

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. БИБЛИОТЕКА СТЕРЖНЕВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ОСНОВНЫЕ КОМАНДЫ ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	65
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ОСНОВНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОПОРНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ПЛОСКИХ СИСТЕМ.....	68
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. ПРОЦЕДУРА СОЗДАНИЯ И УДАЛЕНИЯ ШАРНИРОВ В ВАЛКАХ И РАМАХ.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 1.....	75
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 2.....	82
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 3.....	84

Учебное пособие

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

## РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»

Учебное пособие

Ю. Н. Чудинов

Научный редактор – канд. техн. наук, доцент С. Д. Чижимов

Редактор Ю. Н. Осинцева

## РАСЧЕТ СТРОИТЕЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»

Утверждено в качестве учебного пособия  
Ученым советом Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Подписано в печать 08.02.2013.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 65 г/м<sup>2</sup>. Ризограф EZ570E.

Усл. печ. л. 5,34. Уч.-изд. л. 5,11. Тираж 75 экз. Заказ 25359.

Редационно-издательский отдел  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

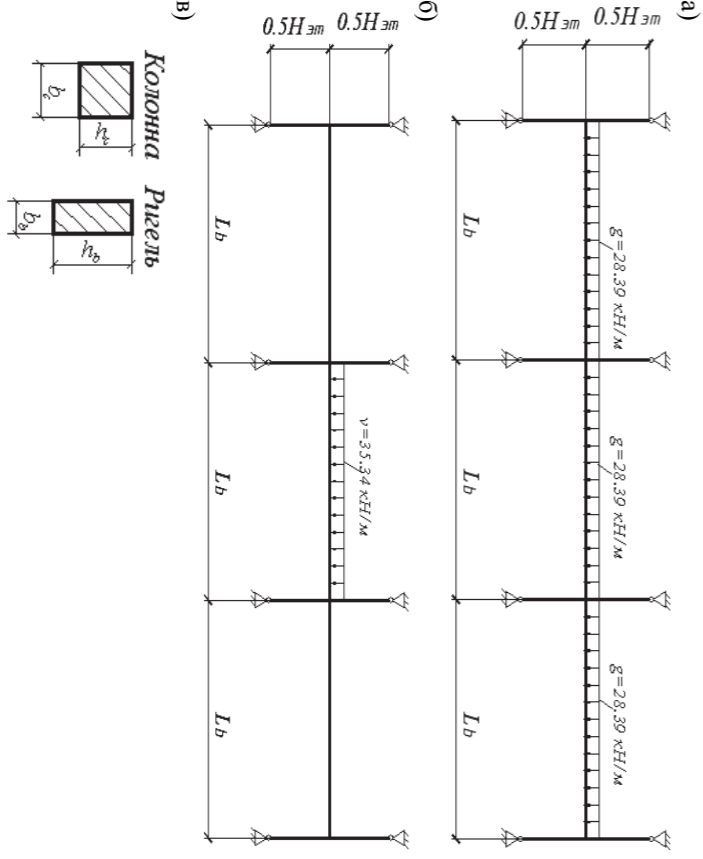


Рис. П8.1. Схема рамы (полный каркас): а – первый вариант загрузки; б – второй вариант загрузки; в – сечение элементов

### Исходные данные:

- 1) пролет рамы (длина ригеля)  $L_b = 7 \text{ м}$ ;
- 2) высота этажа (длина колонны)  $H_{гр} = 4,2 \text{ м}$ ;
- 3) сечение колонны  $h_c = b_c = 0,4 \text{ м}$ ;
- 4) сечение ригеля  $h_b = 0,25 \text{ м}$ ,  $h_b = 0,6 \text{ м}$ ;
- 5) класс бетона ригеля и колонны В25;
- 6) класс бетона колонны В25.

Модуль упругости для класса бетона В25 равен  $E = 27000 \text{ МПа} = 27000000 \text{ КПа}$ .

УДК 517.958:624.01(07)	
ББК 38.112я7	
Ч-842	
УДК 517.958:624.01(07)	
ББК 38.112я7	
Ч-842	
<i>Рецензенты:</i>	
Кафедра «Механика» ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет», зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор В. М. Герасимов; А. И. Туров, канд. техн. наук, зав. кафедрой «Инженерные конструкции» ФГБОУ ВПО «Дальневосточный государственный аграрный университет»	
Ч-842	Расчет строительных стержневых конструкций в ПК «ЛИРА-САПР 2011» : учеб. пособие / Ю. Н. Чулинов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2013. – 88 с.
ISBN 978-5-7765-0953-7	
В учебном пособии изложены основные возможности ПК «ЛИРА-САПР 2011» по созданию математических моделей строительных стержневых конструкций и их расчету. Приводятся примеры расчета строительных конструкций, наиболее часто применяемых на практике: балок, ферм, рам. Подробно рассмотрены алгоритмы решения задач. Рассмотрены наиболее типичные ошибки, встречающиеся на практике у начинающих пользователей ПК «ЛИРА-САПР 2011».	
Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Строительство». Может быть полезно для специалистов, работающих в области проектирования зданий и сооружений.	
УДК 517.958:624.01(07)	
ББК 38.112я7	
ISBN 978-5-7765-0953-7	
© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет», 2013	
5	ВВЕДЕНИЕ
1	1. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ФЕРМ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»
1.1	1.1. Начало работы в ПК «ЛИРА-САПР 2011»
1.2	1.2. Основные расчетные схемы в ПК «ЛИРА-САПР 2011»
1.3	1.3. Основные этапы расчета плоских ферм в ПК «ЛИРА-САПР 2011»
1.4	1.4. Особенности работы в различных режимах ПК «ЛИРА-САПР 2011»
1.5	1.5. Пример расчета плоской фермы
1.5.1	1.5.1. Исходные данные
1.5.2	1.5.2. Порядок расчета фермы
2	2. РАСЧЕТ БАЛОК В ПК «ЛИРА-САПР 2011»
2.1	2.1. Краткие сведения об определении внутренних усилий в балках
2.2	2.2. Пример расчета балки
2.2.1	2.2.1. Исходные данные
2.2.2	2.2.2. Порядок расчета балки
3	3. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ РАМ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»
3.1	3.1. Общие сведения
3.2	3.2. Пример расчета плоской рамы
3.2.1	3.2.1. Исходные данные
3.2.2	3.2.2. Порядок расчета плоской рамы
4	4. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»
4.1	4.1. Основные типы стержневых конечных элементов в ПК «ЛИРА-САПР 2011»
4.2	4.2. Нормативные и расчетные нагрузки
4.3	4.3. Расчетные сочетания нагрузок
4.3.1	4.3.1. Формирование таблицы расчетных сочетаний усилий
4.3.2	4.3.2. Вычисление расчетных сочетаний усилий
4.3.3	4.3.3. Формирование таблицы расчетных сочетаний нагрузок
4.4	4.4. Конструктивный расчет стальных элементов
4.5	4.5. Конструктивный расчет железобетонных элементов
29	ЗАКЛЮЧЕНИЕ
29	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

**Результаты расчета.**  
 Все результаты расчетов импортированы из ПК ЛИРА-САПР в программу MathCAD.  
 На рис. П8.2 приведена расчетная схема плоской рамы с нумерацией КЭ и узлов.

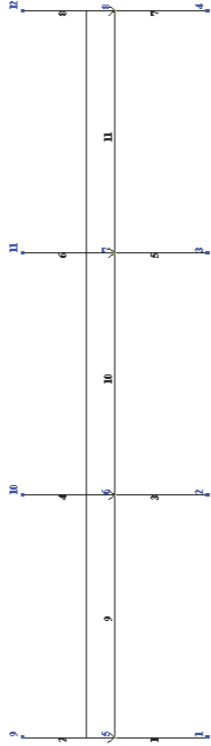


Рис. П8.2. Нумерация конечных элементов и узлов

Ниже на приведены эпюры внутренних усилий: на рис. П8.3 – для всех элементов рамы, на рис. П8.4 – для конечного элемента № 9.

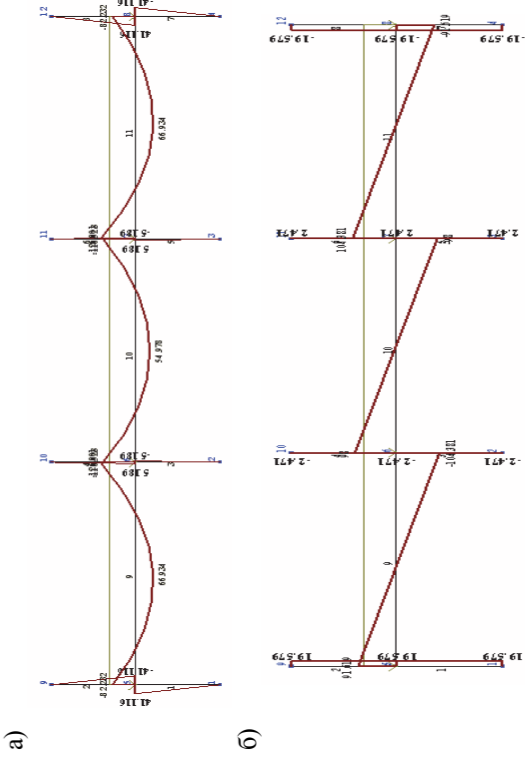


Рис. П8.3. Эпюры внутренних усилий:  
 а – изгибающих моментов  $M$  (кН · м);  
 б – поперечных сил  $Q$  (кН)

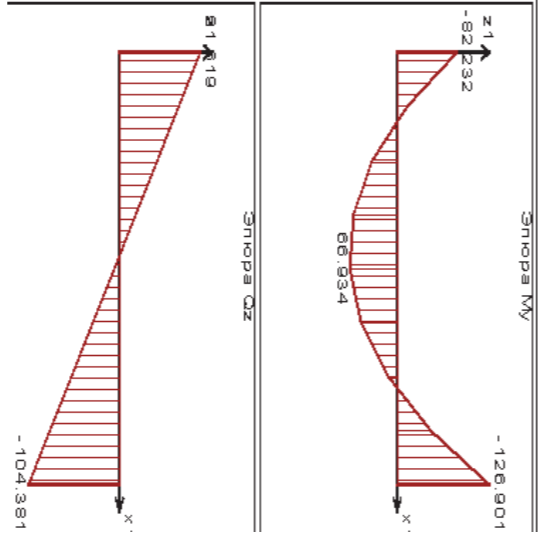


Рис. П8.4. Эпюры внутренних усилий для элемента №9 (загружение №1 – постоянная нагрузка)

На рис. П8.5 приведены значения усилий в табличном виде для КЭ № 9 для двух вариантов нагружения.

а)

Таблица усилий		Усилия						Тип элем	В загруз
В элем	В сечен	N (кН)	МК (кН*м)	МУ (кН*м)	Оz (кН)	Мz (кН*м)	ОУ (кН)		
9	1	0,000	0,000	-82,232	91,619	0,000	0,000	10	1
9	2	0,000	0,000	-126,901	-104,381	0,000	0,000	10	1

б)

Таблица усилий		Усилия						Тип элем	В загруз
В элем	В сечен	N (кН)	МК (кН*м)	МУ (кН*м)	Оz (кН)	Мz (кН*м)	ОУ (кН)		
9	1	0,000	0,000	12,931	-6,781	0,000	0,000	10	2
9	2	0,000	0,000	-34,538	-6,781	0,000	0,000	10	2

Рис. П8.5. Таблицы внутренних усилий для элемента № 9:  
 а – нагружение № 1 – постоянная нагрузка;  
 б – нагружение № 2 – временная нагрузка

5	2	229.151	0.000	-0.057	-0.110	24	2	-28.044	0.000	-0.260	-0.190
6	1	93.344	0.000	0.351	-0.210	25	1	-14.471	0.000	0.205	-0.186
6	2	93.344	0.000	-0.281	-0.210	25	2	-14.471	0.000	-0.259	-0.186
7	1	-0.186	0.000	-0.259	0.321	26	1	-180.942	0.000	0.076	-0.075
7	2	-0.186	0.000	0.223	0.321	26	2	-180.942	0.000	-0.142	-0.075
8	1	-169.560	0.000	-0.133	0.305	27	1	147.973	0.000	0.214	-0.099
8	2	-169.560	0.000	0.325	0.305	27	2	147.973	0.000	-0.076	-0.099
9	1	-169.751	0.000	0.065	0.050	28	1	-115.359	0.000	0.115	-0.056
9	2	-169.751	0.000	0.140	0.050	28	2	-115.359	0.000	-0.049	-0.056
10	1	-271.442	0.000	-0.058	0.250	29	1	82.118	0.000	0.149	-0.049
10	2	-271.442	0.000	0.317	0.250	29	2	82.118	0.000	0.006	-0.049
11	1	-271.538	0.000	0.185	-0.057	30	1	-49.540	0.000	0.091	-0.020
11	2	-271.538	0.000	0.099	-0.057	30	2	-49.540	0.000	0.033	-0.020
12	1	-305.435	0.000	0.034	0.154	31	1	16.287	0.000	0.098	-0.014
12	2	-305.435	0.000	0.266	0.154	31	2	16.287	0.000	0.056	-0.014
13	1	-305.435	0.000	0.266	-0.154	32	1	16.287	0.000	0.056	0.014
13	2	-305.435	0.000	0.034	-0.154	32	2	16.287	0.000	0.098	0.014
14	1	-271.538	0.000	0.099	0.057	33	1	-49.540	0.000	0.033	0.020
14	2	-271.538	0.000	0.185	0.057	33	2	-49.540	0.000	0.091	0.020
15	1	-271.442	0.000	0.317	-0.250	34	1	82.118	0.000	0.006	0.049
15	2	-271.442	0.000	-0.058	-0.250	34	2	82.118	0.000	0.149	0.049
16	1	-169.751	0.000	0.140	-0.050	35	1	-115.359	0.000	-0.049	0.056
16	2	-169.751	0.000	0.065	-0.050	35	2	-115.359	0.000	0.115	0.056
17	1	-169.560	0.000	0.325	-0.305	36	1	147.973	0.000	-0.076	0.099
17	2	-169.560	0.000	-0.133	-0.305	36	2	147.973	0.000	0.214	0.099
18	1	-0.186	0.000	0.223	-0.321	37	1	-180.942	0.000	-0.142	0.075
18	2	-0.186	0.000	-0.259	-0.321	37	2	-180.942	0.000	0.076	0.075
19	1	-14.471	0.000	-0.205	0.186						
19	2	-14.471	0.000	0.259	0.186						

Данная схема рассматривает изгиб конструкций в двух направлениях.

С помощью *расчетной* схемы 3 могут быть выполнены расчеты **плоских плит перекрытий и покрытий, фундаментных плит** и т.д. В данной схеме КЭ считаются абсолютно жесткими в своей плоскости (здесь рабочая плоскость – XOY) и поэтому в этой модели учитываются только нормальные перемещения по оси OZ и два угла поворота вокруг осей OX и OY.

С помощью *расчетной* схемы 2 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

iii) В ПК «ЛИРА» для первых двух расчетных схем **основной рабочей плоскостью является плоскость XOZ** в отличие от AutoCAD – другой популярной программы (где основная рабочая плоскость XOY). Это несоответствие приводит к частым ошибкам у начинающих пользователей, когда они задают координаты узлов или направляющие нагрузок по оси OY.

Расчетная схема 1 (две степени свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ) позволяет рассчитывать **плоские ферменные конструкции** (стержневые конструкции, шарнирно соединенные).

Расчетная схема 2 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 3 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 4 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 5 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 6 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 7 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 8 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 9 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 10 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 11 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 12 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 13 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 14 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 15 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 16 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 17 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 18 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 19 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

ПК «ЛИРА-САПР 2011» реализует пять основных расчетных схем (моделей).

Самая общая *расчетная* схема 5, которая предполагает шесть степеней свободы в каждом узле и с помощью которой может быть рассчитана любая конструкция: от простой фермы до сложной комбинированной системы с использованием плоских и объемных КЭ. Но для наиболее часто встречаемых на практике конструкций применимы более простые схемы.

Расчетная схема 1 (две степени свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ) позволяет рассчитывать **плоские ферменные конструкции** (стержневые конструкции, шарнирно соединенные).

