., Ягудин К.З. Пролетное строение открытого несимметричного профиля для грузоподъемного крана. – Авторское свидетельство СССР № 1541179, 1987.
6. Берг О.Я. Физические основы теории прочности бетона и железобетона. – М.: Госстройиздат, 1962. – 96 с.
7. Берг О.Я., Хубова Н.Г., Щербаков Е.Н. Разрушение контакта между заполнителем и раствором при сжатии бетона // Изв. ВУЗов "Строительство и архитектура". – Новосибирск, 1972. – № 8.
8. Биргер И.А. Некоторые общие методы решения задач теории пластичности. – Прикладная механика и математика. – М., 1951. – Т. XV, вып. 6.
9. Бирюлев В.В. и др. Проектирование металлических конструкций. Спец. курс. Учеб. пособие для вузов. – Л.: Стройиздат, 1990. – 432 с.
10. Бондаренко В.М., Шагин А.Л., Шмуклер В.С. Комплекс программ для расчета опертых по контуру пологих оболочек с учетом физической и геометрической нелинейности. – М.: ОФАП Госстрой СССР, 1975. – 109 с.
11. Бондаренко В.М., Шагин А.Л., Шмуклер В. С. К оценке несущей способности пологих железобетонных оболочек // Сб. XI Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластин. – Харьков, 1977. – С. 12-17.
12. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин. – К.: Будівельник, 1970. – 436 с.
13. Варвак П.М. Новые методы решения задач сопротивления материалов. – К.: Вища школа, 1977. – 156 с.

14. Варвак П.М., Губерман И.О., Мирошниченко М.Н., Предтеченский Н.Д. Таблицы для расчета прямоугольных плит. – К.: Изд. АН УССР, 1959. – 419 с.
15. Венцель Э.О., Вербицкий И.Л., Наконечный Ю.Е., Шмуклер В.С. Программное обеспечение для решения бигармонического уравнения в областях сложной формы // Сб. "Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении инженерных задач". – М., 1976. – Вып. 10. – Т. XIII. – С. 6-10.
16. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Физматгиз, 1959. – 566 с.
17. Городецкий А.С. К расчету тонкостенных железобетонных конструкций в неупругой стадии. – Тр. НИИСК, 1965. – Вып. 6. – С. 86-93.
18. Городецкий А.С., Здоренко В.С. Расчет железобетонных балок-стенок с учетом образования трещин методом конечных элементов. В кн.: Сопротивление материалов и теория сооружений. – Вып. 27. – Киев: Будивельник, 1975. – С. 59-66.
19. Городецкий А.С., Здоренко В.С. Расчет железобетонных плит с учетом образования трещин методом конечных элементов. В кн.: Прикладные проблемы прочности и пластичности. – Горький: Изд. Горьковского государственного университета, 1976. – с. 48-52.
20. Городецкий А.С., Евзеров Д.И., Мельников С.Л., Максименко В.П. и др. Программный комплекс "Лири-Windows". Руководство пользователя. – К.: НИИАСС, 1996. – Том 1-8.
21. Сходимость метода конечных элементов для задач нелинейной теории упругости // А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров, В.С. Карпиловский. – Киев, 1980. – 9 с. (Деп. в УкрНИИТИ, № 2194).
22. Исследование методов решения систем уравнений, описывающих задачи нелинейной теории упругости // А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров, В.С. Карпиловский. – Киев, 1980. – 47 с. (Деп. в УкрНИИТИ, № 2195).
23. Городецкий А.С. Вопросы расчета конструкций в упругопластической стадии с учетом применения ЭЦВМ в строительной механике // Труды первого всесоюзного совещания по применению ЭЦВМ в строительной механике. – Ленинград: Издательство литературы по строительству. – 1966. – С. 169-175.

