

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ЛИРА.
РАСЧЕТ ПЛОСКИХ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
СИСТЕМ НА ПОСТОЯННЫЕ
И ВРЕМЕННЫЕ НАГРУЗКИ**

Методические указания

Автор Б.А. Тухфатуллин

Томск 2015

Программный комплекс Лира. Расчет плоских и пространственных систем на постоянные и временные нагрузки : методические указания / Б.А. Тухфатуллин. – Томск : Изд-во Том. гос. архит. стрит. ун-та. 2015. – 34 с.

Рецензент д.т.н., профессор, зав. кафедрой МиСД В.М. Картопольцев
Редактор к.т.н., доцент кафедры СМ Л.Е. Путеева

Методические указания предназначены для бакалавров направления 08.03.01 «Строительство», профиля подготовки 08.03.01.16 «Автомобильные мосты и тоннели», изучающих дисциплины Б2.ДВ.1 «Основы автоматизированного проектирования автомобильных мостов», Б2.ДВ.2 «Основы автоматизированного проектирования автомобильных тоннелей».

Рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Мосты и сооружения на дорогах».

Протокол № 3 от 02.12. 2015 г.

Срок действия

с 01.09.2016
до 01.09.2021

Оригинал-макет подготовлен автором.

Подписано в печать 03.12.2015.
Формат 60x90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд.л. 1,79. Тираж 50 экз. Заказ № 390.

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Общие сведения о программном комплексе Лира	5
1.1. Подготовка исходных данных.....	5
1.2. Признак схемы	8
1.3. Последовательность решения задачи.....	11
2. Практическое занятие № 1	14
2.1. Создание новой задачи	15
2.2. Добавление узлов.....	17
2.3. Добавление элементов	18
2.4. Установка опорных связей	19
2.5. Назначение типов жесткости.....	20
2.6. Задание нагрузок.....	24
2.7. Выполнение расчета	26
2.8. Просмотр и оформление результатов расчета	27
3. Упражнения для самостоятельной работы	32
Заключение	33
Библиографический список	34

ВВЕДЕНИЕ

В процессе выполнения расчетно-графических работ формируются следующие компетенции, предусмотренные Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО):

- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
- способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-1);
- способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);
- владение эффективными правилами, методами и средствами сбора, обмена, хранения и обработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией (ОПК-4);
- знание принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования (ПК-1);
- владение методами проектирования элементов конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированного проектирования (ПК-2);
- способность участвовать в проектировании и изыскании объектов профессиональной деятельности (ПК-4);
- владение методами и средствами физического и математического (компьютерного) моделирования, в том числе с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов, систем автоматизированного проектирования, стандартных пакетов автоматизации исследований (ПК-14).

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ЛИРА

ПК ЛИРА [1–3] предназначен для расчета конструкций на прочность, жесткость, устойчивость при статическом или динамическом нагружениях. В основу расчета положен метод конечных элементов (МКЭ) [4–6]. С помощью МКЭ рассчитываются плоские и пространственные стержневые системы, пластины и оболочки, мембраны, массивные тела. Также могут быть рассчитаны комбинированные системы: рамно-связевые конструкции многоэтажных зданий, пролетные строения мостов, пластины с ребрами, плиты на упругом основании и т. д.

Статические воздействия могут быть силовыми, температурными или заданными перемещениями отдельных точек конструкций. Динамическое нагружение задается в виде вибрационной нагрузки от технологического оборудования, пульсации ветра, ударных и сейсмических воздействий.

Рассчитываемые системы могут иметь произвольные очертания и условия закрепления, различные ослабления и вырезы. Библиотека комплекса содержит большое количество различных конечных элементов (КЭ). В ПК Лира решаются различные задачи, в том числе с учетом физической или геометрической нелинейности. По результатам расчета осуществляется выбор невыгодных комбинаций нагрузок, проверка или подбор размеров поперечных сечений стальных стержней, диаметров арматуры и т. д.

1.1. Подготовка исходных данных

Исходные данные задаются в режиме диалога при помощи графического препроцессора. Файл с исходными данными, имеющий расширение «.lir», формируется автоматически. Предусмотрена возможность подготовки исходных данных в виде текстового файла с расширением «.txt», в том числе и для обмена информацией с программными комплексами SCAD, Stark ES.

Для подготовки исходных данных рассчитываемую задачу необходимо разбить на узлы и конечные элементы. Элементы, имеющие одинаковые жесткостные характеристики, объединяются в один тип жесткости.

Расчетная схема располагается в правой декартовой системе координат (рис. 1.1, а). Местная система координат для стержневого КЭ имеет следующую ориентацию: ось x_1 направлена от начала стержня к его концу, а оси y_1 и z_1 являются главными центральными осями инерции сечения (рис. 1.1, б). Если одна из главных осей инерции сечения не параллельна плоскости xOy , задается угол чистого вращения – угол поворота главных центральных осей инерции сечения.

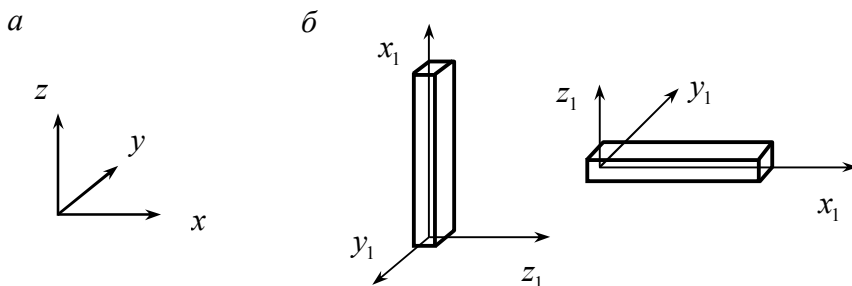


Рис. 1.1. Общая (а) и местная (б) системы координат

Координаты узлов задаются в общей системе координат. Предусмотрена возможность задания узлов по дуге окружности, по аналитической формуле и т. п.

Для пространственной схемы каждый узел имеет шесть степеней свободы, которые нумеруются следующим образом: 1 – линейное перемещение вдоль оси x ; 2 – линейное перемещение вдоль оси y ; 3 – линейное перемещение вдоль оси z ; 4 – поворот вокруг оси x ; 5 – поворот вокруг оси y ; 6 – поворот вокруг оси z .

Шарниры используются для описания прикрепления

стержней к узлам в виде устранения линейных или угловых связей по осям местной системы координат.

Для стержневых КЭ указываются: EA – жесткость на растяжение–сжатие (кН); EJ_y – жесткость при изгибе относительно оси y_1 (кН·м²); EJ_z – жесткость при изгибе относительно оси z_1 (кН·м²); GJ_k – жесткость при кручении (кН·м²); GA_y – жесткость на сдвиг вдоль оси y_1 (кН); GA_z – жесткость при сдвиге вдоль оси z_1 (кН). Для КЭ пластины указываются характеристики материала, толщина и вид напряженно-деформированного состояния. В случае заранее определенных типов сечений можно задать свойства материала и указать размеры; в этом случае все характеристики будут вычислены программой автоматически. Для стальных конструкций поперечное сечение может быть назначено с использованием базы данных из сортамента прокатных профилей.

Связи накладываются в общей системе координат и имеют следующие обозначения: X – линейная связь вдоль оси x ; Y – линейная связь вдоль оси y ; Z – линейная связь вдоль оси z ; U_x – связь от поворота вокруг оси x ; U_y – связь от поворота вокруг оси y ; U_z – связь от поворота вокруг оси z .

Нагрузки в виде сосредоточенных сил и моментов прикладываются в узлы по направлениям общей системы координат или к элементам с указанием координаты сечения от начала элемента. Распределенные нагрузки прикладываются к элементам и задаются по направлениям местной или общей системы координат. Нагрузки, приложенные одновременно, относятся к одному нагружению.

Положительные силы и распределенные нагрузки направлены противоположно соответствующим осям. Положительные моменты – по часовой стрелке, если смотреть с конца соответствующей оси.

В случае создания и работы со сложными (и не только) расчетными схемами в ПК Лира имеется большое количество инструментов для ввода, проверки и корректировки исходных данных, например: копирование схемы, сборка из нескольких подсхем, объединение в группы узлов (элементов), фрагментация, масштабирование и т. д. (рис. 1.2–рис. 1.4).