Расчетная схема 2 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 3 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 4 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Расчетная схема 5 – самая популярная, так как с ее помощью выполняется расчет **плоских балок и рам**, обладающих тремя степенями свободы в каждом узле – линейные перемещения по осям OX, OZ и угол поворота вокруг оси OY.

Рис. 1.2. Диалоговое окно *Признак схемы*



## ПРИЛОЖЕНИЕ 8

### ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 3

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный  
технический университет»

Факультет кадастра и строительства  
Кафедра «Строительство и архитектура»

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

по дисциплине «Практикум по компьютерной технике»

#### Расчет плоской рамы в ПК ЛИРА-САПР 2011

Вариант 25

Студент группы 5ПС-1

А.Н. Николаев

Преподаватель

Ю.Н. Чудинов

## ВВЕДЕНИЕ

**Программный комплекс «ЛИРА-САПР 2011» (ПК «ЛИРА-САПР 2011»)** – это многофункциональный программный комплекс для расчета, исследования и проектирования конструкций различного назначения.

ПК «ЛИРА-САПР 2011» с успехом применяется в расчетах объектов строительства, машиностроения, мостостроения и во многих других сферах, где актуальны методы строительной механики.

Кроме общего расчета модели объекта на все возможные виды статических нагрузок, температурных, деформационных и динамических воздействий (ветер с учетом пульсации, сейсмические воздействия и т.п.) ПК «ЛИРА-САПР 2011» автоматизирует ряд процессов проектирования: определение расчетных сочетаний нагрузок и усилий, назначение конструктивных элементов, подбор и проверка сечений стальных и железобетонных конструкций с формированием эскизов рабочих чертежей колонн и балок.

ПК «ЛИРА-САПР 2011» позволяет исследовать общую устойчивость рассчитываемой модели, проверить прочность сечений элементов по различным теориям разрушений.

ПК «ЛИРА-САПР 2011» предоставляет возможность производить расчеты объектов с учетом физической и геометрической нелинейностей, моделировать процесс возведения сооружения с учетом монтажа и демонтирования элементов.

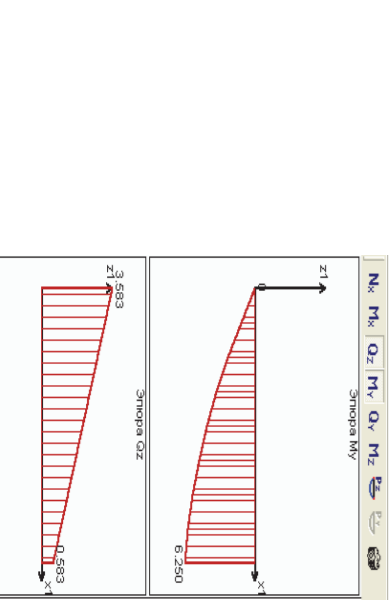
Возможности, предоставляемые по результатам расчета при отображении напряженно-деформированного состояния объекта, позволяют произвести детальный анализ полученных данных:

- по изополям перемещений и напряжений;
- эпюрам усилий и прогибов;
- мозаикам разрушения элементов;
- главным и эквивалентным напряжениям;
- и по многим другим параметрам.

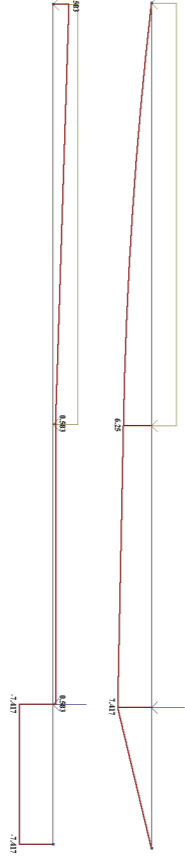
Полное изложение всего инструментария ПК «ЛИРА-САПР 2011» и его возможностей можно найти в [1, 2].

Настоящее пособие своей главной целью ставит рассмотрение наиболее важных с практической точки зрения расчетов строительных конструкций с помощью ПК «ЛИРА-САПР 2011». В данном пособии актуализированы и дополнены сведения по работе в ПК «ЛИРА-САПР 2011», ранее приведенные в методических указаниях [4, 5, 6].

Пособие состоит из четырех разделов, в которых последовательно рассматриваются расчет плоских ферм, балок, плоских рам, конструктивный расчет стальных и железобетонных элементов.



Эпюры моментов и поперечных сил в элементе №1



Эпюры внутренних усилий балки (M, Q)

№ элем	№ сечен	Усилия			
		N (кН)	МК (кН*М)	МУ (кН*М)	Qz (кН)
1	1	0.000	0.000	0.000	3.583
1	2	0.000	0.000	6.250	0.583
2	1	0.000	0.000	6.250	0.583
2	2	0.000	0.000	7.417	0.583
3	1	0.000	0.000	7.417	-7.417
3	2	0.000	0.000	0.000	-7.417

Таблица внутренних усилий балки

Окна задания жесткостей элементов



Расчетная схема балки в ПК «ЛИРА»

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

### ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 2

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
 «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Факультет кадастра и строительства  
 Кафедра «Строительство и архитектура»

#### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

по дисциплине «Практикум по компьютерной технике»

Статический расчет балки в ПК «ЛИРА-SAPR 2011»

Вариант 25

Студент группы 5ПС-1

А.Н. Николаев

Преподаватель

Ю.Н. Чудинов

Необходимо четко понимать разницу термина «узел», принимаемого в МКЭ и в теории строительных конструкций. В МКЭ понятие «узел» означает объект (точку), в котором стыкуются отдельные конечные элементы (КЭ). В зависимости от признака расчетной схемы, узел обладает различным числом степеней свободы (от 1 до 6). Под степенью свободы в МКЭ понимается линейное перемещение или угол поворота сечения.

В строительных конструкциях термин «узел фермы» означает конструктивное решение сопряжения отдельных элементов фермы. Например, в стальных фермах элементы соединяются обычно сваркой с помощью фангонов (специальных стальных листов-накладок, см. рис. 1.1, з). Наиболее точно конструкция такого узла, как и большинства узлов железобетонных и деревянных ферм, моделирует жесткое сопряжение элементов.

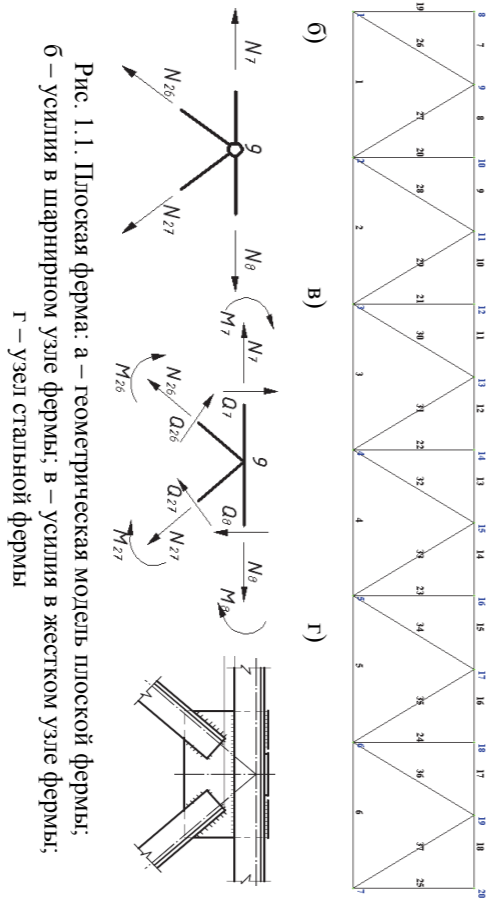


Рис. 1.1. Плоская ферма: а – геометрическая модель плоской фермы;

б – усилия в шарнирном узле фермы; в – усилия в жестком узле фермы;

г – узел стальной фермы

При расчете методом конечных элементов (МКЭ) стержневые конструкции представляются в виде совокупности конечных элементов, соединенных между собой в узловых точках. При расчете стержневых систем каждый стержень погонного сечения принимается за отдельный элемент. На рис. 1.1 приведена геометрическая модель, рассчитываемая ниже в примере плоской фермы. Модель фермы состоит из 37 конечных элементов, соединенных в 20 узлах (см. рис. 1.1, д).

## 1. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ФЕРМ В ПК «ЛИРА-SAPR 2011»


При шарнирном сопряжении в элементах фермы возникают только продольные силы  $N$ , а при жестком сопряжении – продольные силы  $N$ , поперечные силы  $Q$ , изгибающие моменты  $M$  (см. рис. 1.1, б, в).

Однако, как показал опыт расчетов, продольные силы  $N$  в стержнях ферм при узловой передаче усилий, определенные с учетом жесткости узлов, и продольные силы  $N$ , определенные по шарнирной схеме, обычно отличаются не более чем на несколько процентов, а поперечные силы  $Q$  и изгибающие моменты  $M$ , рассчитанные с учетом жесткости узлов, имеют малые значения.

Поскольку выполнять расчет во втором случае значительно легче, жесткостью узлов фермы пренебрегают, и расчет ведут по шарнирной схеме. Иными словами, при расчете фермы все ее узлы считают идеальными шарнирами и основной расчетной схемой является схема с шарнирным сопряжением элементов.

### 1.1. Начало работы в ПК «ЛИРА-SAPR 2011»

Запуск основного модуля программного комплекса осуществляется через меню *Пуск* рабочего стола Windows:

(*Пуск* | *Программы* |  ЛИРА-SAPR 2011 |  ЛИРА-SAPR ).

ПК «ЛИРА-SAPR 2011» функционирует в пяти основных режимах работы:

- 1) режим создания расчетной схемы объекта;
- 2) режим процессора;
- 3) режим анализа и документирования результатов расчета;
- 4) железобетонные конструкции;
- 5) стальные конструкции.

Включение двух последних режимов (двух модулей ЛИРА-СТК и ЛИРА-АРМ) в модуль ЛИРА-ВИЗОР является главным принципиальным отличием «ЛИРА-SAPR 2011» от предыдущих версий.

При загрузке ПК активным является основной режим (создание расчетной схемы).

### 1.2. Основные расчетные схемы в ПК «ЛИРА»

Сразу после старта ПК открывается стандартное диалоговое окно *Признак схемы* (рис. 1.2), в котором необходимо задать имя и шифр задачи (если необходимо, дать краткое описание задачи) и самое главное выбрать признак расчетной схемы.

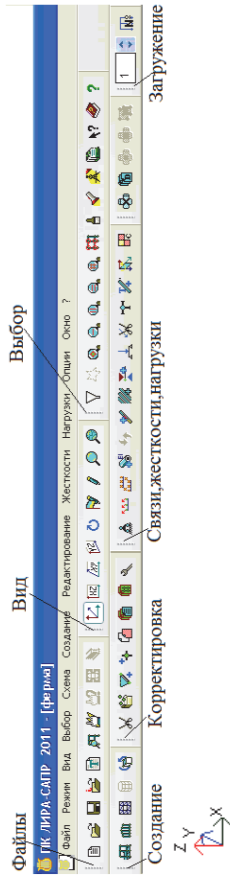
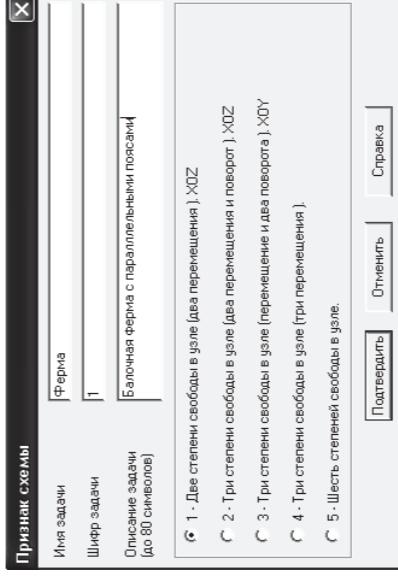


Рис. 1.4. Основные панели ПК «ЛИРА-САПР 2011» в режиме создания модели

Рис. 1.3. Диалоговое окно *Признак схемы* с выбранными расчетными параметрами



На рис. 1.4 показаны основные панели рабочего окна в режиме создания модели. В приложении 2 приведены основные команды (функции) этих панелей, которые также могут выполняться с помощью команд выпадающих меню.



Заполним поля диалогового окна, отметим расчетную схему I (рис. 1.3) и щелкнем левой кнопкой мыши по кнопке *Подтвердить* и тем самым войдем в режим создания и редактирования модели конструкции.


Заполним поля диалогового окна, отметим расчетную схему I (рис. 1.3) и щелкнем левой кнопкой мыши по кнопке *Подтвердить* и тем самым войдем в режим создания и редактирования модели конструкции.

Расчетная схема 4 (три степени свободы в каждом узле – азелные перемещения по осям Ox, Oy, Oz) позволяет рассчитывать **пространственные ферменные конструкции**.

- по изолюдам перемещений и напряжений;
- эпюрам усилий и прогибов;
- мозаикам разрушения элементов;
- главным и эквивалентным напряжениям;
- и по многим другим параметрам.

Из всех этих возможностей при расчете стержневых конструкций актуальными являются:

- интерактивные таблицы – кнопка ;
- эпюры усилий –  (**N** – эпюра продольных сил, **Qz** – поперечных сил, **Mz** – изгибающих моментов).

Выход основной информации об исходных данных задачи и результатах расчета в ПК «ЛИРА-САПР 2011» может быть выполнен различными инструментами, но самый быстрый и эффективный вывод информации на экран позволяет кнопка  («информация об узлах и элементах»). Когда эта кнопка активна – щелчок левой кнопкой на интересующий объект (узел или элемент) выводит на экран интерактивную таблицу с информацией и редактровкой расчетной схемы, результатах расчета и основных параметрах этого объекта в режиме просмотра результатов расчета). Последующий щелчок на другой интересующий пользователь объект динамически обновляет информационную таблицу – в ней отображается информация о новом выделенном объекте.

#### Железобетонные конструкции.

В этом режиме по результатам статического (динамического) расчета выполняется конструктивный расчет отдельных элементов: подбираться продольная и поперечная арматура.

В предыдущих версиях ПК «Лира» конструктивные расчеты стальных и железобетонных элементов выполнялись в отдельных модулях: «Лира-СТК» и «Лира-Арма». В ПК «ЛИРА-САПР 2011», по сути, реализована новая технология работ над проектами.

Системы конструирования железобетонных конструкций («Лира-Арма») и стальных конструкций («Лира-СТК») объединены с базовой системой ВИЗОР-САПР программного комплекса «ЛИРА-САПР 2011» в единую графическую среду пользователя. Все исходные данные о расчетной схеме, связанные как с расчетами, так и с последующим конструированием, находятся в одном LIR-файле проекта. Как следствие, исключается необходимость импорта проектов в конструирующие системы после каждого статического и динамического расчета задачи.