2  
Метод  
компл  
23  
ценк  
соору  
26  
тем не  
27  
неравн  
28  
ментов  
29  
ных эле  
териало  
С. 99-10  
30  
при сло  
31  
тодов о  
№ 6. – С  
32  
упругом  
А.С. Гор  
материал  
С. 180-19  
33. 3  
тирован  
34. 3  
1975. – 5  
35. И  
36. К  
212 с.  
37. К  
рованных

24. Городецкий А.С., Евзеров И.Д., Стрелец-Стрелецкий Е.Б. и др. Метод конечных элементов: теория и численная реализация. Программный комплекс «Лира-Windows». – Киев: Факт, 1997. – 137 с.
25. Городецкий А.С., Заварицкий В.И., Рассказов А.О., Лантух-Лященко А.И. Метод конечного элемента в проектировании транспортных сооружений. – Москва: Транспорт, 1981. – 142 с.
26. Давыденко Д.О. Об одном новом методе численного решения систем нелинейных уравнений. – ДАН СССР, 1953. – Т. 83, № 4. – С. 917-920.
27. Евзеров И.Д. Построение аппроксимирующих функций МКЭ на неравномерной сетке. – Киев, 1979. – 11 с. (Деп. в УкрНИИТИ, № 1466).
28. Евзеров И.Д. Оценки погрешности несовместных конечных элементов плиты. – Киев, 1979. – 9 с. (Деп. в УкрНИИТИ, № 1467).
29. Евзеров И.Д., Здоренко В.С. Сходимость прямолинейных конечных элементов при расчете криволинейных стержней // Сопротивление материалов и теория сооружений. – Киев: Будивельник, 1983. – Вып. 42. – С. 99-101.
30. Жуков А.М. О пластических деформациях изотропного металла при сложном нагружении. – М.: АН СССР, 1956. – № 12.
31. Захаров В.В. Десять распространенных тестовых функций для методов оптимизации // Автоматика и вычислительная техника. – М., 1974. – № 6. – С. 41-48.
32. Применение метода конечных элементов к расчету конструкций на упругом основании с двумя коэффициентами постели // В.С. Здоренко, А.С. Городецкий, К.П. Елеукова, В.И. Сливкер. – В кн.: Сопротивление материалов и теория сооружения. – Вып. 27. – Киев, Будивельник, 1975. – С. 180-192.
33. Зенер К. Геометрическое программирование и техническое проектирование (пер. с англ.). – М.: Мир, 1973. – 109 с.
34. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
35. Ильюшин А.А. Пластичность. – М.: Гостехиздат, 1948. – 271 с.
36. Калманок А.С. Расчет пластинок. – М.: Госстройиздат, 1959. – 212 с.
37. Канторович Л.В., Акилов Т.П. Функциональный анализ в нормированных пространствах. – М.: Физматгиз, 1977. – 742 с.

38. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. – М.: Стройиздат, 1976. – 281 с.
39. Карпиловский В.С. Конструирование несовместных конечных элементов. Киев, 1980. 50 с. (Деп. в УкрНИИТИ, № 2153).
40. Качурин В.К. Статический расчет вантовых систем. – Л.: Стройиздат, 1969. – 144 с.
41. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М.: Наука, 1972. – 496 с.
42. Королев А.Н., Крылов С.М. Способ расчета прогибов железобетонных плит, опертых по контуру, и безбалочных перекрытий при действии кратковременной нагрузки. – В кн.: Исследование прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1962. – С. 85-141.
43. Кульчицкий О.Ю., Шимелевич Л.И. О нахождении начального приближения для метода Ньютона. – ЖВМ и МФ, 1974. – Т. 14, № 4. – С. 1016-1018.
44. Лантух-Лященко А.И. Опытные данные о напряженном состоянии и несущей способности неразрезной железобетонной балки-стенки. – Тр. Таллиннского политехнического института, 1965, серия А, 208. – С. 111-117.
45. Лантух-Лященко А.И. Лири. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. – Учебное пособие. – К.-М., 2001. – 312 с.
46. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1968. – 400 с.
47. Марчук Г.И., Шайдуров В.В. Повышение точности решения разностных схем. – М.: Наука, 1979. – 319 с.
48. Математические методы в исследовании операций (под ред. Моисеева Н.Н., Краснощекова П.С.). – М.: изд. МГУ, 1981. – 192 с.
49. Михлин С.Г. Вариационные методы математической физики. – М.: Наука, 1970. – 512 с.
50. Михлин С.Г. О постоянных множителях в оценках погрешности вариационной сеточной аппроксимации. – В кн.: Записки научных семинаров. – Т. 80. – Л., 1978. – С. 125-166.
51. Обэн Ж.П. Приближенное решение эллиптических краевых задач. – М.: Мир, 1977. – 383 с.