1.2. Признак схемы

Признак схемы позволяет существенно упрощать ввод данных, например, для плоской рамы (балки) нет необходимости ставить опорные связи из плоскости; для фермы не нужно устанавливать шарниры по концам КЭ и т. п. Наиболее часто используемые признаки схемы приведены в табл. 1.1. В ходе создания расчетной модели признак схемы можно изменять.

Таблица 1.1

Признаки схемы для различных типов задач

Признак схемы	Плоскость	Количество степеней свободы	Линейные перемещения			Угловые перемещения			Рассчитываемая система
			1	2	3	4	5	6	
1	xOz	2	+	-	+	-	-	-	Плоская ферма, панель
2	xOz	3	+	-	+	-	+	-	Плоская рама, балка, арка
3	xOy	3	-	-	+	+	+	-	Балочный ростверк, плита
4	-	3	+	+	+	-	-	-	Пространственная ферма, массивное тело
5	-	6	+	+	+	+	+	+	Система общего вида

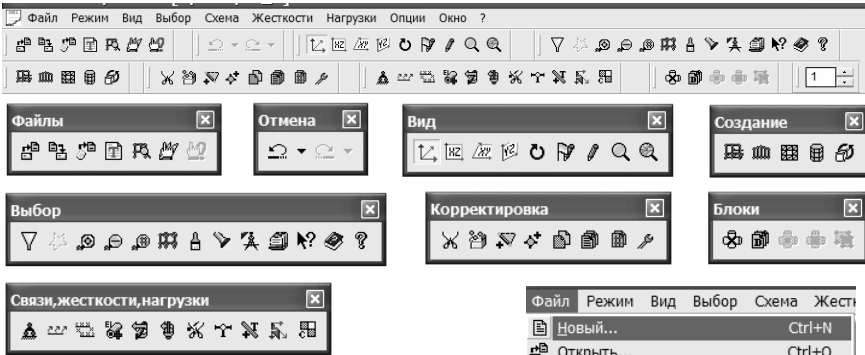


Рис. 1.2. Панель инструментов ПК Лира (режим создания расчетной схемы)

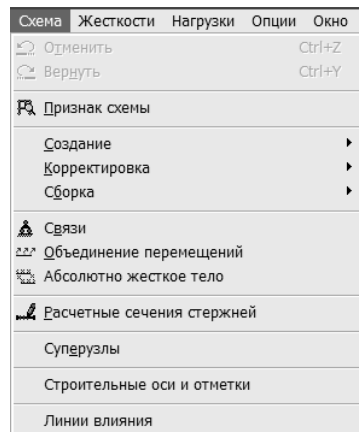
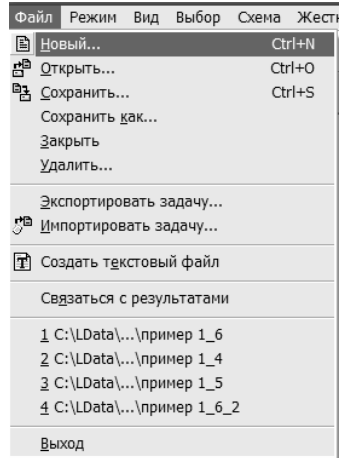
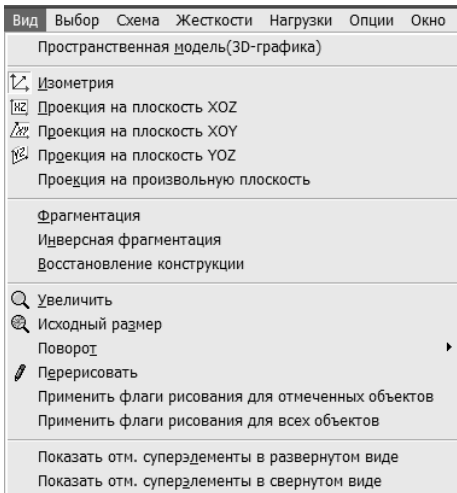


Рис. 1.3. Пункты меню «Файл», «Вид», «Схема» ПК Лира

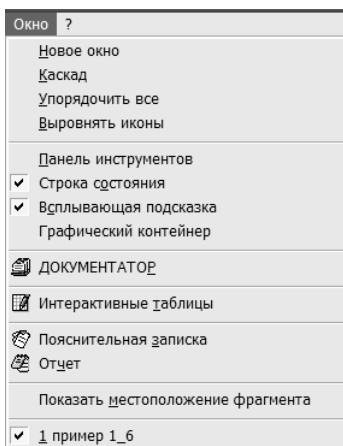
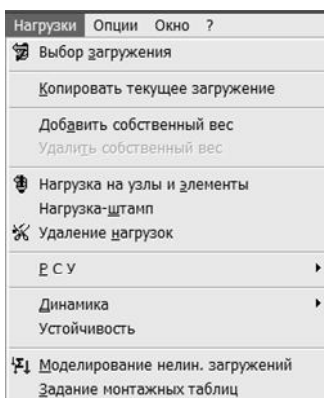
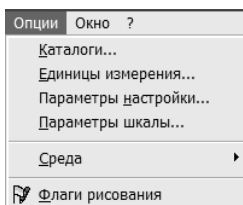
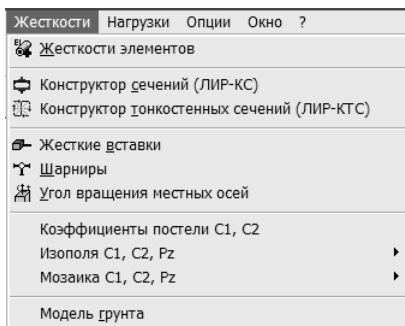
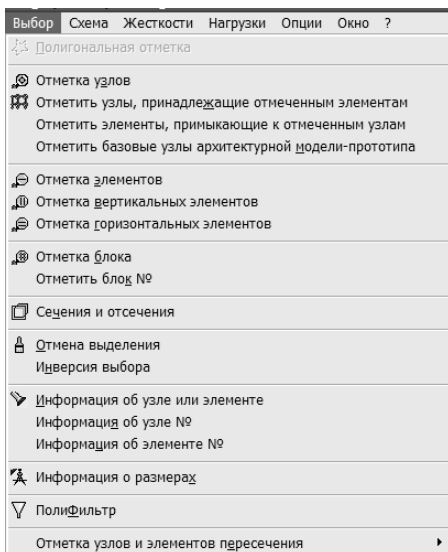


Рис. 1.4. Пункты меню «Выбор», «Жесткости», «Нагрузки», «Опции», «Окно» ПК Лира

1.3. Последовательность решения задачи

1. Создать новый проект (задачу).
2. Подготовить расчетную схему (рис. 1.5):
 - ввести координаты узлов;
 - задать элементы;
 - описать жесткости и назначить их КЭ;
 - установить опорные связи;
 - задать нагрузки.
3. Проверить корректность ввода исходных данных:
 - визуальная проверка расчетной схемы (рис. 1.5, рис. 1.6);
 - заданных типов жесткости и назначения их КЭ;
 - правильность расстановки опорных связей, шарниров;
 - корректность стыковки в узлах схемы конечных элементов различных типов;
 - правильность задания нагрузок и т. д.
4. Произвести расчет задачи.
5. Вывести результаты расчета (рис. 1.7):
 - эпюры усилий (для стержневых КЭ);
 - деформированную схему;
 - поля напряжений (для КЭ пластин, оболочек, массивных тел).
6. Проанализировать полученные результаты. Сопоставить результаты расчета с предполагаемыми.
7. При необходимости провести серию дополнительных расчетов:
 - расчет по различным моделям (например, состоящей из стержней, пластин, оболочек, массивных тел);
 - расчет с различным числом и (или) типами КЭ и т. д.;
 - произвести сгущение сетки КЭ в местах резкого изменения напряжений.