В новой версии предлагается технология многовариантного конструирования железобетонных и стальных конструкций. Понятие «вариант

Таблица усилий (стержни)												
№ элем	№ сечен	N (кН)	Mz (кН*м)	My (кН*м)	Mx (кН*м)	Qz (кН)	№ элем	№ сечен	N (кН)	Mz (кН*м)	My (кН*м)	Mx (кН*м)
1	1	93.390	-28.300	0.000	0.000	0.000	20	2	-28.300	0.000	0.000	0.000
1	2	93.390	-28.300	0.000	0.000	0.000	21	1	-28.300	0.000	0.000	0.000
2	1	229.230	-28.300	0.000	0.000	0.000	21	2	-28.300	0.000	0.000	0.000
2	2	229.230	-28.300	0.000	0.000	0.000	22	1	-28.300	0.000	0.000	0.000
3	1	297.150	-28.300	0.000	0.000	0.000	22	2	-28.300	0.000	0.000	0.000
3	2	297.150	-28.300	0.000	0.000	0.000	23	1	-28.300	0.000	0.000	0.000
4	1	297.150	-28.300	0.000	0.000	0.000	23	2	-28.300	0.000	0.000	0.000
4	2	297.150	-28.300	0.000	0.000	0.000	24	1	-28.300	0.000	0.000	0.000
5	1	229.230	-28.300	0.000	0.000	0.000	24	2	-28.300	0.000	0.000	0.000
5	2	229.230	-28.300	0.000	0.000	0.000	25	1	-28.300	0.000	0.000	0.000
6	1	93.390	-14.150	0.000	0.000	0.000	25	2	-14.150	0.000	0.000	0.000
6	2	93.390	-14.150	0.000	0.000	0.000	26	1	-14.150	0.000	0.000	0.000
7	1	0.000	-181.518	0.000	0.000	0.000	26	2	-181.518	0.000	0.000	0.000
7	2	0.000	-181.518	0.000	0.000	0.000	27	1	-181.518	0.000	0.000	0.000
8	1	-169.800	148.515	0.000	0.000	0.000	27	2	148.515	0.000	0.000	0.000
8	2	-169.800	148.515	0.000	0.000	0.000	28	1	-115.511	0.000	0.000	0.000
9	1	-169.800	-115.511	0.000	0.000	0.000	28	2	-115.511	0.000	0.000	0.000
9	2	-169.800	-115.511	0.000	0.000	0.000	29	1	82.508	0.000	0.000	0.000
10	1	-271.680	82.508	0.000	0.000	0.000	29	2	82.508	0.000	0.000	0.000
10	2	-271.680	82.508	0.000	0.000	0.000	30	1	-49.505	0.000	0.000	0.000
11	1	-271.680	-49.505	0.000	0.000	0.000	30	2	-49.505	0.000	0.000	0.000
11	2	-271.680	-49.505	0.000	0.000	0.000	31	1	16.502	0.000	0.000	0.000
12	1	-305.640	16.502	0.000	0.000	0.000	31	2	16.502	0.000	0.000	0.000
12	2	-305.640	16.502	0.000	0.000	0.000	32	1	16.502	0.000	0.000	0.000
13	1	-305.640	-16.502	0.000	0.000	0.000	32	2	-16.502	0.000	0.000	0.000
13	2	-305.640	-16.502	0.000	0.000	0.000	33	1	-49.505	0.000	0.000	0.000
14	1	-271.680	49.505	0.000	0.000	0.000	33	2	-49.505	0.000	0.000	0.000
14	2	-271.680	49.505	0.000	0.000	0.000	34	1	82.508	0.000	0.000	0.000
15	1	-271.680	82.508	0.000	0.000	0.000	34	2	82.508	0.000	0.000	0.000
15	2	-271.680	82.508	0.000	0.000	0.000	35	1	-115.511	0.000	0.000	0.000
16	1	-169.800	-115.511	0.000	0.000	0.000	35	2	-115.511	0.000	0.000	0.000
16	2	-169.800	-115.511	0.000	0.000	0.000	36	1	148.515	0.000	0.000	0.000
17	1	-169.800	148.515	0.000	0.000	0.000	36	2	148.515	0.000	0.000	0.000
17	2	-169.800	148.515	0.000	0.000	0.000	37	1	-181.518	0.000	0.000	0.000
18	1	0.000	-181.518	0.000	0.000	0.000	37	2	-181.518	0.000	0.000	0.000
18	2	0.000	-181.518	0.000	0.000	0.000						
19	1	-14.150	0.075	0.000	0.000	0.000						
19	2	-14.150	0.075	0.000	0.000	0.000						

б) Несимметричное нагружение

13	1	-305.435	0.000	0.266	-0.154	32	1	16.287	0.056	0.014	0.014
13	2	-305.435	0.000	0.099	-0.154	32	2	16.287	0.098	0.033	0.020
14	1	-271.538	0.000	0.057	0.057	33	1	-49.540	0.000	0.091	0.020
14	2	-271.538	0.000	0.317	-0.250	34	1	82.118	0.006	0.049	0.049
15	1	-271.442	0.000	-0.058	-0.250	34	2	82.118	0.000	0.149	0.049
15	2	-271.442	0.000	0.140	-0.050	35	1	-115.359	0.000	-0.049	0.056
16	1	-169.751	0.000	0.065	-0.050	35	2	-115.359	0.000	0.115	0.056
16	2	-169.751	0.000	0.325	-0.305	36	1	147.973	0.000	-0.076	0.099
17	1	-169.560	0.000	-0.133	-0.305	36	2	147.973	0.000	0.214	0.099
18	1	-169.560	0.000	0.223	-0.321	37	1	-180.942	0.000	-0.142	0.075
18	2	-169.560	0.000	-0.259	-0.321	37	2	-180.942	0.000	0.076	0.075
19	1	-14.471	0.000	0.186	-0.186						
19	2	-14.471	0.000	0.186	-0.186						

## Результаты расчетов

### 1. Симметричная расчетная схема (циркульное сопряжение элементов)

#### а) Симметричное нагружение

Таблица усилий (стержни)					
№ элем	№ сечен	N (кН)	Mz (кН*м)	My (кН*м)	N (кН)
1	1	93.390	-28.300	0.000	-28.300
1	2	93.390	-28.300	0.000	-28.300
2	1	229.230	-28.300	0.000	-28.300
2	2	229.230	-28.300	0.000	-28.300
3	1	297.150	-28.300	0.000	-28.300
3	2	297.150	-28.300	0.000	-28.300
4	1	297.150	-28.300	0.000	-28.300
4	2	297.150	-28.300	0.000	-28.300
5	1	229.230	-28.300	0.000	-28.300
5	2	229.230	-28.300	0.000	-28.300
6	1	93.390	-14.150	0.000	-14.150
6	2	93.390	-14.150	0.000	-14.150
7	1	0.000	-181.518	0.000	-181.518
7	2	0.000	-181.518	0.000	-181.518
8	1	-169.800	148.515	0.000	148.515
8	2	-169.800	148.515	0.000	148.515
9	1	-169.800	-115.511	0.000	-115.511
9	2	-169.800	-115.511	0.000	-115.511
10	1	-271.680	82.508	0.000	82.508
10	2	-271.680	82.508	0.000	82.508
11	1	-271.680	-49.505	0.000	-49.505
11	2	-271.680	-49.505	0.000	-49.505
12	1	-305.640	16.502	0.000	16.502
12	2	-305.640	16.502	0.000	16.502
13	1	-305.640	-16.502	0.000	-16.502
13	2	-305.640	-16.502	0.000	-16.502
14	1	-271.680	49.505	0.000	-49.505
14	2	-271.680	49.505	0.000	-49.505
15	1	-271.680	82.508	0.000	82.508
15	2	-271.680	82.508	0.000	82.508
16	1	-169.800	-115.511	0.000	-115.511
16	2	-169.800	-115.511	0.000	-115.511
17	1	-169.800	148.515	0.000	148.515
17	2	-169.800	148.515	0.000	148.515
18	1	0.000	-181.518	0.000	-181.518
18	2	0.000	-181.518	0.000	-181.518
19	1	-14.150	0.075	0.000	-181.518
19	2	-14.150	0.075	0.000	-181.518

## 2. Уточненная расчетная схема (жесткое сопряжение элементов)

### а) Симметричное загрузжение

Таблица усилий (стержни)											
№ элем	№ сечен	N (кН)	Mк (кН*м)	Mу (кН*м)	Qz (кН)	№ элем	№ сечен	N (кН)	Mк (кН*м)	Mу (кН*м)	Qz (кН)
1	1	93.344	0.000	-0.281	0.210	20	1	-28.044	0.000	-0.216	0.190
1	2	93.344	0.000	0.351	0.210	20	2	-28.044	0.000	0.260	0.190
2	1	229.151	0.000	-0.057	0.110	21	1	-27.993	0.000	-0.107	0.096
2	2	229.151	0.000	0.272	0.110	21	2	-27.993	0.000	0.132	0.096
3	1	297.043	0.000	0.080	0.037	22	1	-27.991	0.000	0.000	0.000
3	2	297.043	0.000	0.191	0.037	22	2	-27.991	0.000	0.000	0.000
4	1	297.043	0.000	0.191	-0.037	23	1	-27.993	0.000	0.107	-0.096
4	2	297.043	0.000	0.080	-0.037	23	2	-27.993	0.000	-0.132	-0.096
5	1	229.151	0.000	0.272	-0.110	24	1	-28.044	0.000	0.216	-0.190
5	2	229.151	0.000	-0.057	-0.110	24	2	-28.044	0.000	-0.260	-0.190
6	1	93.344	0.000	0.351	-0.210	25	1	-14.471	0.000	0.205	-0.186
6	2	93.344	0.000	-0.281	-0.210	25	2	-14.471	0.000	-0.259	-0.186
7	1	-0.186	0.000	-0.259	0.321	26	1	-180.942	0.000	0.076	-0.075
7	2	-0.186	0.000	0.223	0.321	26	2	-180.942	0.000	-0.142	-0.075
8	1	-169.560	0.000	-0.133	0.305	27	1	147.973	0.000	0.214	-0.099
8	2	-169.560	0.000	0.325	0.305	27	2	147.973	0.000	-0.076	-0.099
9	1	-169.751	0.000	0.065	0.050	28	1	-115.359	0.000	0.115	-0.056
9	2	-169.751	0.000	0.140	0.050	28	2	-115.359	0.000	-0.049	-0.056
10	1	-271.442	0.000	-0.058	0.250	29	1	82.118	0.000	0.149	-0.049
10	2	-271.442	0.000	0.317	0.250	29	2	82.118	0.000	0.006	-0.049
11	1	-271.538	0.000	0.185	-0.057	30	1	-49.540	0.000	0.091	-0.020
11	2	-271.538	0.000	0.099	-0.057	30	2	-49.540	0.000	0.033	-0.020
12	1	-305.435	0.000	0.034	0.154	31	1	16.287	0.000	0.098	-0.014
12	2	-305.435	0.000	0.266	0.154	31	2	16.287	0.000	0.056	-0.014





### б) Несимметричное загрузжение

Таблица усилий (стержни)											
№ элем	№ сечен	N (кН)	Mк (кН*м)	Mу (кН*м)	Qz (кН)	№ элем	№ сечен	N (кН)	Mк (кН*м)	Mу (кН*м)	Qz (кН)
1	1	67.920	0.000	-0.216	0.190	20	1	-28.300	0.000	-0.216	0.190
1	2	67.920	0.000	0.260	0.190	20	2	-28.300	0.000	0.260	0.190
2	1	152.820	0.000	-0.107	0.096	21	1	-28.300	0.000	-0.107	0.096
2	2	152.820	0.000	0.132	0.096	21	2	-28.300	0.000	0.132	0.096
3	1	169.800	0.000	0.000	0.000	22	1	-14.150	0.000	0.000	0.000
3	2	169.800	0.000	0.000	0.000	22	2	-14.150	0.000	0.000	0.000
4	1	127.350	0.000	0.107	-0.096	23	1	0.000	0.000	0.107	-0.096
4	2	127.350	0.000	-0.132	-0.096	23	2	0.000	0.000	-0.132	-0.096
5	1	76.410	0.000	0.216	-0.190	24	1	0.000	0.000	0.216	-0.190
5	2	76.410	0.000	-0.260	-0.190	24	2	0.000	0.000	-0.260	-0.190
6	1	25.470	0.000	0.205	-0.186	25	1	0.000	0.000	0.205	-0.186
6	2	25.470	0.000	-0.259	-0.186	25	2	0.000	0.000	-0.259	-0.186
7	1	0.000	0.000	0.076	-0.075	26	1	0.000	0.000	0.076	-0.075
7	2	0.000	0.000	-0.142	-0.075	26	2	0.000	0.000	-0.142	-0.075
8	1	-118.860	0.000	0.214	-0.099	27	1	-118.860	0.000	0.214	-0.099
8	2	-118.860	0.000	-0.076	-0.099	27	2	-118.860	0.000	-0.076	-0.099
9	1	-118.860	0.000	0.115	-0.056	28	1	-118.860	0.000	0.115	-0.056
9	2	-118.860	0.000	-0.049	-0.056	28	2	-118.860	0.000	-0.049	-0.056
10	1	-169.800	0.000	0.149	-0.049	29	1	-169.800	0.000	0.149	-0.049
10	2	-169.800	0.000	0.006	-0.049	29	2	-169.800	0.000	0.006	-0.049
11	1	-169.800	0.000	0.091	-0.020	30	1	-169.800	0.000	0.091	-0.020
11	2	-169.800	0.000	0.033	-0.020	30	2	-169.800	0.000	0.033	-0.020
12	1	-152.820	0.000	0.098	-0.014	31	1	-152.820	0.000	0.098	-0.014
12	2	-152.820	0.000	0.056	-0.014	31	2	-152.820	0.000	0.056	-0.014
13	1	-152.820	0.000	0.091	-0.020	32	1	-152.820	0.000	0.091	-0.020
13	2	-152.820	0.000	0.033	-0.020	32	2	-152.820	0.000	0.033	-0.020
14	1	-101.880	0.000	0.149	-0.049	33	1	-101.880	0.000	0.149	-0.049
14	2	-101.880	0.000	0.006	-0.049	33	2	-101.880	0.000	0.006	-0.049
15	1	-101.880	0.000	0.091	-0.020	34	1	-101.880	0.000	0.091	-0.020
15	2	-101.880	0.000	0.033	-0.020	34	2	-101.880	0.000	0.033	-0.020
16	1	-50.940	0.000	0.149	-0.049	35	1	-50.940	0.000	0.149	-0.049
16	2	-50.940	0.000	0.006	-0.049	35	2	-50.940	0.000	0.006	-0.049
17	1	-50.940	0.000	0.091	-0.020	36	1	-50.940	0.000	0.091	-0.020
17	2	-50.940	0.000	0.033	-0.020	36	2	-50.940	0.000	0.033	-0.020
18	1	0.000	0.000	0.091	-0.020	37	1	0.000	0.000	0.091	-0.020
18	2	0.000	0.000	0.033	-0.020	37	2	0.000	0.000	0.033	-0.020
19	1	-14.150	0.000	0.091	-0.020		1	-14.150	0.000	0.091	-0.020
19	2	-14.150	0.000	0.033	-0.020		2	-14.150	0.000	0.033	-0.020

### 1.3. Основные этапы расчета плоских ферм в ПК «ЛИРА-САПР 2011»

Во избежание ошибок и затруднений при расчете конструкций, пер-  
вое, что должен хорошо понять и запомнить начинающий пользователь –  
это алгоритм расчета задачи (основные операции), приведенный ниже.

#### Алгоритм расчета плоских ферм:

- 1) Выбор расчетной схемы I (признака схемы). Этот параметр мож-  
но поменять в любой момент создания и редактирования модели с помо-  
щью пиктограммы  или команды меню Схема ➤ Признак схемы.
- 2) Выбор единиц измерения для исходных данных и результатов рас-  
чета: команды меню Опции ➤ Единицы измерения. Единицы измерения  
также можно менять в процессе редактирования модели, но для избежания  
ошибок и путаницы лучше взять себе за правило выполнять эту операцию  
в самом начале расчета.
- 3) Создание геометрической схемы конструкции. Для конструкций,  
имеющих простые реткулярные схемы, эту операцию проще всего выпол-  
нить с помощью пиктограмм: для балок и рам – , для ферм – .
- 4) Закрепление опорных узлов – пиктограмма  или команда меню  
Схема ➤ Связи. (Основные варианты закрепления опорных узлов для пло-  
ских систем смотри в приложении 3).
- 5) Выбор требуемых типов жесткости из библиотеки жесткости-  
ных характеристик.
- 6) Выбор параметров для железобетонных или стальных конструк-  
ций.
- 7) Присвоение жесткостей и материалов, занесенных в библиотеку  
файла конкретным КЭ схем.
- 8) Задание нагрузок на отдельные узлы и элементы.
- 9) Верстка таблицы расчетных сочетаний усилий.
- 10) Выполнение расчета конструкции МКЭ.
- 11) Анализ результатов расчета.

!!! На всех этапах (кроме первых двух) большинство команд связано

с работой с отдельными КЭ и узлами. Поэтому надо внимательно сле-  
дить за тем, какие из узлов и элементов являются выделенными в  
конкретный момент времени. Много ошибок у начинающих пользователей  
связаны с тем, что они задают жесткости (применяют нагрузку и т.  
д.) не к тем узлам и элементам из-за простой невнимательности.