52. Одэн Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. М., Мир, 1976. 464 с.
53. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. – М.: Госстройиздат, 1954. – 56 с.
54. Перельмутер А.В. Управление поведением несущих конструкций. – К.: УФИМБ, 1998. – 148 с.
55. Писсанецки С. Технология разреженных матриц. – М.: Мир, 1986. – 411 с.
56. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки. – М.: Высшая школа, 1992. – 319 с.
57. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81 "Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования") / ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 152 с.
58. Почтман Ю.М., Коган Е.Л. Еще раз об оптимизации формы поперечных сечений элементов конструкций // Изв. ВУЗов "Строительство и архитектура". – М., 1986. – №10. – С. 19-22.
59. Рейнболдт В., Ортега Дж. Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений. – М.: Мир, 1975. – 558 с.
60. Рейтман М.М., Шапиро Г.С. Методы оптимального проектирования деформируемых тел. – М.: Наука, 1976. – 267 с.
61. Рейтман М.И., Ярин Л.И. Оптимизация параметров железобетонных конструкций на ЭЦВМ. – М.: Стройиздат, 1974. – 96 с.
62. Розин Л.А. Метод конечных элементов. Расчет гидротехнических сооружений на ЭЦВМ. – Л.: Энергия, 1971. – 214 с.
63. Розин Л.А. Метод конечных элементов в применении к упругим системам. – М.: Стройиздат, 1977. – 132 с.
64. Розин Л.А. Задачи теории упругости и численные методы их решения. – Санкт-Петербург: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 530 с.
65. Рейтман М.И. Залог прочности. – М.: Стройиздат, 1979. – 136 с.
66. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
67. Соболев С.Л. Некоторые приложения функционального анализа в математической физике. – Л.: Изд. ЛГУ, 1950. – 255 с.

68. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. – М.: Мир, 1977. – 349 с.
69. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. – М.: Физматгиз, 1963. – 635 с.
70. Трофимович В.В., Пермяков В.А. Оптимизация металлических конструкций. – К.: Вища школа, Головне вид-во, 1983. – 200 с.
71. Федорюк М.В. Метод перевала. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
72. Феодосьев В.И. Применение цангового метода к анализу устойчивости сжатого стержня. – Прикладная механика и математика, 1963, № 2. – С. 265-274.
73. Харди Г.Г., Литтлвуд Дж. Е., Полия Г. Неравенства. – М.: Иностранная литература, 1948. – 683 с.
74. Хубова Н.Г., Щербаков Е.Н. Анализ главных направлений в двух компонентной пространственной модели бетона при сжатии // Изв. ВУЗов "Строительство и архитектура". – М., 1973. – Вып. 19.
75. Черненко Н.Г. Исследование семейств решений в задачах оптимизации статически неопределимых стержневых систем // Межвуз. сб. научн. тр. / ХарГАЖТ, 1996. – Вып. 27. – С. 39-53.
76. Шмуклер В.С. и др. Патенты Украины № 3282, 5420; патенты России № 2040399, 2057232; авт. свид. № 1571168, 1647101, 1647110, 1712558, 1738960, 1738962.
77. Шмуклер В.С. Глобальная оптимизация функционалов от многих переменных // Тез. докл. Всесоюзного симпозиума "Метод дискретных особенностей в задачах математической физики". – Харьков: Изд. ХГУ, 1985. – С. 168.
78. Шмуклер В.С. Метод интегральных градиентов в оптимизационных задачах САПР // Системы автоматизированного проектирования. – К.: Будівельник, 1989. – Вып. 6. – С. 56-62.
79. Шмуклер В.С. Об одной возможности определения несущей способности изгибаемых железобетонных элементов // Науковий вісник будівництва. – Х., 2000. – Вип. 9. – С. 63-69.
80. Шмуклер В.С. Об одной особенности оценки глобального экстремума функций качества оптимизируемых механических систем // Проблемы машиностроения. – Вып. 21. – К.: Наукова думка, 1984. – С. 69-75.