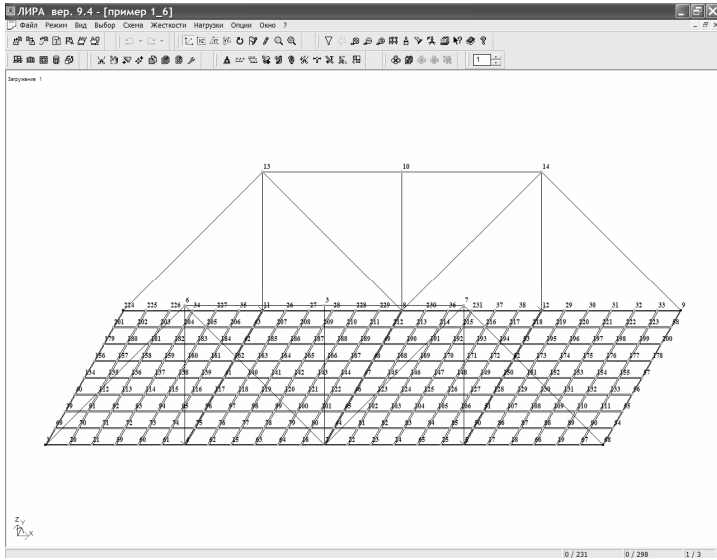


Рис. 1.5. Окно ПК Лира на этапе создания расчетной схемы

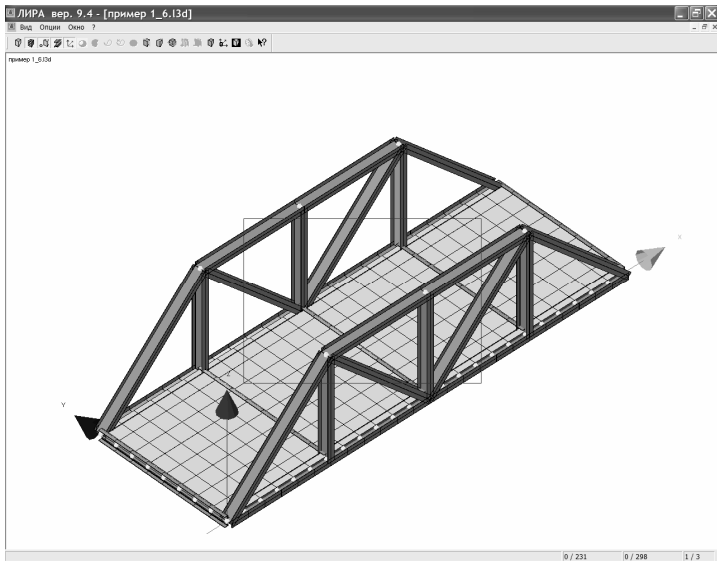
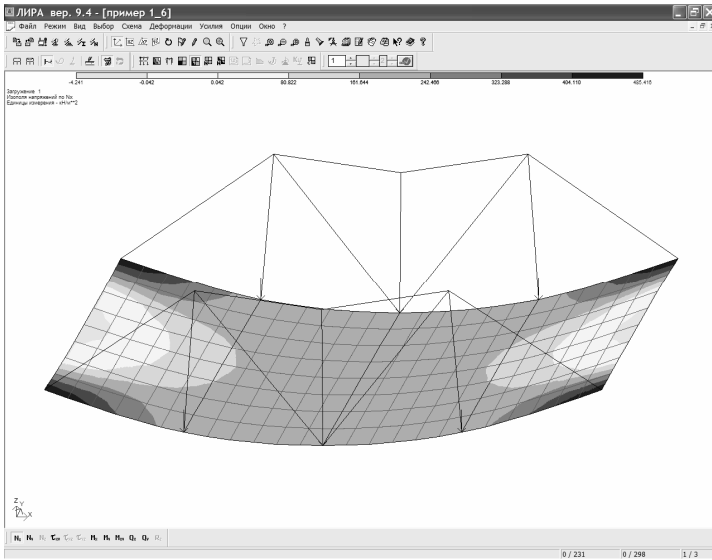


Рис. 1.6. Окно ПК Лира (визуализация конечно-элементной модели)



■ Таблица узлов
 Файл Редактировать Опции

Таблица узлов

№ узла	Перемещения			UX рад*1000	UY рад*1000	UZ рад*1000	№ загруз	Составл
	X (мм)	Y (мм)	Z (мм)					
1	0.000	0.000	0.000	-0.012	0.381	-0.030	1	-
2	0.057	-0.013	-1.382	0.021	0.000	0.000	1	-
3	0.057	-0.087	-1.381	0.027	0.000	0.000	1	-
4	0.041	-0.015	-1.047	0.030	0.231	0.001	1	-
5	0.072	-0.015	-1.047	0.030	-0.231	-0.001	1	-
6	0.381	-0.085	-0.912	0.024	0.141	-0.002	1	-
7	-0.218	-0.085	-0.912	0.024	-0.141	0.002	1	-
8	0.057	-0.017	-1.382	-0.021	0.000	0.000	1	-
9	0.113	-0.030	0.000	0.012	-0.381	-0.030	1	-
10	0.057	0.057	-1.381	-0.027	0.000	0.000	1	-
11	0.041	-0.016	-1.047					
12	0.072	-0.016	-1.047					
13	0.331	0.055	-0.912					
14	-0.218	0.055	-0.912					
15	0.046	-0.014	-1.239					
16	0.054	-0.013	-1.374					
17	0.075	-0.015	-0.915					
18	0.079	-0.016	-0.756					
19	0.090	-0.016	-0.391					
20	0.014	-0.012	-0.195					
21	0.023	-0.016	-0.391					
22	0.059	-0.013	-1.374					
23	0.062	-0.013	-1.349					

■ Таблица усилий (стержни)
 Файл Редактировать Опции

Таблица усилий (стержни)

№ элем	№ сечек	Усилия							
		N (кН)	Mx (кН*м)	My (кН*м)	Qz (кН)	Nz (кН/м)	Qy (кН)	Ry (кН/м)	Rz (кН/м)
1	1	4.362	0.000	0.119	-0.041	0.014	0.077	0.000	0.000
1	2	4.362	0.000	0.098	-0.041	-0.025	0.077	0.000	0.000
2	1	23.429	0.000	0.008	-0.201	-0.627	-0.779	0.000	0.000
2	2	23.429	0.000	-0.093	-0.201	-0.238	-0.779	0.000	0.000
3	1	-79.307	0.000	-0.206	0.189	-0.024	-0.009	0.000	0.000
3	2	-79.307	0.000	0.361	0.189	0.002	-0.009	0.000	0.000
4	1	-83.720	0.000	-0.032	0.059	-0.069	-0.042	0.000	0.000
4	2	-83.720	0.000	0.218	0.059	0.109	-0.042	0.000	0.000
5	1	0.378	0.000	0.000	0.000	-0.053	-0.018	0.000	0.000
5	2	0.378	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.018	0.000	0.000
6	1	5.488	0.000	0.161	0.189	0.013	0.041	0.000	0.000
6	2	5.488	0.000	0.256	0.189	-0.007	0.041	0.000	0.000
7	1	4.945	0.000	0.147	-0.078	0.019	0.064	0.000	0.000
7	2	4.945	0.000	0.108	-0.078	-0.013	0.064	0.000	0.000
8	1	-83.720	0.000	0.218	-0.059	0.109	0.042	0.000	0.000
8	2	-83.720	0.000	-0.032	-0.059	-0.069	0.042	0.000	0.000

Рис. 1.7. Окно ПК Лири на этапе вывода результатов расчета

2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Цель занятия: реализовать основные этапы создания расчетной модели в ПК Лира, получить и провести анализ результатов расчета на примере простейшей стержневой системы, элементы которой работают на растяжение-сжатие.

1. Для плоской фермы (рис. 2.1) создать в ПК Лира расчетную модель.

2. Определить перемещения узлов фермы по вертикали и горизонтали; построить эпюры продольных сил.

3. Сравнить полученные результаты (ординаты эпюры продольных сил, прогиб фермы в середине пролета) с результатами ручного расчета.

Исходные данные взять по строке «0» табл. 2.1.

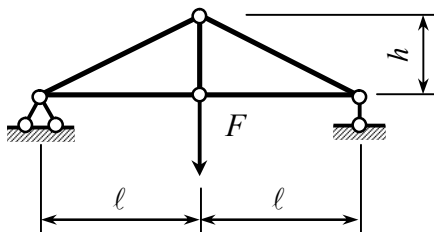


Рис. 2.1. Расчетная схема плоской фермы

Таблица 2.1

Исходные данные для расчета фермы

Номер строки	l , м	h , м	F , кН	Поперечное сечение стержневой фермы
0	6,0	3,0	50	Двутавр колонный 20К1
1	4,0	2,0	60	Двутавр колонный 23К1
2	3,0	1,8	30	Двутавр широкополочный 23Ш1
3	4,5	2,1	45	Двутавр широкополочный 26Ш1
4	5,0	2,8	40	Двутавр нормальный 30Б1

2.1. Создание новой задачи

Запускаем ПК Лира 9.4: «Пуск» – «Все программы» – «Lira Soft» – «Лира 9.4» – «Liraw32.exe». При необходимости следует произвести замену разделителя целой части вещественного числа от дробной части с «.» на «.» (рис. 2.2).