Примечание. Пункты 6 и 8 (задание материалов и таблицы расчет-  
ных сочетаний усилий в общем случае являются необязательными, более  
подробная информация будет приведена в четвертом разделе).

#### Режим анализа и документирования результатов расчета.

После завершения расчета задачи необходимо провести анализ полу-  
ченных результатов.

Возможности, предоставляемые по результатам расчета при отобра-  
жении напряженно-деформированного состояния объекта, позволяют про-  
извести детальный анализ полученных данных:

Этапы и операции	Команда и ее иконки	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
3.5 Контроль правильности, созданной геометрической схемы фермы		Щелкните по кнопке «Нарисовать». На закладке должен отобразиться рисунок	Также см. приложение 4
3.7 Сохранение данных		В диалоговом окне «Сохранить активный документ» задайте папку, в которую будет сохранена эта задача	С помощью открывшегося окна «Сохранить как» найдите папку Рабочую папку и сохраните файл в эту папку
3.6 Создание геометрической схемы фермы		Если схема создана верно, щелкните на кнопку <i>применить</i> . Созданная геометрическая схема отобразится на экране. Закройте окно «Создание фермы»	Если допущены ошибки, необходимо их исправить на данной закладке или вернуться на предыдущие. Также см. приложение 5
<b>4. Задание граничных условий</b>			
4.1 Вывод на экран номеров узлов		Щелчком на кнопку «Флаги рисования» отройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Узлы». После этого отметьте опцию <b>Номера узлов</b> и щелкните по кнопке <b>Пересчитать</b>	На расчетной схеме отобразятся номера
4.2 Выделение узла 1		Активизируйте режим отметки узлов. Выделите узел 1 (левый нижний узел) щелкнув по нему левой кнопкой мыши	Узел окружится в курсивный цвет
4.3 Задание граничных условий в узле 1		В диалоговом окне «Связи в узлах» активируйте закладку «Назначить связи» отметьте направление Z, по которому запрещено перемещение узла, переведяте бегунок «Визуализация связей» в крайнее правое положение и щелкните по кнопке <b>Применить</b>	На узле 1 появились иконки: а) ограничение по перемещению узла по направлению Z; б) исключение одной линейной степени свободы узла моделируемой шарнирно-подвижной опоры.
4.4 Выделение узла 7		Выделите узел 7 (правый нижний узел)	Узел окружится в курсивный цвет

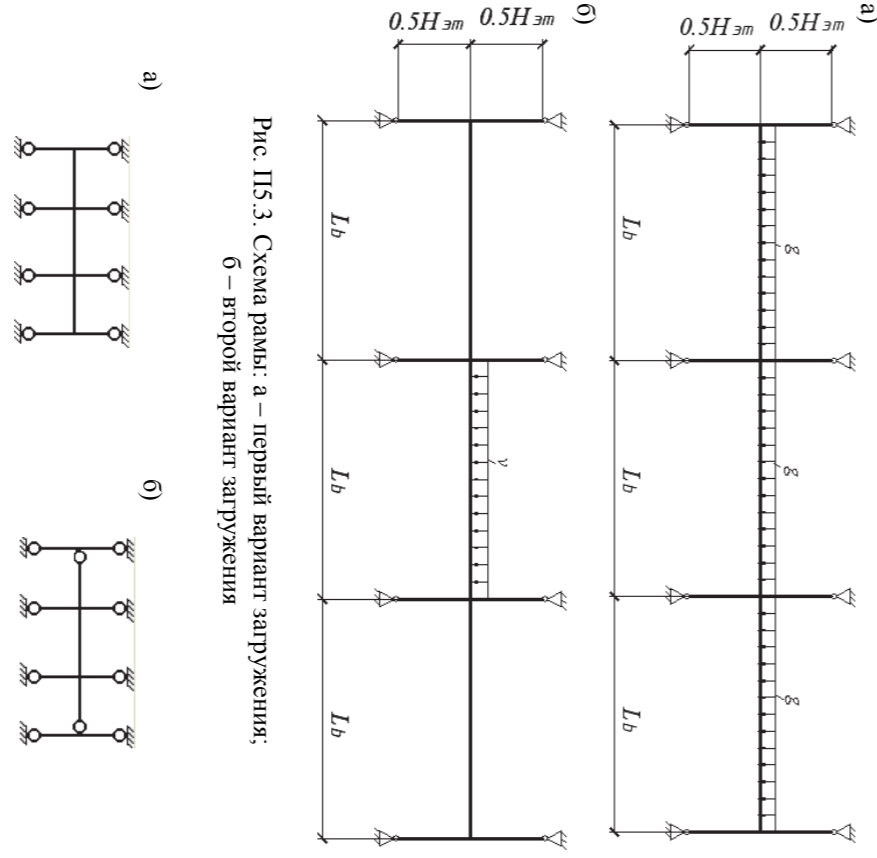


Рис. П5.3. Схема рамы: а – первый вариант нагружения;

б – второй вариант нагружения

Рис. П5.4. Расчетные схемы рамы: а – полный каркас; б – неполный каркас

**Задание**

Выполнить статический расчет плоской фермы с параллельными поясами (рис. П6.1), нагруженной сосредоточенными силами на левой части пролета.

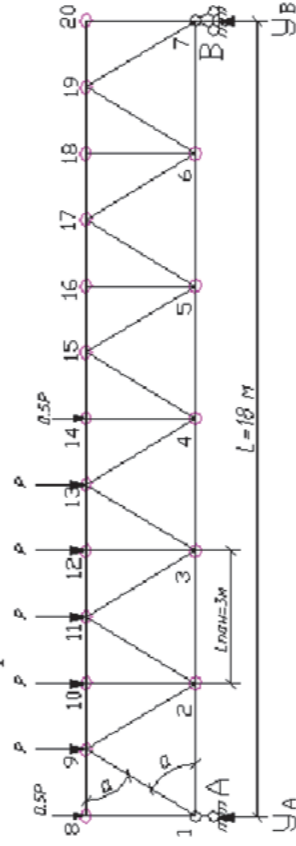


Рис. П6.1. - Расчетная схема фермы

**Исходные данные**

Пролет фермы  $L := 18 \text{ м}$ .

Высота фермы  $H := 2.5 \text{ м}$ .

Размер панелей нижнего пояса  $L_{пан} := 3 \text{ м}$ .

Сосредоточенная узловая нагрузка  $P := 28.3 \text{ кН}$ .

**Решение**

Расчет выполняем в ПК "ЛИРА"

Созданная в ПК "ЛИРА" расчетная модель, состоящая из 37 конечных элементов и 20 узлов, приведена ниже на рис.П6.2.

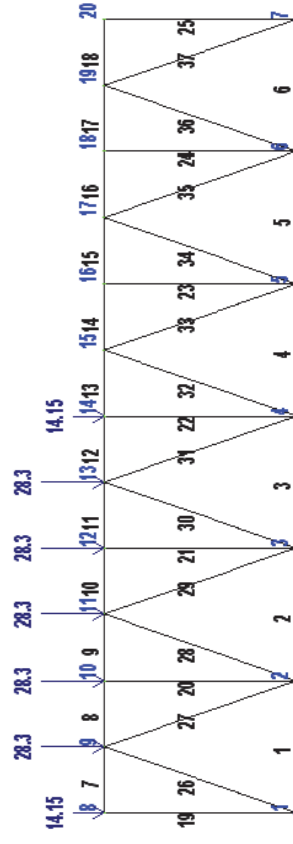


Рис.П6.2.- Расчетная модель фермы в ПК "ЛИРА"

конструирования» включает информацию о принятых нормах проектирования железобетонных и стальных конструкций, характеристики материалов, унифицированные группы и назначенные конструктивные элементы. Имеется возможность задания в одном проекте нескольких различных вариантов конструирования, отличающихся одним или несколькими параметрами. После расчета пользователь может провести сравнительный анализ полученных результатов по вариантам конструирования и, при необходимости, преобразовать выбранные результаты в новые исходные данные для проведения уточняющих расчетов.

**Стальные конструкции.**

В режиме «Стальные конструкции» решаются две основные задачи: проверка и подбор сечений стальных элементов.

**1.5. Пример расчета плоской фермы****1.5.1. Исходные данные**

В качестве примера выполним расчет плоской фермы с параллельными поясами (рис. 1.5) по следующим исходным данным:

а) пролет фермы  $L = 18 \text{ м}$ ;

б) высота фермы  $H = 2.5 \text{ м}$ ;

в) длина панелей нижнего пояса  $L_{пан} = 3 \text{ м}$ ;

г) сосредоточенная узловая нагрузка  $P = 28.3 \text{ кН}$ ;

д) все элементы фермы выполнены из равнополочного уголка  $75 \times 75 \times 6 \text{ мм}$ .

В реальной ферме элементы решетки, нижнего и верхнего пояса имеют различные сечения. Но для статически определимых конструкций, к которым относится рассматриваемая ферма (при шарнирном сопряжении элементов), жесткостные характеристики сечений не оказывают влияния на распределение внутренних усилий. Поэтому независимо от любых принятых поперечных сечений элементов (номеров профилей или их численных значений) результаты расчетов будут одинаковыми при прочих равных исходных условиях.

Ферму необходимо рассчитать на два варианта нагружения при различных условиях сопряжения элементов фермы.

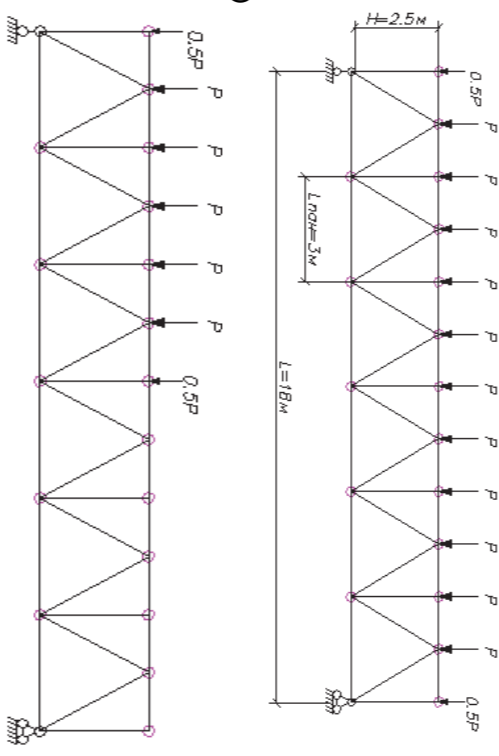


Рис. 1.5. Схема фермы: а – первый вариант нагружения; б – второй вариант нагружения

**Варианты нагружения фермы:**

а) симметричное нагружение: ко всем средним узлам фермы приложены сосредоточенные узловые нагрузки  $P = 28.3 \text{ кН}$ , к крайним узлам фермы – нагрузки в два раза меньше  $P = 14.15 \text{ кН}$  (см. рис. 1.5, а);

б) несимметричное нагружение – нагрузка действует на половину пролета фермы, к средним узлам левой половины фермы приложены сосредоточенные узловые нагрузки  $P = 28.3 \text{ кН}$ , к крайним узлам левой половины фермы приложены нагрузки в два раза меньше  $P = 14.15 \text{ кН}$  (рис. 1.5, б).

Основным является расчет фермы при шарнирном сопряжении элементов (признак схемы 1, см. подраздел 1.2).

Выполнение данного расчета должно подтвердить приведенное выше допущение о том, что замена жестких узлов шарнирными приводит к незначительной погрешности при расчете ферм.

Алгоритм расчета ферм с различными условиями сопряжения элементов абсолютно идентичны за исключением выбора признака схемы.

Поэтому после расчета и анализа полученных результатов фермы на два варианта нагружения при шарнирном сопряжении элементов достаточно в расчетной модели изменить признак схемы с 1 на 2 и выполнить далее расчет фермы и анализ результатов по схеме с жестким сопряжением элементов.

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
Запуск системы ЛИРА-САПР 2011		Выполните команды Windows: <b>Пуск</b> > <b>Программы</b> > <b>Лира-SAPR</b> > <b>ЛИРА-САПР 2011</b> > <b>ЛИРА-САПР</b>	
1 Создание новой задачи		В диалоговом окне «Описание схемы» задайте имя задачи: «Плоская ферма», введите описание задачи «Статический расчет фермы», отметьте признак схемы: «1»	См. примечание 1
2 Задание единиц измерения		Выполните команды меню <b>Опции</b> > <b>Закладка «Схема»</b> : <b>Единицы измерения</b> . В диалоговом окне «Единицы измерения» установите значения – см, нагрузки – мерности, соответствующие системе СИ кН и м, параметры Подтвердите выбор новых размерностей, материал – мПа. <b>Закладка «Результаты расчета»</b> : переключения – см, напряжения – МПа, усилия – кН и м	
3 Создание геометрической схемы фермы		Откройте диалоговое окно «Создание фермы», в котором необходимо выбрать, здание фермы имеет а) очертание поясов фермы; б) очертание особенности, описанной в примечании 2 метры фермы	
3.2 Выбор очертания поясов фермы		Щелкните левой кнопкой мыши по пиктограмме фермы с параллельными поясами. В открывшейся закладке необходимо выбрать очертание решетки фермы	
3.3 Выбор очертания решетки фермы		Щелкните левой кнопкой мыши по пиктограмме фермы с заданной решеткой	
3.4 Выбор геометрических параметров фермы		Задайте исходные параметры: пролет фермы $L = 18 \text{ м}$ , высота фермы $H = 2.5 \text{ м}$ , количество панелей нижнего пояса $K = 6$ , примечание 3) угол наклона фермы $\alpha/\text{deg} = 0$	По определению количества панелей нижнего пояса $K = 6$ , примечание 3)

**1.5.2. Порядок расчета фермы**

Геометрия	Цифра									
	0	1	2	3	4	5	9	7	8	6
1 Тип здания (каркас)	Полный	Полный	Полный	Полный	Полный	Полный	Полный	Полный	Полный	Полный
2 Высота этажа (м)	3.6	3.4	3.2	3	2.8	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7
3 Длина ригеля (м)	7	7.2	7.4	7.1	9	6.3	6.6	6.9	6.5	6.4
<b>Нагрузки, материалы</b>	<b>Вторая цифра варианта</b>									
1 Постоянная расчетная нагрузка (кН/м)	28.20	30.40	29.50	21.60	32.30	25.26	29.18	30.25	24.18	28.15
2 Временная расчетная нагрузка (кН/м)	32.30	35.10	29.12	25.48	24.25	30.89	34.58	36.28	28.57	29.14
3 Класс бетона ригеля	B20	B25	B30	B35	B30	B20	B20	B25	B25	B30
4 Класс бетона колонны	B20	B25	B20	B25	B20	B25	B20	B25	B20	B25

Таблица П15.3

Исходные данные к лабораторной работе 3

**ПРИЛОЖЕНИЕ 6**

**ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ 1**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Факультет кадастра и строительства  
 Кафедра «Строительство и архитектура»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3  
 по дисциплине «Практикум по компьютерной технике»

**Расчет плоской фермы в ПК «ЛИРА-САПР-2011»**

Вариант 25

Студент группы СПС-1 А.Н. Николаев  
 Преподаватель Ю.Н. Чулкин



Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
4.5 Задание граничных условий в узле 7		В диалоговом окне «Связи в узлах» отметить направления, по которым запрещено перемещение узла (X, Z), и щелкнуть по кнопке <b>Применить</b> . Закройте окно «Связи в узлах», щелкнув по кнопке <b>Игнорировать</b> и щелкнув по кнопке <b>ОК</b> .	На узле 7 появляется <b>иконка</b> . Исключение двух линейных степеней свободы узла моделирует шарнирно-неподвижную опору.
<b>5 Формирование жесткости элементов из библиотеки жесткостных характеристик</b>			
5.1 Вывод на экран диалогового окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы»	
5.2 Выбор типа сечения «Уголок»		Щелкните по кнопке <b>Добавить</b> и, выбрав закладку «База металлических сечений», активизируйте сечение «Уголок»	Для того чтобы вызвать окно задания номера уголка, дважды щелкните на иконке уголка
5.3 Задание параметров сечения «Уголок» для всех элементов фермы		В диалоговом окне «Стальное сечение» выберите в поле «Сортмент» уголок <b>равнополочный</b> , в поле «Профиль» – <b>75*75*6</b> , комментарий – сечение. Подтвердите задание типа жесткости, щелкнув по кнопке <b>ОК</b>	Поле <b>файл сортамента</b> заполняется автоматически
<b>6 Назначение жесткостей элементам фермы</b>			
6.1 Установление жесткости «уголок 75*75*6 сечения» текущей		Выделите жесткость в окне списка и щелкните по кнопке <b>Назначить текущим</b>	В окне «Жесткость» отображается выбранная жесткость
6.2 Выделение элементов		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите все элементы фермы, растянув вокруг схемы фермы «резинное окно» (другой вариант – одновременное нажатие клавиш Ctrl+A)	Выделенные элементы окрашиваются в красный цвет
6.3 Назначение элементам текущего типа жесткости		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке <b>Назначить</b>	С элементов снимается выделение. Это свидетельствует о том, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость
6.4 Закрытие диалогового окна «Жесткости и материалы»		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке <b>Закрыть</b>	

Рис. П5.2. Расчетная схема балки

Результаты расчетов (схемы, рисунки и таблицы) переносятся в файл программы MathCAD и оформляются соответствующим образом (см. приложение 7).