81. ций в у  
ния // "К  
Вып. 8.  
82.  
чета жел  
пряженн  
научн.-те  
83. I  
емых ко  
научн.-те  
84. I  
торых за  
Сб. "Чис  
струкций  
85. I  
следовани  
рат, инфо  
С. 26-29.  
86. Ш  
реходы в  
конструкц  
авиационн  
87. Ш  
Кагаловск  
– Авторско  
88. Ш  
ных физич  
формируем  
89. Ab  
controlled s  
dings and co  
Moscow. R  
90. Ag  
solutions of

81. Шмуклер В.С. Оптимизация параметров строительных конструкций в условиях регулирования их напряженно-деформированного состояния // "Коммунальное хозяйство городов": Респ. межвед. научн.-техн. сб. – Вып. 8. – К.: "Техника", 1997. – С. 3-14.
82. Шмуклер В.С. Улучшение сходимости итерационных методов расчета железобетонных конструкций, находящихся в условиях сложного напряженного состояния // "Коммунальное хозяйство городов": Респ. межвед. научн.-техн. сб. – Вып. 9. – К.: "Техника", 1997. – С. 16-21.
83. Шмуклер В.С. Формализация процедуры формирования управляемых конструкций // "Коммунальное хозяйство городов": Респ. межвед. научн.-техн. сб. – Вып. 15. – К.: "Техника", 1998. – С. 49-53.
84. Шмуклер В.С., Водолазская Н.В. Численный метод решения некоторых задач глобальной оптимизации функционалов специального вида // Сб. "Численные методы расчета тонкостенных пространственных конструкций". – К.: УМК ВО, 1988. – С. 173-177.
85. Шмуклер В.С., Гуровая Л.А., Кошмай Н.Д. Экспериментальное исследование деформирования бетона в условиях двухосного сжатия // Реферат, информ. о законченных НИР в ВУЗах УССР. – К., 1976. – Вып. 10. – С. 26-29.
86. Шмуклер В.С., Романовский С.Г., Гринберг Л.И. Предельные переходы в теории глобальной оптимизации функций качества авиационных конструкций // Научно-метод. материалы по прикладным методам расчета авиационных конструкций. – Харьков: Изд. ХГУ, 1986. – Вып. 2. – С. 36-40.
87. Шмуклер В.С., Станиславская Т.З., Кац И.Г., Белопольский А.И., Кагаловский А.Б., Наконечный Ю.Е. Пролетное строение мостового крана. – Авторское свидетельство СССР № 751786.
88. Шмуклер В.С., Шмуклер И.В. Напряженное состояние неодносвязных физически нелинейных сред // Сб. "Вопросы механики твердого деформируемого тела". – Харьков: Изд. ХАИ, 1986.
89. Abovskiy N.P. Energy principle and its application for the creation of controlled structures / Spatial structures in new and renovation projects of Buildings and construction. Proceeding international congress ICSS-98 / June 22-26, Moscow, Russia, 1998. – P. 307-313.
90. Agmon S., Douglis A., Nirenberg L. Estimates near the boundary for solutions of elliptic partial differential equations satisfying general boundary



- conditions. I Comm. Pure Appl. Math. 12, N 4, 1959. p. 623- 727, II Comm. Pure, Appl. Math. 17, p. 35-92.
91. Ateeja M. Evaluation de d'erreur dans le methobo des elements finis, Numer. Math., 28, 1977, N 3, p. 295-306.
92. Clough R.W. The finite element method in plane stress analysis. Proc. 2nd ASCE Conf. on Electronic Computation. Pittsburg. Pa. Sept., 1960, p. 41-46.
93. Clough R.W. The finite element method in structural mechanics chapter 7 of Stress Analysis Wiley, 1965, p. 181-206.
94. David J. Mukai. Efficient Representation of concrete constitutive Data for Moment Capacity Calculations // ACI Structural Journal / V. 96, № 5, Sept.-Oct., 1999. p.p. 720-727.
95. Davis E.A., Combined tension-torsion tests with fixed prinslpal direction. Journal of applltd mechanics, vol. 22, 3, 1948.
96. Lahage E. Une methode de resolution d'une cathegorie d'equations tran-  
cendantes. C. R., 1934, v. 198, p. 1840-1842.
97. Miyoshi T., Convergence of finite element solution represented by a non-conforming basis, Kumamoto Journal of Scienses (Math.), 9, N 1, p. 11-20.
98. Ortega J.M., Rheinboldt W.C. Iterative solution of nonlinear equations in several variables. Academic Press, New York and London 1970, 680 p.
99. Pincus M.A. Closed Form Solution of Certain Programming Problems. - "Operation Res.", 1968, 16, N3. P.690-694.
100. Przemieniecki J.S. Theory of Matrix Structural Analysis, N.Y. McGraw-Hill Book Company, 1968, 362 p.
101. Saenz L.P. Equation for the Stress-Strain Curve of Concrete (Discussion), Journal of the American Concrete Institute. V. 61, № 9, Sept. 1964. P. 1229-1235.