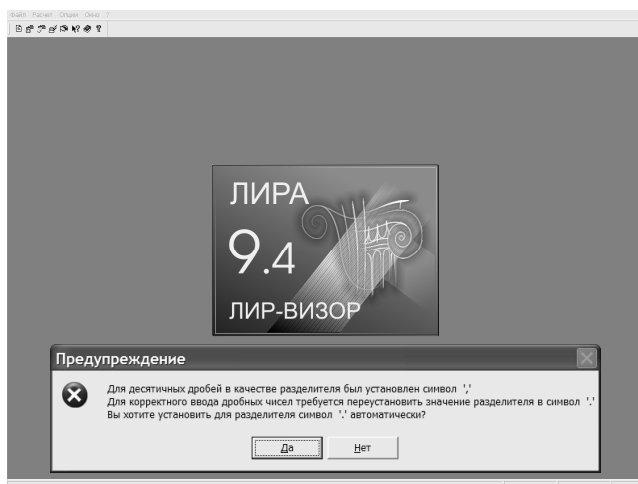


Рис. 2.2. Окно запуска программы Лира

На панели инструментов с помощью кнопки (далее инструмента) «Создать новый документ» создаем новую задачу, для которой следует выбрать признак схемы (рис. 2.3). По умолчанию установлен признак схемы № 5 «Шесть степеней свободы в узле».

Для расчета плоской фермы рекомендуется выбрать признак схемы № 1 «Две степени свободы в узле (два перемещения) XOZ ». При создании расчетной схемы с признаком схемы № 1 предполагается, что все узлы располагаются в вертикальной плоскости и имеют две степени свободы (два перемещения) по горизонтали и по вертикали.

Для плоской стержневой системы выбранный признак схемы означает, что стержни примыкают ко всем узлам при помощи шарниров и при отсутствии внеузловой нагрузки испытывают только деформации растяжения-сжатия. Стержень, соединяющий два узла, представляет собой конечный элемент.

Для плоской задачи теории упругости конечные элементы треугольной и (или) четырехугольной формы также соединяются между собой только в узлах, в каждом из которых возможны только два линейных перемещения. В этом случае КЭ испытывают плоское напряженное состояние (плоскую деформацию) [7]. Для решения такой задачи также используется признак схемы № 1.

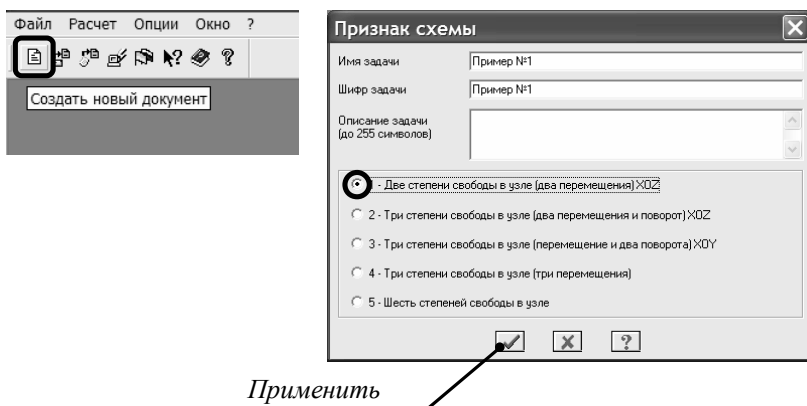


Рис. 2.3. Создание нового документа и назначение признака схемы

Любое действие в ПК Лира необходимо подтвердить нажатием соответствующей кнопки, обычно имеющей подсказку «Применить». В дальнейшем необходимость подтверждения операции отдельно оговариваться не будет. Также следует отметить, что вместе с созданием новой задачи файл для хранения исходной информации автоматически не создается.

В ПК Лира есть большое количество инструментов для быстрого создания расчетных схем, в которых после задания входных параметров создаются сложные плоские или простран-

ственные системы. На данном практическом занятии эти инструменты рассматриваться не будут, поэтому все операции по заданию информации об узлах, КЭ, связях и нагрузках будут осуществляться шаг за шагом в «ручном» режиме.

2.2. Добавление узлов

Каждый шарнирный узел фермы (рис. 2.1) представляет собой узел в конечно-элементной модели и характеризуется двумя координатами в общей системе координат. Для ввода координат узлов на панели инструментов есть кнопка «Добавить узел». Вводим координаты очередного узла (рис. 2.4). Напоминаем, что вертикальная ось имеет обозначение z . Изменять координаты узлов по оси y не следует. С помощью инструмента «Добавить узел» можно осуществлять ввод узлов по дуге окружности, по аналитической формуле и т. д.

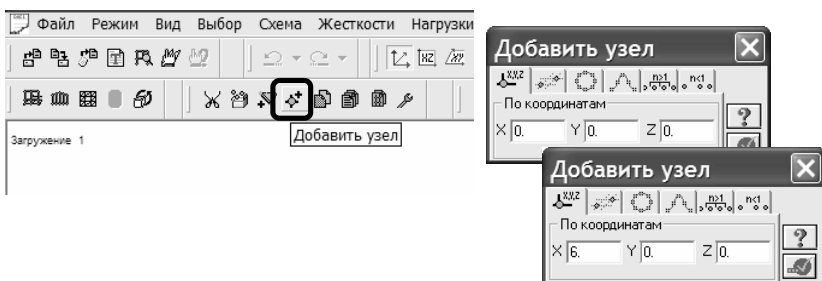


Рис. 2.4. Добавление новых узлов

Для лучшего отображения узлов рекомендуется использовать инструмент «Флаги рисования», вкладка «Узлы», опции «Номера узлов», «Узлы увеличенные» (рис. 2.5). Новое изображение схемы осуществляется нажатием кнопки «Перерисовать». С помощью инструмента «Флаги рисования» меняется вид отображения расчетной схемы, но никакие изменения при этом в нее не вносятся. Настройки этого инструмента сохраняются и в режиме просмотра результатов решения.



Рис. 2.5. Изменение настроек в инструменте «Флаги рисования»

Порядок ввода узлов для решения данной задачи произвольный (рис. 2.6) и влияния на результаты расчета фермы не оказывает.

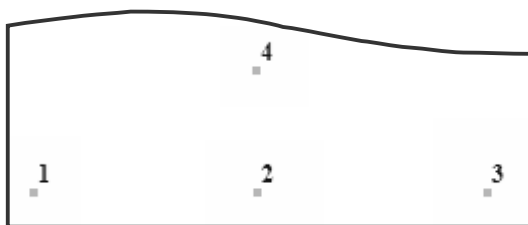


Рис. 2.6. Результат добавления всех узлов

2.3. Добавление элементов

Добавление стержней, соединяющих узлы, осуществляется в интерактивном режиме, с помощью инструмента «Добавить элемент» (рис. 2.7). Щелчком мыши отмечается один узел КЭ, проводится «резиновая нить» до другого узла, также отмечаемого щелчком – операция ввода КЭ выполнена. Узел, с которого

было начато рисование, считается для данного КЭ начальным, ось x_1 местной системы координат направлена от начала стержня к его концу. После соединения всех узлов стержнями в соответствии с заданной схемой фермы получаем пять КЭ, соединяющих введенные ранее узлы (рис. 2.8).