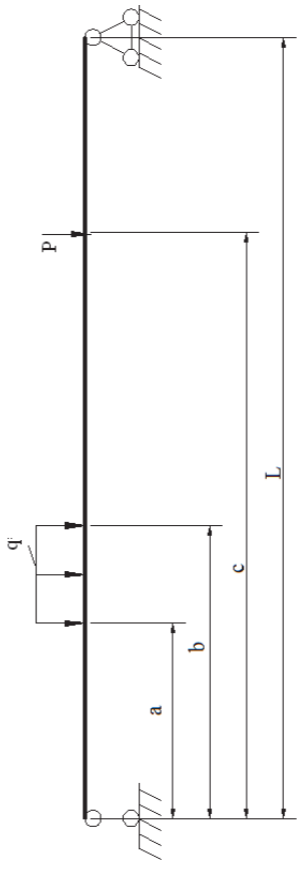
### Лабораторная работа 3

#### РАСЧЕТ ПЛОСКОЙ РАМЫ

В лабораторной работе 3 необходимо выполнить расчет трехпролетной плоской рамы на два варианта загрузки (рис. П5.3) и соответствующим образом оформить результаты расчета.

Данные о геометрии рамы, нагрузках, действующих на раму, и материалах конструкций выбираются из табл. П5.3 по номеру варианта.

Расчетные схемы рамы приведены на рис. П5.4. Процедура «врезки» шарниров для схемы (рис. П5.3, б) приведена в приложении 4.



сосредоточенная сила  $P = 24$  кН, распределенная нагрузка  $q = 2.8$  кН/м.

- по второй ифре вариант 5:

- по первой ифре вариант 2:

Например, исходные данные для варианта номер 25:

### ПРОЦЕДУРА СОЗДАНИЯ И УДАЛЕНИЯ ШАРНИРОВ В БАЛКАХ И РАМАХ

#### ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
<b>9 Вывод результатов расчета</b>			
<b>Вывод графического изображения расчетной схемы фермы</b>			
9.1 Вывод на экран недеформированной схемы		Уберите с экрана деформированное положение фермы. Щелкните по кнопке инструмента или введите команду <b>Схема</b>	
9.2 Вывод на экран графического контейнера		Если на экране отсутствует «окно графического контейнера», в команде меню <b>Окно</b> отметьте галочкой <b>Графический контейнер</b>	В правой части экрана появится окно <b>Графического контейнера</b> (см. приложение 8)
9.3 Добывание недеформированной расчетной схемы в окно <b>Графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>Графического контейнера</b>	В окне <b>Графического контейнера</b> появится рисунок расчетной схемы (см. также приложение 9)
9.4 Перенос изображения недеформированной расчетной схемы в буфер обмена		Сделайте изображение расчетной схемы в окне <b>Графического контейнера</b> активным, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. Далее щелкните по кнопке <b>Копировать</b> в этом же окне	Изображение расчетной схемы перенесется в буфер обмена, откуда его можно вставить в программу обработки результатов расчета (см. приложение 10)
<b>Формирование результатов расчета в табличном виде</b>			
9.5 Выделение элементов левой половинной фермы		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите все элементы левой половинной фермы, растянув вокруг схемы фермы «резинное окно»	Для симметричного задания жесткости и симметричной расчетной схемы правой половинной фермы такими же как и в левой (эскизно отразится)
9.6 Вывод на экран таблицы условий для элементов левой половинной фермы (для первого варианта загрузки)		Щелкните по кнопке инструмента «Интерактивная таблица» на панели <b>Выбор</b> . В открывшемся окне <b>редактора форм</b> берите в списке опцию «Условия (стержни)» и щелкните по кнопке «Таблицу на экран». Отметьте в новом окне опцию «Для выбранных элементов» и нажмите на кнопку «Создать» (номер загрузки должен быть 1).	На экране появится таблица условий для элементов левой половинной фермы

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
Выбор элемента, на узле (узлах) которого необходимо врезать шарнир		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите элемент, щелкнув на нем мышью, или захватите его «резинным окном»	Элемент выделится цветом, а на экране появится красная иконка шарнира
Вывод на экран диалогового окна «Шарниры»		Откройте диалоговое окно «Шарниры», щелкнув на кнопке «Шарниры» на панели <b>Жесткости</b>	Другой вариант - ввести команду <b>Шарниры</b>
Врезка шарнира в первый узел элемента		Отметьте опцию <b>УУ</b> для первого узла (см. приложение), тем самым, врезая шарнир в этот узел (обычно любую жесткость узла). Щелкните по кнопке «Применить», подтвердив свой выбор	С элемента снимается выделение цветом, а на экране отображается шарнир
Удаление шарнира		Если шарнир был врезан не в тот узел, снимите опцию в диалоговом окне «Шарниры» и подтвердите свой выбор, щелкнув по кнопке «Применить»	Изображение шарнира удалится с экрана

Аналогичным образом создаются шарниры для других элементов

**Примечание.** Нумерация узлов для конкретного КЭ зависит от того, в каком порядке его создавали. Для элементов, созданных с помощью регулярных структур, нумерация узлов идет слева направо и снизу вверх.

<b>Этапы и операции</b>	<b>Команда и ее иконка</b>	<b>Ваши действия</b>	<b>Рекомендации и комментарии</b>
<b>7.7 Задание нагрузок</b>			
7.1 Задание имени загружению		Выполните команду меню: <b>Нагрузки</b> → <b>Выбор загрузки</b> . В диалоговом окне «Активное загружение» задайте имя загрузки 1 – <i>Симметричное загружение</i> . Подтвердите имя загрузки щелчком по кнопке <b>Применить</b> .	Номер активного загружения отражается в окне «Загружение»:
7.2 Выделение узлов 9-19		Активизируйте режим отметки узлов. Выделите узлы 9-19 (средние узлы верхнего пояса фермы).	Прочие все выделите узлы, расположенные вокруг «резинное окно»
7.3 Задание сосредоточенных узловых нагрузок $P = 28.3 \text{ кН}$ на выделенные узлы 9-19		В диалоговом окне «Задание нагрузок» активизируйте закладку «Нагрузки в узлах». Укажите (или проверьте) опции: кнопки – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке сосредоточенной узловой нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры нагрузки». В этом окне введите значение нагрузки $P = 28.3 \text{ кН}$ и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке <b>Применить</b> .	После выполнения команды по заданию нагрузки на рабочем экране отображаются узловые нагрузки на средние узлы верхнего пояса фермы
7.4 Выделение узлов 8, 20		Выделите узлы 8, 20 (крайние узлы верхнего пояса фермы).	
7.5 Задание сосредоточенных узловых нагрузок $0.5P = 14.15 \text{ кН}$ на выделенные узлы № 8, 20		В диалоговом окне «Задание нагрузок» заново активизируйте закладку «Нагрузки в узлах». Щелчком по кнопке сосредоточенной узловой нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры нагрузки». В этом окне введите значение нагрузки $P = 14.15 \text{ кН}$ фермы и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке <b>Применить</b> .	После выполнения команды на схеме введите сосредоточенные узловые нагрузки на крайние узлы верхнего пояса фермы
<b>Формирование загружения № 2 (несимметричное)</b>			
7.6 Смена номера текущего загружения		В диалоговом окне «Активное загружение» с помощью переключателя выберите номер загрузки – 2 и задайте имя нового загружения – <i>Несимметричное загружение</i> . Щелкните по кнопке <b>Применить</b> .	Номер активного загружения можно менять через окно «Загружение».
			Но в этом окне нельзя задать новое имя загрузки

Геометрия	Цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 L, м	12	10	8	9	6	7	8	10	6	9
2 a, м	0	3	2	2	1	0	2	3	1	4
3 b, м	8	5	3	4	2	4	4	5	2	6
4 c, м	10	7	6	8	5	6	7	9	4	8
<b>Размеры, нагрузки</b>	<b>Вторая цифра варианта</b>									
5 Распределенная нагрузка q, кН/м	2	2.5	3	2.2	2.4	2.8	2.5	3	2.5	3
6 Сосредоточенная сила, кН	12	18	24	12	18	24	12	18	24	12

Исходные данные к лабораторной работе 2

Таблица П5.2

По второй цифре варианта принимаются значения нагрузок (5-6 строки табл. П5.2).

Данные о геометрии и нагрузках, действующих на балку (рис. П5.2), выбираются из табл. П5.2 по номеру варианта. По первой цифре варианта принимаются данные о геометрии расчетной схемы (1-4 строки табл. П5.2).

В лабораторной работе необходимо выполнить статический расчет однопролетной шарнирно-опертой балки

Данные о геометрии и нагрузках, действующих на балку (рис. П5.2),

выбираются из табл. П5.2 по номеру варианта. По первой цифре варианта принимаются данные о геометрии расчетной схемы (1-4 строки табл. П5.2).

По второй цифре варианта принимаются значения нагрузок (5-6 строки табл. П5.2).

## РАСЧЕТ БАЛКИ

### Лабораторная работа 2

3) Узловая нагрузка на средние узлы фермы  $P = 43.2 \text{ кН}$ .

2) высота фермы  $H = 2.8 \text{ м}$ ;

1) пролет фермы  $L = 24 \text{ м}$ ;

- по второй цифре варианта 5:

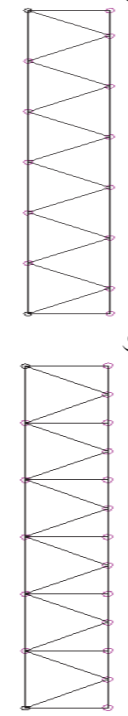
1) решетка фермы (а) – без промежуточных стоек;

- по первой цифре варианта 2:

Например, исходные данные для варианта номер 25:

6 – с промежуточными стойками

Рис. П5.1. Варианты решеток ферм: а – без промежуточных стоек;



## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Номер варианта представляет двузначное число (студенту) и к нему относятся две цифры шифра задания (книжки билета).

#### Лабораторная работа 1

### РАСЧЕТ ФЕРМЫ

В лабораторной работе необходимо выполнить статический расчет балки с параллельными поясами фермы с параллельными поясами фермы в ПК «ЛИРА-САПР 2011» на вид «вд» в варианте загрузки (рис. П5.1) при шарнирном сопряжении элементов фермы.

Результаты расчетов (вычисления, рисунки и таблицы) выполняются (или переносятся) в файл программы MathCAD и оформляются соответствующим образом (см. приложение 6).

Данные о геометрии фермы, нагрузках, действующих на раму, выбираются из табл. П5.1 по номеру варианта.

Таблица П5.1

Тип решетки фермы	Цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Вариант решетки фермы (рис. П5.1)	Первая цифра варианта									
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
2 Пролет фермы L (м)	Вторая цифра варианта									
	12	18	24	12	18	24	12	18	24	12
3 Высота фермы H (м)	2	2.5	3	2.2	2.4	2.8	2.5	3	2.5	3
4 Сила P (кН)	38.4	1.54	35.6	30.7	43.2	43.2	29.8	51.9	33.6	47.4

Исходные данные к лабораторной работе 1

Тип решетки фермы	Цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Вариант решетки фермы (рис. П5.1)	Первая цифра варианта									
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
2 Пролет фермы L (м)	Вторая цифра варианта									
	12	18	24	12	18	24	12	18	24	12
3 Высота фермы H (м)	2	2.5	3	2.2	2.4	2.8	2.5	3	2.5	3
4 Сила P (кН)	38.4	1.54	35.6	30.7	43.2	43.2	29.8	51.9	33.6	47.4

Примечание. Размер панелей нижнего пояса для всех вариантов принимается одинаковым  $L_{пан} = 3 \text{ м}$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3 ОСНОВНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ОПОРНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ПЛОСКИХ СИСТЕМ

Наименование закрепления	1 Шарнирно-подвижная опора	2 Шарнирно-неподвижная опора	3 Жесткая заделка
Графическое изображение			
Исключенные степени свободы	Линейное вертикальное перемещение по оси Oz	Два линейных перемещения: по оси Oх и Oz	Два линейных перемещения: по оси Oх и Oz и поворот вокруг оси Oy
Визуализация на расчетной схеме			

Исключенные степени свободы отображаются цветом в прямоугольнике – линейные перемещения X, Y, Z (соответственно зеленой, красной, синий цвета)  
Первая строка в прямоугольнике – линейные перемещения X, Y, Z (соответственно зеленой, красной, синий цвета)  
Вторая строка в прямоугольнике – углы поворота UX, UY, UZ (соответственно зеленой, красной, синий цвета)



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ОСНОВНЫЕ КОМАНДЫ ПК «ПИРА-САПР 2011»

Команда	Описание команды	Меню	Кнопка
1 Изменение признака схемы	Вызывается диалоговое окно «Описание схемы», в котором пользователь может изменить имя задачи, признак схемы и описать задание	Схема → Признак схемы	
2 Выполнение расчета	Проксодит расчет задания	Режим → Выполнить расчет	
3 Переключение в режим визуализации результатов расчета	Переключение системы в режим визуализации результатов расчета	Режим → Результаты расчета	
4 Переключение системы в режим «Железобетонные конструкции»	Переключение системы в режим «Железобетонные конструкции» – модуль для расчета железобетонных элементов и просмотра результатов расчета	Режим → Железобетонные конструкции	
5 Переключение системы в режим «Стальные конструкции» – модуль для расчета стальных элементов и просмотра результатов расчета	Переключение системы в режим «Стальные конструкции» – модуль для расчета стальных элементов и просмотра результатов расчета	Режим → Стальные конструкции	
1 Установка флагов рисования	Вызывается диалоговое окно <b>Показать</b> , которое предназначено для установки флагов рисования, то есть информации, изображаемой непосредственно на схеме, а также опций отображения схемы. Диалоговое окно содержит четыре закладки ( <b>Элементы</b> , <b>Узлы</b> , <b>Общие</b> , <b>Значения</b> , <b>Материалы</b> )	Опции → Флаги рисования	
2 Перерисовать	Команда выполняет перерисовку схемы в случае необходимости	Вид → Перерисовать	
3 Режим увеличения схемы	Увеличение изображения фрагмента расчетной схемы с помощью растягивания вокруг нужных узлов «резинового окна»	Вид → Увеличить	
4 Возврат к полному изображению	Восстановление исходного размера расчетной схемы после выполнения операции <b>Увеличить</b>	Вид → Исходный размер	
1 Подфильтр	Управление отображением расчетной схемы и ее атрибутов с помощью операций <b>Фильтр</b> и <b>Фильтр</b>	Вид → Подфильтр	
2 Выбор узлов	Включение режима выбора узлов (одиночным указыванием курсора или растягиванием вокруг нужных узлов «резинового окна»)	Выбор → Отметка узлов	
3 Выбор элементов	Включение режима выбора элементов (одиночным указыванием курсора или растягиванием вокруг нужных элементов «резинового окна»)	Выбор → Отметка элементов	