# ЛИРА



**Автоматизированное проектирование и конструирование, численное исследование прочности и устойчивости конструкций**



№ РОСС UA.СП11.Н00080  
Лицензия УК № 0178626

## Машиностроение

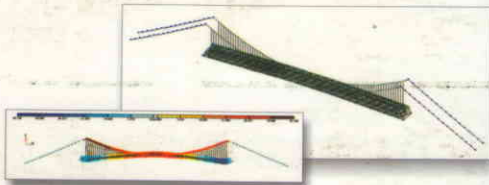
Конструкции турбин, башенных и порталных кранов, транспортных, дорожностроительных, горнодобывающих машин и механизмов.

## Мостостроение

Коробчатые конструкции больших пролетов, пилоны и вантовые системы висячих мостов, мостовые опоры, тоннели.

## Специальные сооружения

Конструкции атомной промышленности, корпуса судов, летательные аппараты, телескопы, башни и мачты, бункеры и силосы, котлы, гидротехнические сооружения.



## Уникальные возможности

- Суперэлементное моделирование с визуализацией на всех этапах расчета, позволяющее снять все ограничения на размер решаемой задачи.
- Учет физической нелинейности на основе различных нелинейных зависимостей "σ-ε", обеспечивающий моделирование процесса нагружения как моно-, так и биматериальных конструкций, вплоть до получения картины разрушения.
- Учет геометрической нелинейности, позволяющий рассчитывать не только изначально геометрически неизменяемые системы с учетом больших перемещений, но и изначально геометрически изменяемые системы с автоматическим поиском их равновесной формы.
- Отслеживание напряженного состояния конструкции в процессе возведения при многократном изменении расчетной схемы.
- Расчет сооружений, возводимых в грунте, с учетом работы зон грунта обделки и крепежа, включаемых и исключаемых по мере проходки.

## Графический интерфейс

Единое информационное пространство для создания и анализа расчетных схем. Отображение напряженного и деформированного состояний конструкции по загрузкам и их комбинациям.

Исчерпывающая численная и графическая информация об исследуемых объектах.

## Расчетный процессор

Реализация современных методов строительной механики и математической физики: физическая и геометрическая нелинейности, нелинейная динамика, суперэлементы, устойчивость, быстродействующий алгоритм решения линейных и нелинейных уравнений.

## Железобетон

Подбор площади сечения арматуры железобетонных элементов балок, колонн, плит, оболочек. Формирование чертежей балок и колонн с возможностью экспорта в DXF файлы для последующей обработки в графических системах.

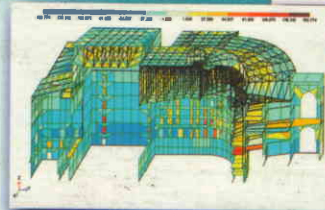
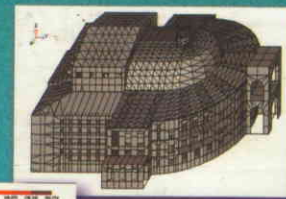
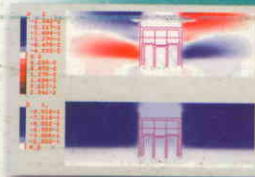
## Металл

Подбор сечений элементов металлических ферм, балок, колонн по различным критериям. Проверка заданных сечений.

Вариантное проектирование конструктивных элементов. Редактируемые базы металлических профилей.

## Отчет

Оформление типовой документации. Формирование таблиц исходных данных и результатов расчета, графической информации в требуемой форме на листе документа.



## Адрес:

"ЛИРА софт"  
ул. М.Кривоноса, 2а,  
г. Киев, Украина, 03037  
Тел./Факс: (044) 248-88-76  
Тел.: (044) 249-35-47  
I-net: [www.lira.com.ua](http://www.lira.com.ua)  
E-mail: [lira@lira.kiev.ua](mailto:lira@lira.kiev.ua)