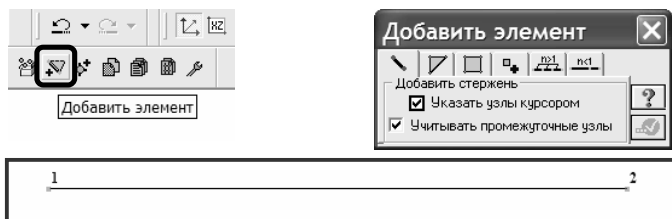


Рис. 2.7. Результат добавления КЭ, соединяющего узлы № 1 и № 2

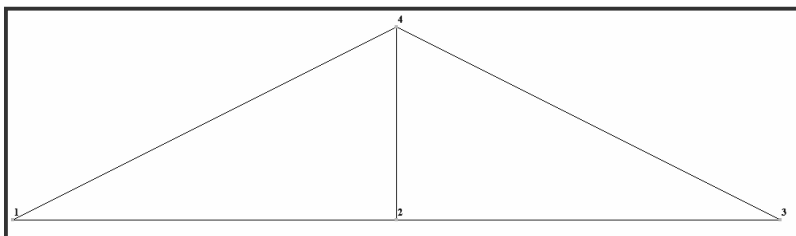


Рис. 2.8. Результат добавления всех КЭ

Если в диалоговом окне «Добавить элемент» выбрана опция «Учитывать промежуточные узлы», то для ускорения ввода исходных данных можно одной операцией задать одновременно все КЭ, расположенные вдоль одной прямой (т. е. провести линию от узла № 1 до узла № 3). В этом случае программа сама разделит проведенную линию на два КЭ, соединяющих узлы № 1–№ 2 и № 2–№ 3.

2.4. Установка опорных связей

Согласно реализованному в ПК Лира МКЭ в перемещениях опорные связи могут быть добавлены только в узлы. С помо-

щью инструмента «Отметка узлов» отмечаем узел № 1 (рис. 2.9). Отмеченный узел подсвечивается красным цветом. Отметка узла осуществляется щелчком мыши или обводкой узла «резиновым окном» (с помощью нажатого указателя мыши). В первом случае отмечается только один узел расчетной схемы, во втором – все узлы, попавшие в «резиновое окно».

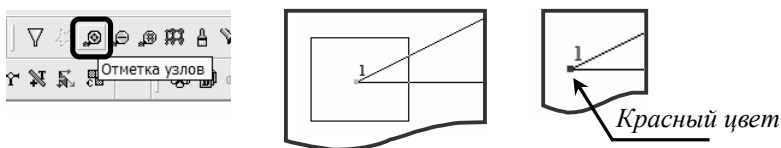


Рис. 2.9. Результат отметки узла № 1

С помощью инструмента «Связи» выбираем для шарнирно неподвижной опоры в узле № 1 направления осей координат (оси x и z), для которых перемещения узла невозможны. Закрепленный по какому-либо направлению узел подсвечен синим цветом (рис. 2.10). Для узла № 3 связь назначаем только по вертикали.

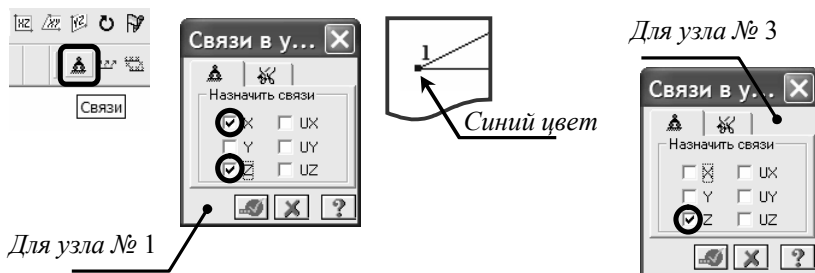


Рис. 2.10. Операция установки опорных связей

2.5. Назначение типов жесткости

С помощью инструмента «Отметка элементов» отмечаем все стержни фермы: по одному (щелчком мыши) или с помощью «резинового окна» (рис. 2.11). Выделенные КЭ подсвечиваются

красным цветом. Отмена выбора КЭ осуществляется повторной его отметкой. Снятие выбора всех отмеченных элементов (при необходимости и узлов) осуществляется с помощью инструмента «Отмена выбора». Следует помнить, что какая-либо операция применяется ко всем узлам (элементам), выделенным на схеме в данный момент.

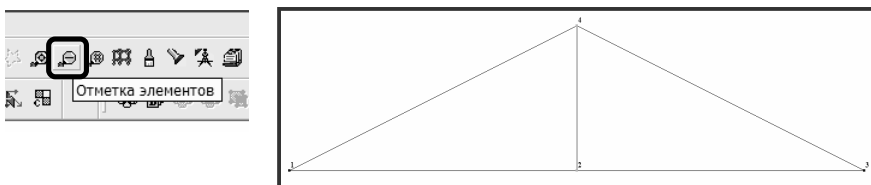


Рис. 2.11. Операция отметки всех КЭ

Создаем новый тип жесткости с помощью инструмента «Жесткости элемента» – «Добавить» – «База металлических сечений» – «Двутавр» (рис. 2.12).



Перейти
на вкладку

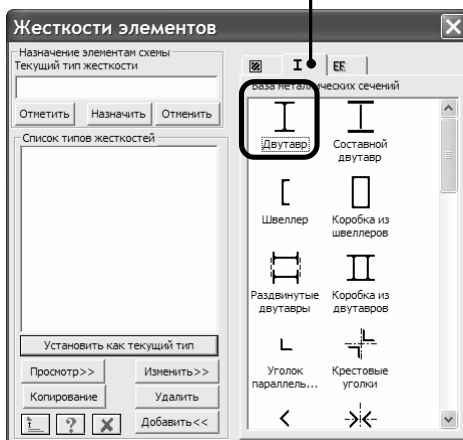
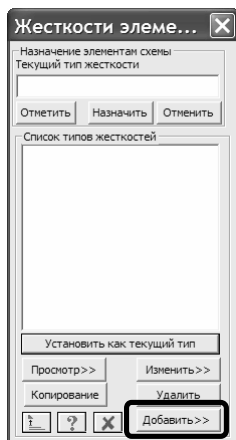
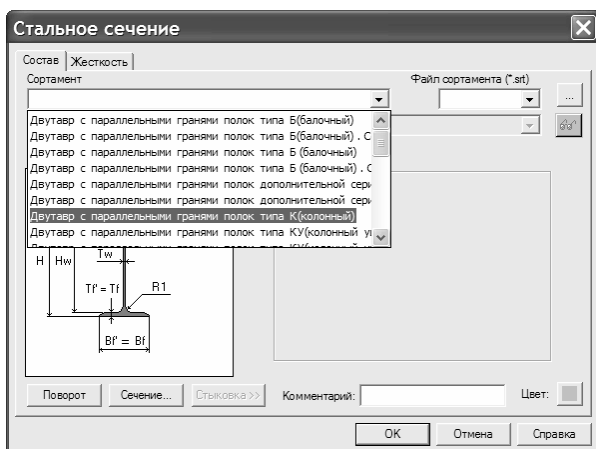


Рис. 2.12. Создание нового типа жесткости

Для выбранного типа поперечного сечения выбирается сортамент «Двутавр с параллельными гранями полок типа К (колонный)». Из списка профилей выбирается номер профиля – двутавр № 20К1 (рис. 2.13). При необходимости развернуть профиль на 90° используется кнопка «Поворот».



*Просмотр
сортамента
металлопроката*

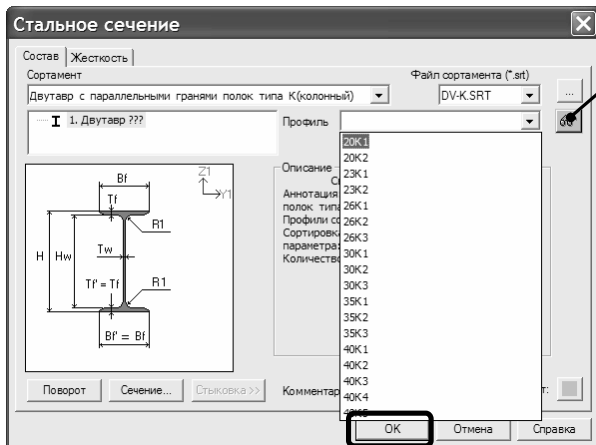


Рис. 2.13. Диалоговые окна выбора сортамента и номера профиля

После создания нового типа жесткости «Двутавр 20К1» необходимо сделать его текущим (двойной щелчок мыши или кнопка «Установить как текущий тип»). Так как все КЭ на схеме уже отмечены, то с помощью кнопки «Назначить» присваиваем им текущий тип жесткости (рис. 2.14). Интересно отметить, что при добавлении к схеме новых КЭ им автоматически присваивается текущий тип жесткости, при соблюдении условия, что тип жесткости может быть присвоен данному типу КЭ.