Имя операции	Команда и ее иконка	Ваше действие	Рекомендации и комментарии
9.7 Добавление первой таблицы усилий в окно графического контейнера		В созданной таблице усилий выполните команду меню <b>Файл</b> → <b>Копировать</b> для таблицы усилий в окне редактора форм	Также применяется в окне редактора форм
9.8 Отмена выделения элементов формы		Щелкните по кнопке инструмента на панели <b>Выбор</b> (другой вариант – команды меню <b>Выбор</b> → <b>Отмена выделения</b> )	
9.9 Вывод на экран таблицы усилий для всех элементов формы (для второго варианта загрузки)		Щелкните по кнопке инструмента на панели <b>Выбор</b> . В открывшемся окне редактора форм выберите в списке опцию «Усилия (стержани)» и щелкните по кнопке «Таблицу» на экране. Отметьте в новом окне опции: «Для всех элементов», номер загрузки – 2 и нажмите на кнопку «Создать».	
9.10 Добавление второй таблицы усилий в окно графического контейнера		На экране появится таблица внутренних усилий в элементах формы для второго варианта загрузки	В созданной таблице усилий выполните команду меню <b>Файл</b> → <b>Копировать</b> для таблицы усилий в окне редактора форм
9.11 Копирование результатов		Скопируйте все содержимое графического контейнера в программу MathCAD	
<b>10 Расчет и анализ полученных результатов формы при жестком сопряжении элементов</b>			
<b>Изменение признака схемы</b>			
10.1 Переход в режим «Расчетная схема»		Выполните команду меню <b>Режим</b> → <b>Расчетная схема</b>	В режиме «Результаты расчета» возможно изменить признак схемы
10.2 Изменение признака схемы		Откройте диалоговое окно «Признак схемы», выполнив команды <b>Схема</b> → <b>Признак схемы</b> . Выберите в этом окне признак № 2 – три степени свободы и подтвердите выбор	
<b>Расчет плоской фермы МКЭ при жестком сопряжении элементов</b>			
10.3 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды <b>Режим</b> → <b>Выполнить расчет</b>	
10.4 Переход в режим «Результаты расчета»		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды <b>Режим</b> → <b>Результаты расчета</b>	

ронне проанализировать результаты расчетов и отследить возможные ошибки.  
Прямой брус, работающий на изгиб, называют балкой. В поперечных сечениях балок возникают поперечные силы  $Q$  и изгибающие моменты  $M$ . Для упрощения обозначений, как правило, индексы опускают и обозначают указанные силовые факторы  $Q$  и  $M$ . Если, кроме того, возникают продольные силы  $N$ , то термин «балка» обычно не применяют.  
Поперечная сила  $Q$  представляет собой сумму проекций на ось  $Oz$  всех внутренних касательных сил, возникающих в поперечном сечении. Изгибающий момент  $M$ , представляет собой сумму моментов относительно оси  $Oy$  всех внутренних нормальных сил, возникающих в поперечном сечении.

*Поперечная сила численно равна сумме проекций на ось Oz всех внешних сил, действующих на отсеченную часть балки.*

*Изгибающий момент численно равен сумме моментов всех внешних сил, действующих на отсеченную часть балки относительно оси Oy.*

Условимся о правилах знаков для внутренних силовых факторов. Будем считать, что внешняя сила, стремящаяся повернуть оставленную часть балки по ходу часовой стрелки, вызывает положительную поперечную силу. Соответствующая ордината откладывается вверх от оси балки. Эпюра изгибающих моментов строится на растянутом волокне. При этом изгибающий момент в балках считается положительным, если скажты верхние волокна, т. е. элемент изгибается выпуклостью вниз.

На эпюрах  $M$  знаков ставить не будем.  
Следует твердо запомнить правила построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов, вытекающие как непосредственно из метода сечений, так и из дифференциальных зависимостей между  $q$ ,  $Q$  и  $M$ :

$$\frac{dQ_x}{dx} = -q; \quad \frac{dM_x}{dx} = Q; \quad \frac{d^2M_x}{dx^2} = -q.$$

1) Если на участке отсутствует распределенная нагрузка, то поперечная сила постоянна, а изгибающий момент изменяется по линейному закону;

2) Если на участке имеется равномерно распределенная нагрузка, то поперечная сила изменяется по линейному закону, а изгибающий момент – по закону квадратной параболы. При этом параболы всегда обращена выпуклостью вниз от распределенной нагрузки.

3) Если на участке имеется распределенная нагрузка, изменяющаяся по линейному закону (эпюра нагрузки – треугольник или трапеция), то поперечная сила изменяется по закону квадратной параболы, а изгибающий момент – по закону кубической параболы.



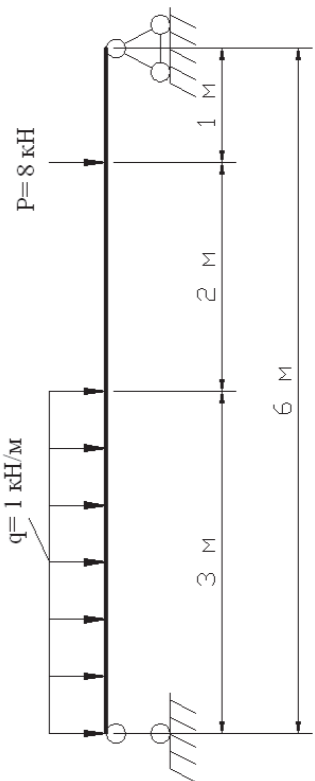


Рис. 2.1. Расчетная схема балки

Конструктивно балка выполнена из стального прокатного двутавра с непараллельными гранями полнок № 20.

б) сосредоточенная нагрузка  $P = 8 \text{ кН}$ .

а) равномерно-распределенная по линии нагрузка  $q = 1 \text{ кН/м}$ ;

Балки пролетом 6 м (рис. 2.1). На балку действуют шарнирно-опертой

2.2.1. Исходные данные

2.2. Пример расчета балки

где возникает максимальный изгибающий момент, по которому в дальнейшем будет выполняться подбор или проверка сечения балки.

Одним из наиболее важных правил, приведенных выше, является правило 4 . С помощью этого правила находится ордината сечения,

этой точке имеют общую касательную.

грузка (при условии, что в этом сечении не приложена сосредоточенная нагрузка  $M$  – излом (смежные участки эпюры не имеют плавного сопряжения).

ра  $M$  имеет скачок на величину этого момента. На эпюре  $Q$  это не от-  
ражается.

б) В сечении, где приложен внешний сосредоточенный момент, эпо-  
ра  $M$  – излом (смежные участки эпюры не имеют плавного сопряжения).

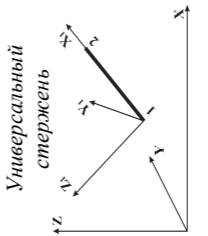
кулярная к оси элемента, эпора  $Q$  имеет скачок на величину этой силы, а эпо-  
ра  $M$  – излом (смежные участки эпюры не имеют плавного сопряжения).

5) В сечении, где приложена внешняя сосредоточенная сила, перпенди-  
кулярная к оси элемента, эпора  $Q$  имеет скачок на величину этой силы, а эпо-  
ра  $M$  – излом (смежные участки эпюры не имеют плавного сопряжения).

«ЛИРА-САПР 2011»  
БИБЛИОТЕКА СТЕРЖНЕВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

№-мер ЭМ	Наименование ЭМ	При-знак схемы	Плоскость расположе-ния	Степени свободы	Комментарий
10	Универсальный стержень	1 2 3 4 5	Произвольно	X, Y, Z, UX, UY, UZ	1 Допускается наличие упрочного основания в двух плоскостях. 2 Предусмотрен учет совместной жесткости и обжатия
1	Стержень плоской фермы	1	XOZ	X, Z	Частный случай КЭ-10
2	Стержень плоской рамы	2	XOZ	X, Z, UY	Частный случай КЭ-10
3	Стержень балочного ростверка	3	XOY	Z, UX, UY	Частный случай КЭ-10
4	Стержень пространственной фермы	4	Произвольно	X, Y, Z	Частный случай КЭ-10
5	Пространственный стержень без учета связи	5	Произвольно	X, Y, Z, UX, UY, UZ	Частный случай КЭ-10



**Примечания:**  
1) Чтобы выполнить конструирование изгибаемого железобетонного элемента, необходимо вычислить усилия в трех и более сечениях. Опера-ция создания дополнительных расчетных сечений не создает дополни-тельных узлов (неизвестных МКЭ). Расчетные сечения – это сечения, в кото-рых программа вычисляет расчетные усилия.  
2) Хотя в п. 4.3.2 была задана таблица РСУ и были определены рас-четные сочетания усилий, но конструктивный расчет выполнялся по уси-лиям (отдельным нагружениям).

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОДБОРА АРМАТУРЫ

ДАТА:01.Jan.02 КОД: схема посиде (счид 2.03.01-84\*) ДИР: САПР (К/6 конструкции) 2011 БУЕВ СТР. 1

СТЕРЖЕНЬ ПОДБОРА АРМАТУРЫ

ПРОДОЛЬНАЯ АРМАТУРА (см2)

Э	И	К	Е	И	Ч	У	Г	П	П	П	П	П	П	П	П	П	П
3	1	С	1	С	1	С	1	С	1	С	1	С	1	С	1	С	1
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
1	2	С	2.85	2.85	2.85												

3.2 Создание отдельных узлов бабки			
3.3 Вывод на экран номеров узлов (контроль правильности создания)			
<b>3 Создание геометрической схемы бабки</b>			
3.1 Открытие окна «Добавить узел», создание первого узла		Откройте диалоговое окно «Добавить узел», выполнив команды меню: <b>Создание</b> → <b>Добавить узел</b> . Щелкните на пиктограмму "Применить"  – будет создан первый узел, координаты которого совпадают с началом глобальной системы координат.	См. примечание 1
2 Задание единиц измерения		Выполните команду меню <b>Опции</b> → <b>Единицы измерения</b> . В диалоговом окне «Единицы измерения» установите единицы, соответствующие системе СИ (мм, метры). Подтвердите выбор новых размерностей щелкнув по кнопке «Подтвердить».	<b>Закладка «Схема»:</b> Закладка – м, единица – см, нагрузка – кН и м, параметры материала – МПа. <b>Закладка «Результаты расчета»:</b> переключения – см, направление – МПа, усилие – кН и м.
1 Создание новой задачи		В диалоговом окне «Описание схемы» задайте имя задачи: «Балка», введите описание задачи «Статический расчет балки», отметьте признак схемы: «2».	
Запуск системы ЛИРА-САПР 2011		Выполните команду Windows: <b>Пуск</b> → <b>Программы</b> → <b>Lira-SAPR</b> → <b>ЛИРА-САПР 2011</b> → <b>ЛИРА-САПР</b>	
<b>Этапы и операции</b>	<b>Команда и ее иконка</b>	<b>Ваши действия</b>	<b>Рекомендации и комментарии</b>

### 2.2.2. Порядок расчета балки

3.4 Создание начальных элементов		Откройте диалоговое окно «Добавить элемент», выполнив команды меню: <b>Создание</b> → <b>Добавить элемент</b> . Щелкните по кнопке мыши на первый узел – за мышечкой потянется линия, щелкните на узел №2 – появится отрезок (КЭ), соединяющий узлы 1 и 2. Последовательно щелкните левой кнопкой мыши на узлы 2 и 3, и 3 и 4. Будут созданы второй и третий КЭ	
3.5 Вывод на экран номеров элементов		Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать».	На расчетной схеме отображаются номера элементов
3.6 Сохранение данных		В диалоговом окне «Сохранить как» задайте папку, в которую будет сохранена эта задача	С помощью открывающегося окна «Сохранить как» найдите папку, в которой сохраните файл папку
<b>4 Задание граничных условий</b>			
4.1 Выделение узла 1		Активизируйте режим отметки узлов. Выделите узел 1, щелкнув по нему левой кнопкой мыши	Узел окрасится в красный цвет
4.2 Задание граничных условий в узле 1		В диалоговом окне «Связи в узлах» активизируйте закладку «Назначить связи» и выберите направление Z, по которому запрещено перемещение узла, перейдите в правое положение и щелкните по кнопке <b>Применить</b>	На узле 1 появится пиктограмма. Исключение одной линейной степени свободы узла моделирует шарнирно-подвижную опору
4.3 Выделение узла 4		Выделите узел 4	Узел окрасится в красный цвет
4.4 Задание граничных условий в узле 4		В диалоговом окне «Связи в узлах» отметьте направление, по которому запрещено перемещение узла (X, Z) и щелкните по кнопке <b>Применить</b> . Закройте окно «Связи в узлах», щелкнув по кнопке шарнирно-неподвижную опору	На узле 4 появится пиктограмма. Исключение двух линейных степеней свободы узла моделирует шарнирно-неподвижную опору
<b>Этапы и операции</b>	<b>Команда и ее иконка</b>	<b>Ваши действия</b>	<b>Рекомендации и комментарии</b>

6. Статический расчет балок : методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Практикум по компьютерной технике», «Строительные конструкции. Спецкурс», «Строительная механика» / сост. Ю. Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2010. – 28 с.

7. Современные технологии расчета и проектирования металлических и деревянных конструкций : учеб. пособие для студ. высш. учебн. заведений / М. С. Барабаш, М. В. Лазюк, М. Л. Мартынова, Н. И. Преснякова ; под ред. А. А. Нилова. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 328 с.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешное решение задачи автоматизированного проектирования строительных конструкций с применением современных расчетных комплексов предполагает наличие глубоких знаний в различных областях строительства. Внимательное изучение материала настоящего пособия поможет служить только первым небольшим шагом на этом пути.

Хочется сделать очень важное, с точки зрения автора, пожелание всем тем, кто действительно хочет наиболее эффективно применять ПК «ЛИРА-САПР 2011». При всех тех широких возможностях, которые предоставляет этот программный комплекс, необходимо стараться комплексно применять на практике и другие программные продукты, разработанные компанией. В первую очередь, это касается ПК «Салфир». Применение комплексов, использующих 3D BIM технологии, это веяние настоящего времени.

И конечно, самый важный момент для любого проектировщика – расчетчика – глубокий и всесторонний анализ результатов. Без постоянного контроля (качественного и количественного) правильности выполненных расчетов ни в коем случае нельзя быть уверенным в достоверности полученных результатов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. ЛИРА Версия 9.2. Руководство пользователя. – Киев : Факт, 2005. – 140 с.
2. ЛИРА – САПР 2011 : учеб. пособие / Ю. В. Гензерский, Д. В. Медведенко, О. И. Палиенко, В. П. Титок. – Киев : Электронное издание, 2011. – 396 с.
3. Дарков, А. В. Сопровождение материалов / А. В. Дарков, Г. С. Широ. – 4-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1975. – 655 с.
4. Расчет плоских рам в ПК «ЛИРА» : методические указания к выполнению расчетно-графического задания по дисциплинам «Практикум по компьютерной технике», «Строительные конструкции. Спецкурс», «Строительная механика» / сост. Ю. Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2013. – 28 с.
5. Расчет плоских ферм. Расчет фермы в ПК «ЛИРА» : в 2 ч. Ч. 2 : методические указания к выполнению лабораторных работ 1, 2 по дисциплинам «Практикум по компьютерной технике», «Теоретическая механика» / сост. Ю. Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2013. – 32 с.