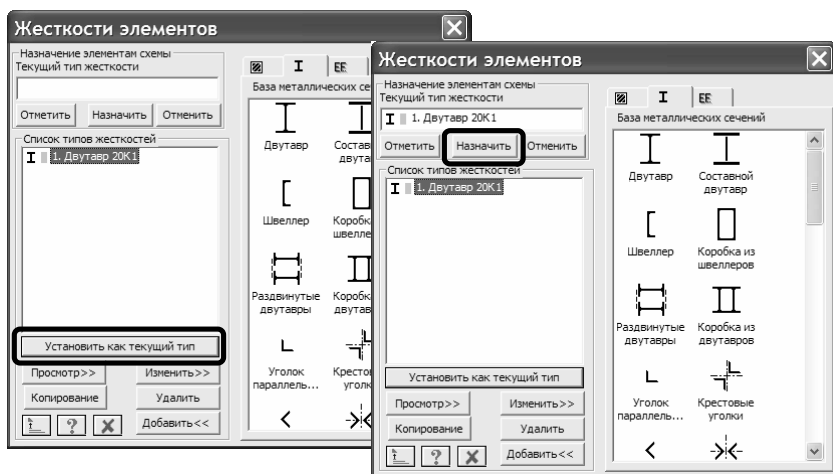


Рис. 2.14. Назначение текущего типа жесткости отмеченным ранее КЭ

Количество созданных типов жесткости может быть любым, часть из них может не использоваться. Сечения определенной формы задаются на вкладке «Стандартные типы сечений», численное описание жесткостных характеристик осуществляется на вкладке «EF». Там же можно загрузить нестандартное сечение, созданное при помощи программ ЛИР-КС «Конструктор сечений» и ЛИР-КТС «Конструктор тонкостенных сечений» (эти программы входят в состав ПК Лиры).

В качестве проверки правильности задания жесткостных характеристик рекомендуется воспользоваться опцией «Вид» –

«Пространственная модель (3D графика)» (рис. 2.15). В случае, если в задаче имеются КЭ с неопределенным типом жесткости, инструмент «Показать сечения элементов» окажется недоступным. Для удобства отображения рекомендуется отключать инструмент «Перспективное / Ортогографическое изображение».

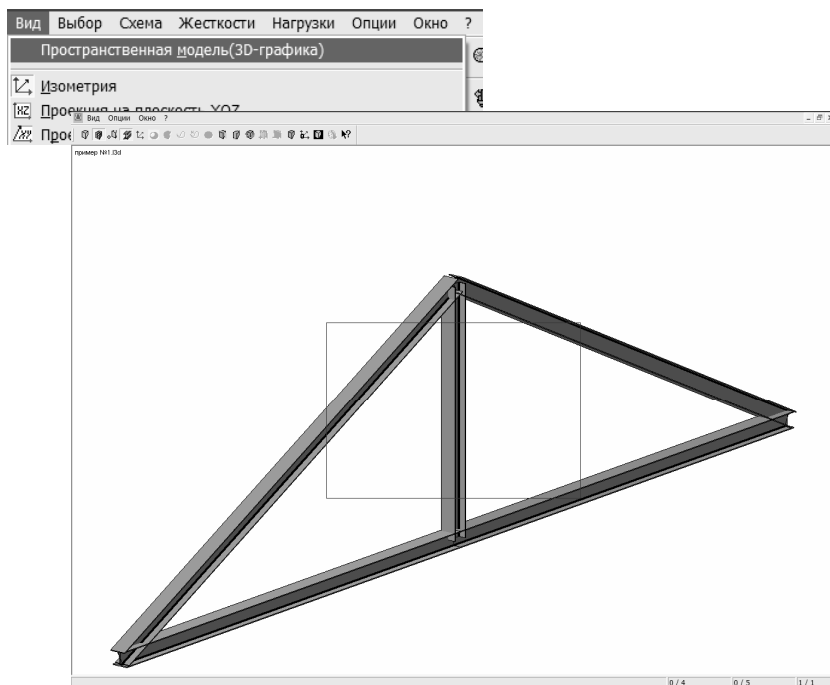


Рис. 2.15. Визуализация расчетной модели

2.6. Задание нагрузок

По умолчанию в задаче имеется как минимум одно загрузе-ние № 1. С помощью инструмента «Отметка узлов» отмечаем узел № 2, на который действует сила $F = 50$ кН. Последовательность операции приложения узловой силы показана на рис. 2.16. «Нагрузки на узлы и элементы» – вкладка «Нагрузки

в узлах», система координат «Глобальная», направление по оси z , тип нагрузки «Сила вдоль глобальной оси z », «Значение нагрузки» $F = 50$ кН (рис. 2.16).

Для отображения на расчетной схеме нагрузок выбираем с помощью инструмента «Флаги рисования» на вкладке «Общие» опции «Нагрузки» и «Величины нагрузок».

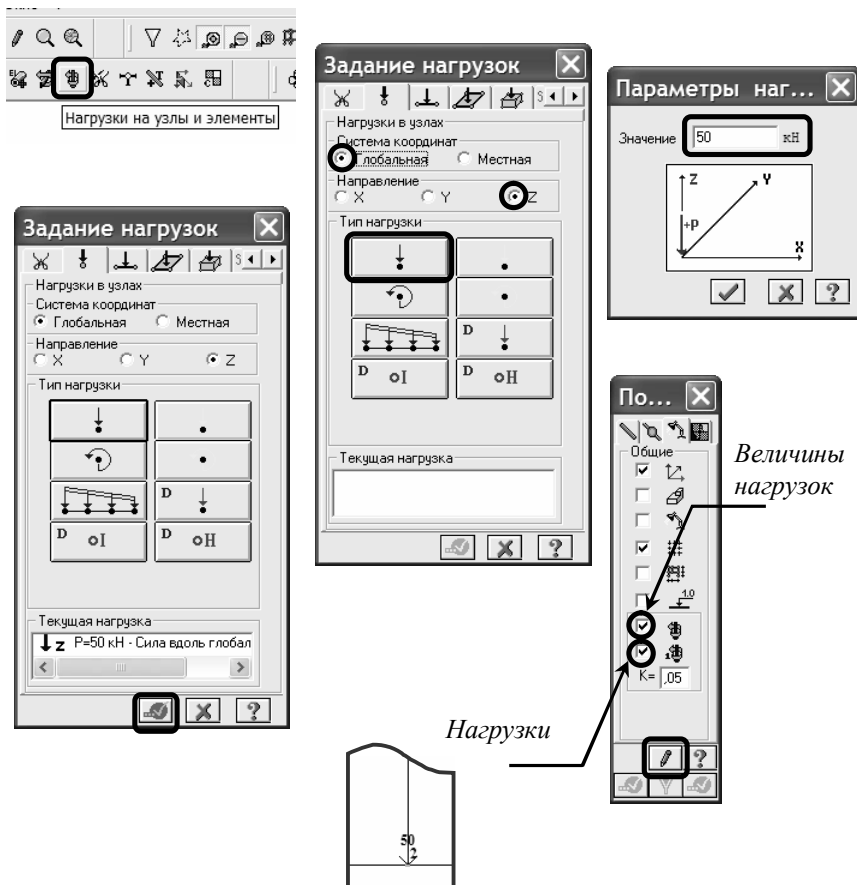


Рис. 2.16. Окна для задания нагрузок

2.7. Выполнение расчета

Запуск сформированной задачи на расчет осуществляется опцией «Режим» – «Выполнить расчет» или с помощью инструмента «Выполнить расчет» (рис. 2.17). В случае имеющихся в задаче ошибок (например, не всем элементам присвоен тип жесткости), будет выдано соответствующее предупреждение.



Рис. 2.17. Запуск задачи на расчет

Фатальные ошибки (например, неправильно установленные опорные связи или комбинации шарниров, порождающие геометрически изменяемую систему, или неприкрепленные к схеме «висячие» узлы и т. д.) проявляются только на стадии расчета и приводят к его прекращению. В некоторых случаях исправить ситуацию удастся при помощи инструмента «Упаковка схемы» (рис. 2.18).