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
7.2 Задание сосредоточенной узловой нагрузки Р = 5 кН на выделенный элемент 1		В диалоговом окне «Задание узловой нагрузки» нажмите на кнопку «Параметры». В этом окне введите значение нагрузки Р = 8 кН и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузки» щелкните по кнопке «Применить».	После выполнения операции выделите элемент 1. После активизации клавиши «Z» щелкните по кнопке «Параметры» и введите значение Р = 5 кН. Щелкните по кнопке «Применить».
7.3 Выделение элемента 1		Выделите элемент 1	
7.4 Задание распределенной нагрузки в элемент 1		В диалоговом окне «Задание нагрузки» нажмите на кнопку «Параметры». В этом окне введите значение Р = 1 кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузки» щелкните по кнопке «Применить».	После выполнения операции выделите элемент 1. После активизации клавиши «Z» щелкните по кнопке «Параметры» и введите значение Р = 1 кН/м. Щелкните по кнопке «Применить».
7.5 Завершение операции задания нагрузок		Щелкните по кнопке «Закрытие»	Щелкните по кнопке «Закрытие»
<b>8 Расчет балки МКС</b>			
8.1 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке «Запуск расчета»	Щелкните по кнопке «Запуск расчета»
8.2 Переход в режим Результаты расчета		Щелкните по кнопке «Результаты»	Щелкните по кнопке «Результаты»

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
5.2 Вывод на экран мозаики результатов по второму предельному состоянию		Щелкните по кнопке «Таблица результатов»	Щелкните по кнопке «Таблица результатов»
5.3 Вывод на экран окна «Таблица результатов»		Щелкните по кнопке «Таблица результатов»	Щелкните по кнопке «Таблица результатов»
5.4 Изменение размера выделенных элементов		Щелкните по кнопке «Изменить размер»	Щелкните по кнопке «Изменить размер»
5.5 Вывод на экран «Таблица результатов»		Щелкните по кнопке «Таблица результатов»	Щелкните по кнопке «Таблица результатов»

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
5.2 Вывод на экран мозаики результатов по второму предельному состоянию		Щелкните по кнопке «Таблица результатов»	Щелкните по кнопке «Таблица результатов»
5.3 Вывод на экран окна «Таблица результатов»		Щелкните по кнопке «Таблица результатов»	Щелкните по кнопке «Таблица результатов»
5.4 Изменение размера выделенных элементов		Щелкните по кнопке «Изменить размер»	Щелкните по кнопке «Изменить размер»
5.5 Вывод на экран «Таблица результатов»		Щелкните по кнопке «Таблица результатов»	Щелкните по кнопке «Таблица результатов»

3) Все результаты расчета рамы (рисунки и таблицы) необходимо будет в дальнейшем перенести в программу MathCAD и соответствующим образом оформить. Пример оформления приведен в приложении 7.

4) Таблицу усилий с помощью команд меню **Файл** можно также скопировать в буфер для последующей вставки в документ программы Excel или сразу сохранить в виде документа Excel.

### 3. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ РАМ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»

#### 3.1. Общие сведения

Расчетные схемы основных несущих конструкций жилых и промышленных зданий на практике чаще всего моделируются в виде плоских рам, в состав которых входят стержневые элементы.

6)

ЭЛЕМЕНТ	НО	ГРУППА	ШАГ	ФЭ	ПРОЦЕНТЫ ИСПЕЧНАЯ НЕСТУЖИ	ДЛИНА ЭЛЕМЕНТ								
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----								
Сечение: 1.1.1.1 Двутавр 20														
Профиль: 20; ГОСТ 8239 – 72*														
Сортмент: Двутавр с неравными полками														
Профиль: 14; ГОСТ 8239 – 72*														
Сортмент: Двутавр с неравными полками														
Профиль: 14; ГОСТ 8239 – 72*														
1	1	КЕ1	0,0011,001	01	41	911	231	01	41	911	231	6,001		
1	2	КЕ1	0,0011,001	331	11	221	01	911	231	191	331	911	231	6,001
1	2	КЕ1	0,0011,001	331	11	221	01	911	231	191	331	911	231	6,001
1	2	КЕ1	0,0011,001	331	11	221	01	911	231	191	331	911	231	6,001
1	3	КЕ1	0,0011,001	391	91	271	01	911	231	191	391	911	231	6,001
1	3	КЕ1	0,0011,001	391	91	271	01	911	231	191	391	911	231	6,001

Рис. 4.8. Таблицы результатов: а – проверка; б – подбор сечений

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
1.1 Вывод на экран окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы». Щелкните левой кнопкой мыши по жесткости <b>Брус 40*40 (колонна)</b> в <b>бразилья Брус 40*40</b> (колонна) <input checked="" type="checkbox"/> Жесткость	Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы» и <b>Вверху</b> в окне текущих жесткостей <b>Брус 40*40 (колонна)</b> в <b>бразилья Брус 40*40</b> (колонна) <input checked="" type="checkbox"/> Жесткость
1.2 Переход на закладку «Железобетонные конструкции»		Перейдите на закладку «Ж/б». В поле «Задание параметров для железобетонных конструкций» необходимо будет задать: тип, бетон и арматуру	
1.3 Задание типа		Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>Общие характеристики</b> в подтаблице <b>Конструктивные особенности стержней</b> выберите Колонна радиовая <b>ружкий» отображены</b> остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке <b>Подтвердить</b>	Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>Общие характеристики</b> в подтаблице <b>Конструктивные особенности стержней</b> выберите Колонна радиовая <b>ружкий» отображены</b> остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке <b>Подтвердить</b>
1.4 Задание бетона		Отметьте поле <b>«Бетон»</b> . Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>разметров для железобетонных конструкций</b> бетона выберите с помощью перекрутки класс бетона – В20 <b>ружкий» отображены</b> остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке <b>Подтвердить</b>	Отметьте поле <b>«Бетон»</b> . Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>разметров для железобетонных конструкций</b> бетона выберите с помощью перекрутки класс бетона – В20 <b>ружкий» отображены</b> остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке <b>Подтвердить</b>

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
9.6 Добавление таблица усилий в окно <b>Графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента «Итерактивная таблица» на панели <b>Выбор</b> . В открывшемся окне <b>редактора форм</b> выберите в списке опцию «Усилия (стержни)» и щелкните по <b>Применить</b> . В появившемся окне «Создание таблицы» подтвердите выбор. «для всех элементов», «для одного нагружения №1».	Щелкните по кнопке инструмента «Итерактивная таблица» на панели <b>Выбор</b> . В открывшемся окне <b>редактора форм</b> выберите в списке опцию «Усилия (стержни)» и щелкните по <b>Применить</b> . В появившемся окне «Создание таблицы» подтвердите выбор. «для всех элементов», «для одного нагружения №1».
9.7 Вывод на экран панели <b>Эпюры</b>		Панель <b>Эпюры</b> вызывается щелчком по кнопке инструмента с панели <b>Перемещение и напряжения</b> . Обычно она появляется в самом низу экрана	Панель <b>Эпюры</b> вызывается щелчком по кнопке инструмента с панели <b>Перемещение и напряжения</b> . Обычно она появляется в самом низу экрана
9.8 Вывод на экран эпюры <b>М<sub>у</sub></b>		Щелкните по кнопке инструмента на панели <b>Эпюры</b>	Щелкните по кнопке инструмента на панели <b>Эпюры</b>
9.9 Вывод на экран значений усилий на эпюрах		Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Значения». Отметьте опцию <b>Значения на эпюрах</b> и щелкните по кнопке <b>Перерисовать</b>	Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Значения». Отметьте опцию <b>Значения на эпюрах</b> и щелкните по кнопке <b>Перерисовать</b>
9.10 Добавление эпюры моментов в окно <b>Графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>Эпюры</b>	Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>Эпюры</b>
9.11 Вывод на экран эпюры <b>Q<sub>z</sub></b>		Щелкните по соответствующей кнопке инструмента на панели <b>Эпюры</b>	Щелкните по соответствующей кнопке инструмента на панели <b>Эпюры</b>
9.12 Добавление эпюры поперечных сил в окно <b>Графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>Эпюры</b>	Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>Эпюры</b>
9.13 Вывод на экран информационного окна для элемента №1		Щелкните сначала по кнопке «Информация об элементе 1». На экране отобразится информация для указанного элемента	Щелкните сначала по кнопке «Информация об элементе 1». На экране отобразится информация для указанного элемента
9.14 Вывод на экран эпюры <b>Q<sub>z</sub></b> и <b>М<sub>у</sub></b> для элемента №1		Отметьте в информационном окне опцию «Эпюры». В открывшемся окне снимите щелчками мыши выделение всех эпюр, кроме <b>Q<sub>z</sub></b> и <b>М<sub>у</sub></b>	Отметьте в информационном окне опцию «Эпюры». В открывшемся окне снимите щелчками мыши выделение всех эпюр, кроме <b>Q<sub>z</sub></b> и <b>М<sub>у</sub></b>
9.15 Добавление элемента 1 в окно <b>Графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в информационном окне «Эпюры усилий»	Щелкните по кнопке инструмента в информационном окне «Эпюры усилий»

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
9 Вывод результатов расчета			
9.1 Вывод на экран недеформированной схемы		Уберите с экрана деформированное положение балки. Щелкните по кнопке инструмента или введите команду <b>Схема</b>	
9.2 Вывод на экран <b>Графического контейнера</b>		Если на экране отсутствует «окно графического контейнера», в команде меню <b>Окно</b> отметьте галочкой <b>Графический контейнер</b>	
9.3 Добавление недеформированной расчетной схемы в окно <b>Графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>Графического контейнера</b>	В окне <b>Графического контейнера</b> появится рисунок расчетной схемы
9.4 Перенос изображения недеформированной расчетной схемы в буфер обмена		Сделайте изображение расчетной схемы в окне <b>Графического контейнера</b> активной. Щелкнув по нему левой кнопкой мыши, далее щелкните по кнопке <b>Копировать</b> в этом же окне	Изображение расчетной схемы в буфер обмена. Отсюда его можно скопировать в программу обработки результатов расчета (см. приложение 3)
9.5 Вывод на экран таблицы усилий для элементов балки		Щелкните по кнопке инструмента «Итерактивная таблица» на панели <b>Выбор</b> . В открывшемся окне <b>редактора форм</b> выберите в списке опцию «Усилия (стержни)» и щелкните по <b>Применить</b> . В появившемся окне «Создание таблицы» подтвердите выбор. «для всех элементов», «для одного нагружения №1».	Таблица усилий скопирована в окно <b>Графического контейнера</b>
9.6 Добавление таблицы усилий в окно <b>Графического контейнера</b>		В созданной таблице усилий выполните команду меню <b>Файл</b> > <b>Копировать для документа</b> . Закройте таблицу и окно редактора форм	
9.7 Вывод на экран панели <b>Эпюры</b>		Панель <b>Эпюры</b> вызывается щелчком по кнопке инструмента с панели <b>Перемещение и напряжения</b> . Обычно она появляется в самом низу экрана	

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
1.5 Задание арматуры		Отметьте поле «Арматура». Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>Характеристики арматуры</b> оставьте все параметры по умолчанию, просто щелкнув по кнопке <b>Подтвердить</b>	
2.1 Выбор жесткости <b>Брус 25*60</b> (ригель)		Перейдите на закладку <b>Жесткости</b> . Щелкните левой кнопкой мыши по жесткости <b>Брус 25*60</b> (ригель) в окне списка жесткостей	Вверху в окне текущих жесткостей <b>Брус 25*60</b> (ригель)
2.2 Переход на закладку «Железобетонные конструкции»		Перейдите на закладку «Ж/б». В поле «Задание параметров для железобетонных конструкций» необходимо будет задать тип (бетон и арматуру для ригелей) оставив как для колонн)	
2.3 Задание типа		Отметьте поле <b>тип</b> (оставлялось активным в поле <b>арматура</b> ). Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>Общие характеристики</b> в подтаблице <b>Конструктивные особенности стержней</b> выберите <b>Балка</b> Остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке <b>Подтвердить</b>	В поле «Задание параметров для железобетонных конструкций» выберите <b>ружкий» отображены</b> с 2. Стержень
3.1 Выделение ригелей		Активизируйте режим отстки элементов. Выделите три горизонтальных элемента 9-11 рамы (ригели), расставив вокруг них «резиновое окно»	
3.2 Назначение ригелям текущего типа жесткости и материала		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке <b>Назначить</b>	
3.3 Выделение колонн		Активизируйте режим отстки вертикальных элементов. Расставьте «резиновое окно» вокруг всей рамы	Выделяется только колонны - вертикальные элементы
3.4 Выбор типа <b>1. Стержень</b>		В окне <b>Жесткости и материалы</b> в закладке <b>Ж/б</b> два раза щелкните левой кнопкой мыши по типу <b>1. Стержень</b>	Тип <b>1. Стержень</b> становится текущим в поле <b>Материалы</b>
3.5 Назначение колоннам текущего типа жесткости и материала		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке <b>Назначить</b>	

Рассмотрим конструктивный расчет плоской рамы, выполненной из железобетонных элементов (пример из лабораторной работы 3). Откройте файл «Расчет плоской рамы». Приведем ниже порядок расчета.

#### 4.5. Конструктивный расчет железобетонных элементов

Как видно из результатов расчета, балка имеет значительный запас прочности как по первой, так и по второй группе предельных состояний. Из второй таблицы видно, что был подобран новый профиль – двутавр №14. Подробное описание результатов расчета, приведенных в таблицах (математический и физический смысл каждой проверки), можно посмотреть в [7].

**Примечание.** Если бы не был создан единый конструктивный элемент, то программа рассчитывала бы относительные прогибы балки, делая абсолютные прогибы на длины отдельных КЭ.



<b>Этапы и операции</b>	<b>Команда и ее иконка</b>	<b>Виды действий</b>	<b>Рекомендации и комментарии</b>
3.2 Выбор «лишних» элементов (несуществующее покрытие)		Активизируйте режим отмены элементов. Выделите три верхних горизонтальных элемента, последовательно щелкнув на (узелов) – растоявшихся мышью. Выделенные элементы должны окраситься в красный цвет (цвет выделенных элементов и узлов, принятый в программе по умолчанию).	Другой вариант выделения элементов – растоявшихся мышью. Выделенные элементы должны окраситься в красный цвет (цвет выделенных элементов и узлов, принятый в программе по умолчанию). Если по ошибке выделен другой элемент – еще раз щелкните по нему (выделение исчезнет).
3.3 Удаление «лишних» элементов		Щелчок на эту кнопку удалит выделенные элементы.	Другой вариант удаления элементов – нажатие клавиши Delete на клавиатуре.
3.4 Сохранение данных		В диалоговом окне «Сохранить активный документ» задайте папку, в которую будет сохранена эта задача.	
<b>4. Задание граничных условий</b>			
4.1 Вывод на экран номеров узлов		Щелчок на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Узлы». После этого отметьте опцию <b>Номера узлов</b> и щелкните по кнопке <b>Перерисовать</b> .	На расчетной схеме отображаются номера узлов.
4.2 Выделение узлов 1-4, 9-12		Активизируйте режим отмены узлов. Выделите узлы 1-4, 9-12.	Узлы окрашиваются в красный цвет.
4.3 Назначение граничных условий в выделенных узлах		В диалоговом окне «Связи в узлах» отметьте направление, по которым заперты узлы (X, Z), переместите курсор «Мышь» в крайнее свободное положение и щелкните по кнопке <b>Применить</b> . Закройте окно «Связи в узлах», щелкнув по кнопке <b>ОК</b> .	На узлах с номерами 1-4, 9-12 появится надпись «Связь». Исключение двух линейных связей в кнопочном меню моделирования в узлах.
<b>5. Формирование типов жесткости из библиотеки жестких характеристик</b>			
5.1 Вывод на экран окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы».	
5.2 Выбор типа сечения «Брус»		Щелкните по кнопке <b>Добавить</b> и, выбрав закладку «Стандартные типы сечений», активизируйте сечение «Брус».	Для того чтобы вывести окно задания параметров сечения, щелкните на иконке сечения.