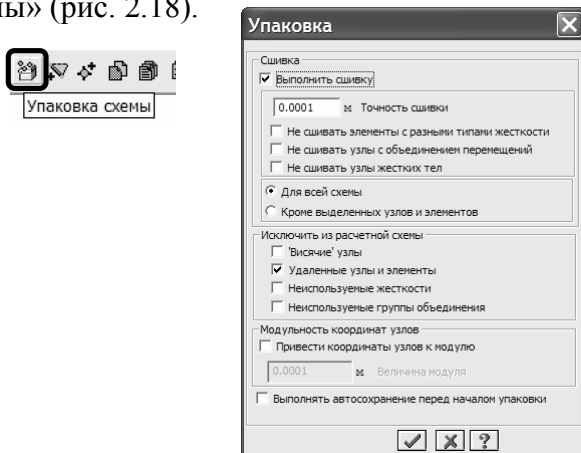


Рис. 2.18. Диалоговое окно для автоматического исправления ошибок

2.8. Просмотр и оформление результатов расчета

Перейти в режим просмотра результатов расчета можно с помощью опции «Режим» – «Результаты расчета» или с помощью инструмента «Визуализация результатов расчета» (рис. 2.19).



Рис. 2.19. Переход в режим просмотра результатов расчета

Эпюра перемещений узлов фермы отображается при помощи инструментов «Мозаика перемещений» – «Мозаика перемещений по оси ...». Эпюра продольных сил выводится на экран инструментами «Эпюра усилий в стержнях» – «Эпюры продольных сил» (рис. 2.20). Вывести значения на эпюре внутренних усилий можно при помощи – «Флаги рисования» – вкладка «Общие» – «Значения на эпюрах». Вследствие того, что ординаты эпюр подписываются в начале и в конце всех стержней, сходящихся в узле, полученное изображение является неудобным для анализа и здесь не приводится.

Вывести перемещения для одного узла или эпюры усилий для одного КЭ можно при помощи инструмента «Информация об узле или элементе» с последующей отметкой узла (элемента) (рис. 2.21). В соответствующих диалоговых окнах отображается как исходная информация об узле (элементе), так и относящиеся к нему результаты расчета. Для вывода эпюр внутренних усилий следует выбрать опцию «Эпюры». Результаты построения эпюр для выбранного элемента показаны на рис. 2.21. Переход к информации о другом элементе (узле) осуществляется автоматически после отметки его на схеме.

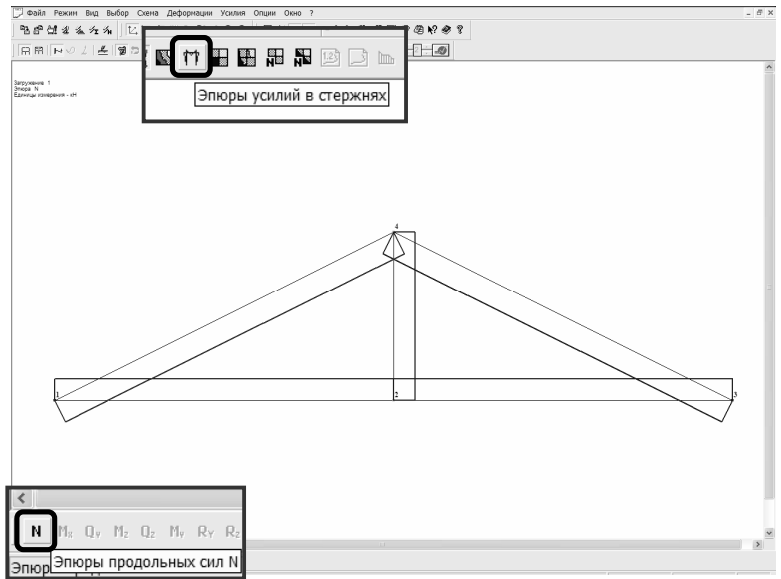
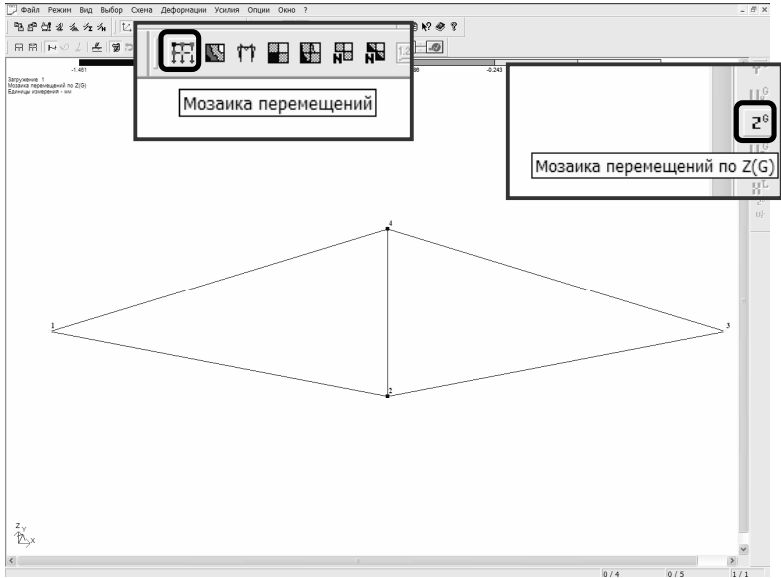


Рис. 2.20. Вывод результатов расчета в графическом виде

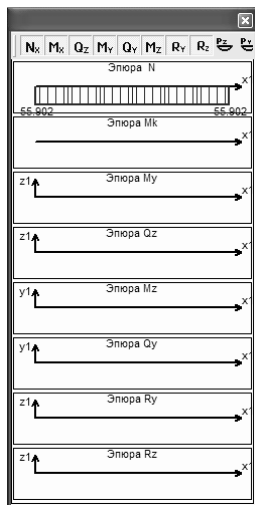
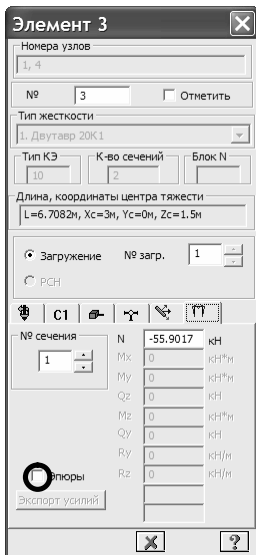
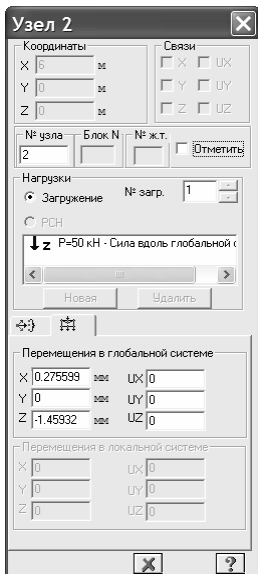
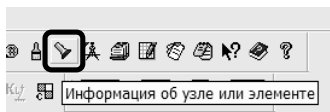


Рис. 2.21. Вывод результатов расчета для одного узла (элемента)

Для сложных задач (и не только) часто требуется сохранять результаты расчета в табличной форме. Сделать это можно при помощи инструментов: «Интерактивные таблицы» – «Перемещения» – «Таблицу на экран» – «Для всех узлов» – «Для одного нагружения» – «Создать» (рис. 2.22). При помощи опции «Редактировать» можно удалить (восстановить) ненужные вертикальные графы таблицы. При необходимости табличная информация из ПК Лира может быть сохранена в формате «.xls» для чтения в Microsoft Excel.

Результаты расчета внутренних усилий в табличной форме сохраняются аналогично (рис. 2.23).

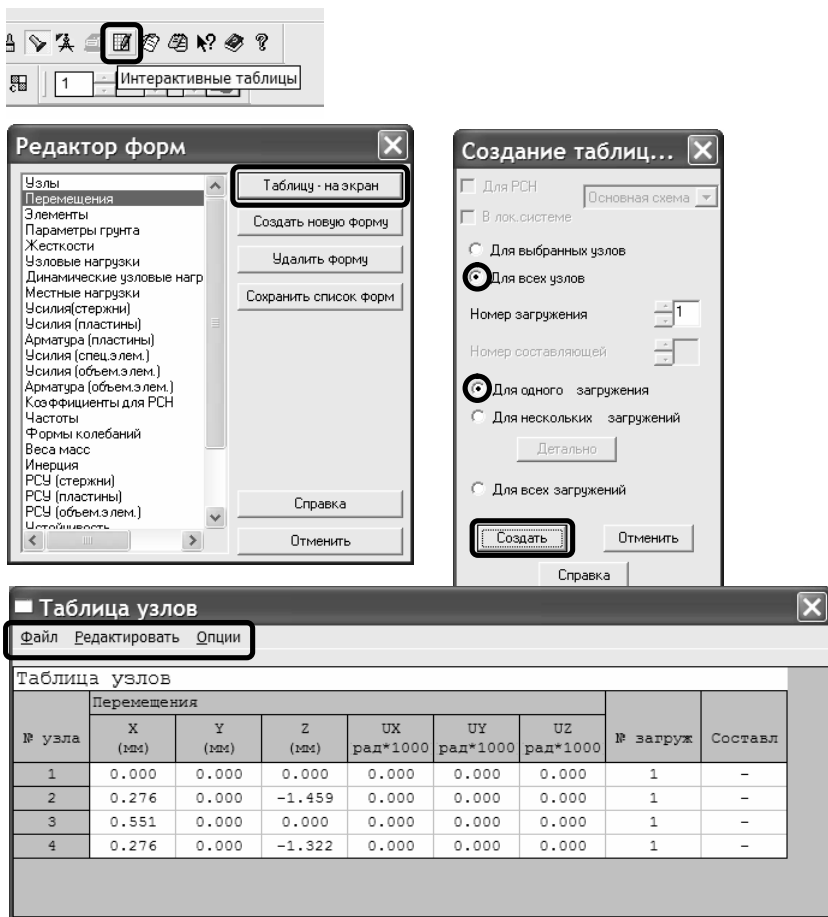


Рис. 2.22. Вывод перемещений узлов в табличной форме

В таблице внутренних усилий для каждого КЭ выведены две строки: сечение № 1 относится к началу элемента, № 2 – к концу элемента. Следует обратить внимание на столбец «Тип элемента». По умолчанию для всех стержневых КЭ программа присваивает тип № 10 «Универсальный пространственный стержневой КЭ», для которого вычисляются шесть внутренних

усилий (продольная сила N , крутящий момент M_k , изгибающие моменты M_y, M_z , поперечные силы Q_y, Q_z).

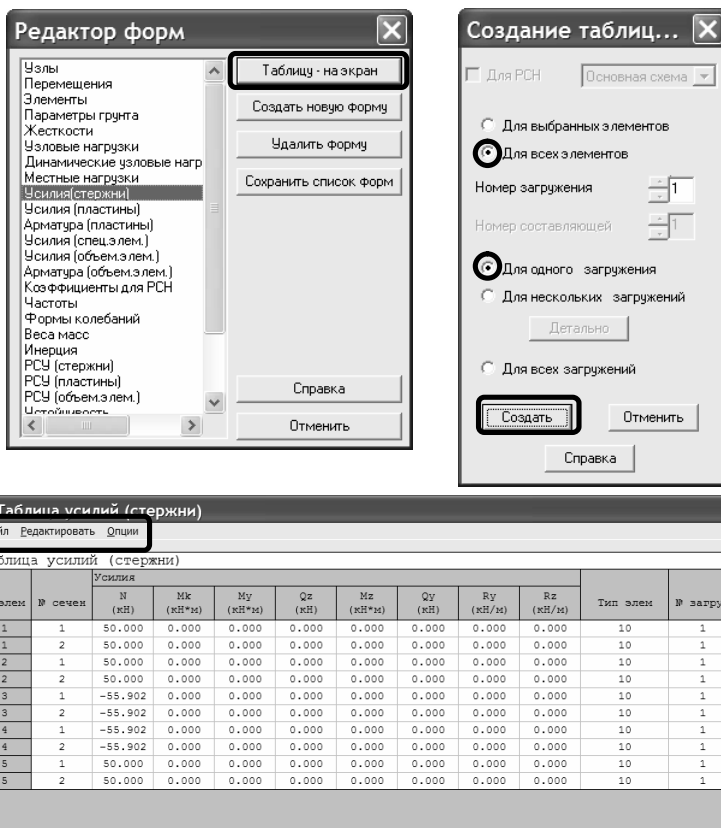


Рис. 2.21. Вывод внутренних усилий в табличной форме

Пункт № 3 практического занятия предлагается выполнить самостоятельно. Усилия в стержнях рекомендуется найти из условия равновесия узлов; вертикальное перемещение узла – по методу Мора-Верещагина [8–10].

3. УПРАЖНЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

В качестве самостоятельной работы рекомендуется выполнить ряд упражнений.

Упражнение № 2. Вернуться в режим создания расчетной схемы, отметить все стержни и с помощью инструмента «Смена типа КЭ» – вкладка «Стержни» поменять тип № 10 «Универсальный стержень» на тип № 1 – «Стержень плоской фермы». После выполнения расчета необходимо убедиться в том, что результаты расчета не изменились.

Упражнение № 3. В режиме создания расчетной модели назначить новый тип жесткости (прямоугольное поперечное сечение с размерами 15×20 см, модуль упругости материала $E = 10^4$ МПа).

Необходимые операции выполнить в следующей последовательности:

- «Жесткости элементов» – «Добавить» – тип жесткости – «Брус» на вкладке «Стандартные типы сечений»;

- задать модуль упругости материала $E = 10^7$ кН/м², размеры $B = 15$ см, $H = 20$ см, объемный вес $R_0 = 5$ кН/м³;

- сделать тип жесткости «Брус 15×20 см» текущим;

- отметить все элементы фермы, назначить им текущий тип жесткости;

- выполнить расчет, сравнить полученные результаты с результатами из упражнения № 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При освоении программного комплекса Ли́ра рекомендуется использовать учебную литературу из библиографического списка [1, 2] и ресурсы сети Интернет:

– www.LiraLand.ru (официальный сайт «Ли́ра», «Мономах», «Сапфир» – программы для расчета и проектирования строительных конструкций);

– www.dwg.ru (материалы для проектировщиков: техническая и нормативная документация, программы и другие материалы для конструкторов, архитекторов, пользователей САПР);

– www.CADmaster.ru (электронная версия журнала, посвященного проблематике систем автоматизированного проектирования, электронные консультации для инженеров и конструкторов);

– www.stroymeh.tom.ru (персональный сайт Б.А. Тухфатулина, к.т.н., доцента кафедры «Мосты и сооружения на дорогах» ТГАСУ: тексты лекций, презентации к ним, инструкции по использованию программных комплексов и т. д.).

Современный расчет мостовых и строительных конструкций невозможно представить без использования программных комплексов, которые предоставляют расчетчику большое число инструментов в области автоматизированного проектирования. Одновременно с этим программные комплексы накладывают на пользователя и определенные требования: умение правильно сформировать расчетную схему, производить расчеты сооружений по различным моделям, анализировать полученные результаты, выяснять причины ошибок и своевременно устранять их.

Соответствовать этим требованиям без успешного освоения дисциплин «Основы автоматизированного проектирования автодорожных мостов» и «Основы автоматизированного проектирования автодорожных мостов» невозможно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лира 9.4*. Примеры расчета и проектирования / Ю.В. Гензерский [и др.]. – К. : Изд-во НИИАСС, 2006. – 124 с.
2. *Лира 9.4*. Руководство пользователя. Основы : учебное пособие / Е.Б. Стрелец-Стрелецкий [и др.]. – К. : Изд-во «ФАКТ», 2008. – 164 с.
3. *LiraLand. Группа компаний*. URL: <http://www.liraland.ru>. – Загл. с экрана (дата обращения: 22.11.2015).
4. *Трушин, С.И.* Метод конечных элементов. Теория и задачи : учеб. пособие / С.И. Трушин. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 256 с.
5. *Агапов, В.П.* Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости конструкций : учеб. пособие / В.П. Агапов. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 248 с.
6. *Тухфатуллин, Б.А.* Численные методы расчета строительных конструкций. Метод конечных элементов (теория и практика) : учебное пособие / Б.А. Тухфатуллин. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. – 100 с.
7. *Александров, А.В.* Основы теории упругости и пластичности : учеб. для вузов / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 2007. – 400 с.
8. *Дарков, А.В.* Строительная механика : учебник для вузов / А.В. Дарков, Н.Н. Шапошников. – СПб. : Лань, 2010. – 656 с.
9. *Тухфатуллин, Б.А.* Строительная механика. Расчет статически определимых систем. Варианты заданий и примеры решения для студентов заочной формы обучения : учебное пособие / Б.А. Тухфатуллин, Л.Е. Путеева. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 108 с.
10. *Тухфатуллин, Б.А.* Строительная механика. Определение перемещений и расчет статически неопределимых систем. Варианты заданий и примеры решения для студентов заочной формы обучения : учебное пособие / Б.А. Тухфатуллин, Л.Е. Путеева. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – 92 с.