<b>Этапы и операции</b>	<b>Виды действий</b>	<b>Рекомендации и комментарии</b>
Открытие окна генерации таблиц РСН	Выполните команду меню: <b>Нагрузки</b> <b>РСН</b> . Откроется окно «Расчетные сочетания нагрузок» РСН.	
Выбор вида для каждого нагружения	С помощью переключки выберите для первого нагружения – «Постоянное (П)», для всех временных нагружений – «Кратковременное (К)».	
Определение групп взаимовыключающихся нагрузочных состояний для временных нагружений	Введите в столбец «Взаимовыключ.» для трех временных нагрузок число 1, в столбец «Для длитель.» число 0,5.	
Задание основного сочетания и сохранения таблицы РСН	Щелкните по кнопке <b>1 основное</b> для задания первого основного сочетания и нажмите таблицу РСН, щелкнув по кнопке <b>Сохранить данные</b> . Закройте таблицу.	
<b>Этапы и операции</b>	<b>Виды действий</b>	<b>Рекомендации и комментарии</b>
2.1 Выделение элементов		Активизируйте режим отмены элементов. Выделите все элементы балки, растянув курсором «Мышь» иконку «Мышь» (другой вариант – одновременное нажатие клавиш Ctrl + A).
2.2 Назначение жесткости элементам		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке <b>Назначить</b> .
2.3 Закрывать диалоговое окно «Жесткости элементов»		В диалоговом окне щелкните по кнопке <b>Закрыть</b> .
3.1 Выделение элементов		Активизируйте режим отмены элементов. Выделите все элементы балки, растянув курсором «Мышь» иконку «Мышь» (другой вариант – одновременное нажатие клавиш Ctrl + A).
3.2 Вывод на экран конструктивных элементов		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды <b>Режим</b> <b>►</b> <b>Выполнить расчет</b> . В открывшемся окне «Параметры расчетного процессора» щелкните по кнопке <b>Подтвердить</b> .
4.1 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды <b>Режим</b> <b>►</b> <b>Стальные конструкции</b> .
4.2 Переход в режим «Стальные конструкции»		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды <b>Режим</b> <b>►</b> <b>Стальные конструкции</b> .
5. Анализ результатов расчета		Щелкните по кнопке инструмента с панели «Расчет» или введите команды <b>Результаты</b> <b>►</b> <b>Мозаика результатов</b> <b>►</b> <b>Проверка ПС</b> .

Одной из основных особенностей расчета плоских статически неопределимых рам является то обстоятельство, что в этом случае необходимо точно задавать жесткости элементов. Перераспределение усилий в статически неопределимых системах зависит от соотношения жесткостей элементов.

Ниже рассмотрен пример расчета типового этажа многоэтажного железобетонного каркасного здания. Возможны два варианта построения геометрической схемы: а) создание отдельных узлов и КЭ (как это было сделано выше в примере с балкой), б) с использованием инструмента «Создание плоских фрагментов и сетей» (закладка – «Генерация рамы»).

В примере используем второй способ построения. Будет создана рама, состоящая из вертикальных элементов (колонн) и горизонтальных элементов (перекрытия и покрытие). Но так как в расчетной схеме (рис. 3.1) нет элементов покрытия, то в дальнейшем мы удалим эти лишние элементы.

### 3.2. Пример расчета плоской рамы

#### 3.2.1. Исходные данные

В качестве примера выполним расчет трехпролетной плоской рамы (см. рис. 3.1) по следующим исходным данным:

- а) пролет рамы (длина ригеля)  $L_b = 7$  м;
- б) высота этажа (длина колонны)  $H_{эт} = 4.2$  м;
- в) сечение колонны  $h_c = b_c = 0.4$  м;
- г) сечение ригеля  $b_b = 0.25$  м,  $h_b = 0.6$  м;
- д) класс бетона ригеля и колонны В25 (модуль упругости для данного класса бетона равен  $E = 27\,000$  МПа).

Раму необходимо рассчитать на четыре варианта нагружения:

- а) на равномерно-распределенную постоянную нагрузку  $g = 28.39$  кН/м, действующую во всех трех пролетах (см. рис. 3.1, а);
- б) на равномерно-распределенную временную нагрузку  $v = 35.34$  кН/м, действующую только в среднем пролете (см. рис. 3.1, б);
- в) на равномерно-распределенную временную нагрузку  $v = 35.34$  кН/м, действующую в двух первых пролетах (см. рис. 3.1, в);
- г) на равномерно-распределенную временную нагрузку  $v = 35.34$  кН/м, действующую в крайних пролетах (см. рис. 3.1, г).

несколько нагружений. Например, в рассматриваемой задаче с плоской рамой программа позволяет вывести эпюры усилий для отдельных нагружений (1, 2, 3, 4), но не сможет построить эпюры для нагружений 1+2, 1+3, 1+4. Для этого необходимо сформировать РСН.

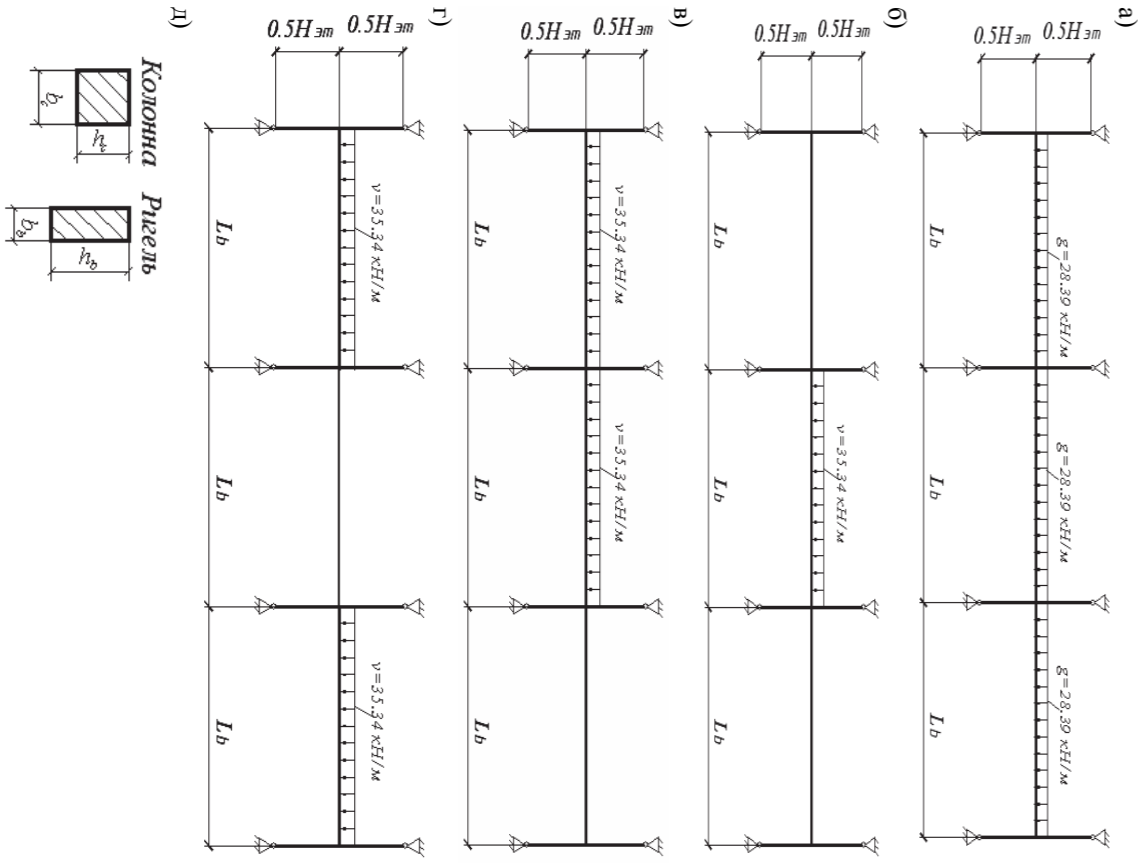
#### 4.3.3. Формирование таблицы расчетных сочетаний нагрузок

Рассмотрим процедуру таблицы расчетных сочетаний нагрузок РСН на ранее рассмотренном на примере расчета плоской рамы. Вернитесь в режим расчетной схемы **Режим** **►** **Расчетная схема**.  
Процедура создания таблицы РСН.

<b>Этапы и операции</b>	<b>Виды действий</b>																														
Открытие окна генерации таблиц РСН	Выполните команду меню: <b>Нагрузки</b> <b>РСН</b> . Откроется окно «Расчетные сочетания нагрузок» РСН.																														
Выбор вида для каждого нагружения	С помощью переключки выберите для первого нагружения – «Постоянное (П)», для всех временных нагружений – «Кратковременное (К)».																														
Определение групп взаимовыключающихся нагрузочных состояний для временных нагружений	Введите в столбец «Взаимовыключ.» для трех временных нагрузок число 1, в столбец «Для длитель.» число 0,5.																														
Задание основного сочетания и сохранения таблицы РСН	Щелкните по кнопке <b>1 основное</b> для задания первого основного сочетания и нажмите таблицу РСН, щелкнув по кнопке <b>Сохранить данные</b> . Закройте таблицу.																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>№ загруз.</th> <th>Наименование</th> <th>Эквивалент</th> <th>Взаимовыключ.</th> <th>Коеф. наделения</th> <th>Дополнение</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Постоянная нагрузка</td> <td>+</td> <td></td> <td>1.1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Временная нагрузка - схема 1</td> <td>+</td> <td>1</td> <td>1.2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Временная нагрузка - схема 2</td> <td>+</td> <td>1</td> <td>1.2</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Временная нагрузка - схема 3</td> <td>+</td> <td>1</td> <td>1.2</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	№ загруз.	Наименование	Эквивалент	Взаимовыключ.	Коеф. наделения	Дополнение	1	Постоянная нагрузка	+		1.1		2	Временная нагрузка - схема 1	+	1	1.2	5	3	Временная нагрузка - схема 2	+	1	1.2	5	4	Временная нагрузка - схема 3	+	1	1.2	5
№ загруз.	Наименование	Эквивалент	Взаимовыключ.	Коеф. наделения	Дополнение																										
1	Постоянная нагрузка	+		1.1																											
2	Временная нагрузка - схема 1	+	1	1.2	5																										
3	Временная нагрузка - схема 2	+	1	1.2	5																										
4	Временная нагрузка - схема 3	+	1	1.2	5																										

В итоге получаем следующую таблицу РСН (рис. 4.6).

Рис. 3.1. Схема рамы: а – первый вариант загрузки; б – второй вариант загрузки; в – третий вариант загрузки; г – четвертый вариант загрузки; д – сечение элементов



Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
<b>1.1.1</b> Вывод на экран окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и Бет задания текучей матрицы». Отметьте в верхнем поле жесткости <b>Двуэвр 20</b> и <input checked="" type="checkbox"/> Жесткость	Вид закладки <b>Жесткости</b> <b>ЖБ</b> <b>Сталь</b>
<b>1.1.2</b> Переход на клавишу «Сталь»		Перейдите на закладку «Сталь». В поле «Задание параметров для стальных конструкций» необходимо будет задать: материал, дополнительные характеристики и ограничения по подбору	Сталь
<b>1.1.3</b> Задание материала		Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>Параметры</b> выберите сталь Вст3пс6. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке <b>ОК</b> . В поле «Задание параметров для стальных конструкций» отобразится <b>1.1. Материал</b>	Перечеркнутка появится только после щелчка левой кнопкой мыши по нижней кнопке класса <b>стали</b>
<b>1.1.4</b> Задание дополнительных характеристик		Отметьте поле « <b>Дополнительные характеристики</b> ». Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>Параметры</b> задайте: тип элемента – колонна, макет – <b>неревондичально</b> стандартно допустимый прогон – <b>1/250</b> . Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке <b>ОК</b> . В поле «Задание параметров для стальных конструкций» отобразится <b>1.1. Характеристики</b>	Поле «Задание параметров для стальных конструкций» не будет доступно после щелчка по кнопке <b>ОК</b>
<b>1.1.5</b> Задание организационный подбора		Отметьте поле « <b>Ограничения по подбору</b> ». Щелкните на кнопку <b>Добавить</b> и в открывшемся окне <b>Параметры</b> оставьте все параметры по умолчанию, просто щелкнув по кнопке <b>ОК</b>	

#### 4.4. Конструктивный расчет стальных элементов

Основное нововведение в ПК «ЛИРА-САПР 2011» по сравнению с предыдущими версиями – это объединение модуля «ЛИРА-ВИЗОР» с модулями ПК «ЛИРА-СТК» и «ЛИРА-АРМ». В результате можно сразу выполнить и расчет усилий в элементах, и подбор (или проверку) сечений для стальных элементов, и подбор арматуры для железобетонных конструкций. Рассмотрим конструктивный расчет стальной балки – пример из лабораторной работы 2. Откройте файл «Статический расчет балки». Приведем ниже порядок расчета.

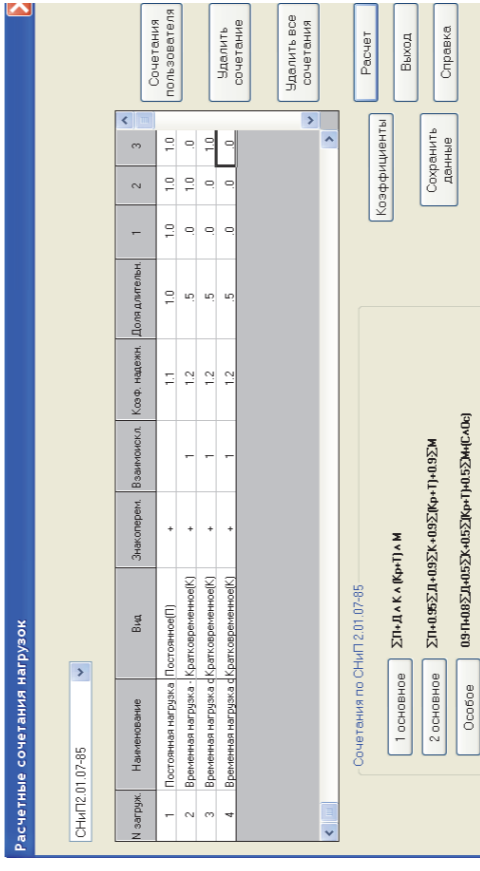


Рис. 4.6. Окно «Расчетные сочетания нагрузок»

Запустите задачу на расчет и после его окончания перейдите в режим «Результаты» расчета. Перейдите в режим анализа результатов по РСН, нажав на кнопку

Подведите курсор мыши к панели «Загрузка» – появится контекстная подсказка «Номер РСН. Имя 1». Переклнитесь с помощью переключки на РСН №4. С помощью пиктограмм и отобразите на экране (рис. 4.7) суммарную эпюру изгибающих моментов по четвертому сочетанию нагрузок (постоянное нагружение 1 + временное нагружение 3).

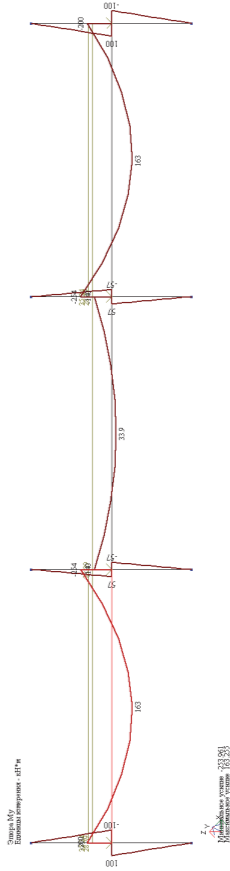


Рис. 4.7. Эпюра изгибающих моментов по четвертому сочетанию нагрузок

#### 3.2.2. Порядок расчета рамы

Этапы и операции	Команда и ее иконка	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
Запуск системы ЛИРА-САПР 2011		Выполните команды Windows: <b>Пуск</b> > <b>Программы</b> > <b>Лира-SAPR</b> > <b>ЛИРА-САПР 2011</b> > <b>ЛИРА-САПР</b>	
<b>1</b> Создание новой задачи		В диалоговом окне «Признак схемы» задайте имя задачи: «Плоская рама», введите комментарий «Поперечная рама каркасного здания», отметьте признак схемы: «2»	
<b>2</b> Задание единиц измерения		Выполните команды меню <b>Опции</b> > <b>Закладки измерения</b> . В диалоговом окне «Единицы измерения» установите значения – см, нагрузки – кН и м параметры материала – мПа. Подтвердите выбор новых размерностей, щелкнув по кнопке «подтвердить»	<b>Закладки «Схема»:</b> Геометрия – м, сечения – см, нагрузки – кН и м параметры материала – мПа. <b>Закладка «Результаты расчета»:</b> перемена – см, напряжения – Мпа, усилия – кН и м. <b>Закладка «Арматура»:</b> диаметр арматуры – мм, площадь арматуры – см, вес арматуры – кг, ширина раскрытия трещин – мм, площадь опалубки – м
<b>3</b> Создание геометрической схемы рамы		В диалоговом окне «Создание плоских фрагментов и сетей» активизируйте закладку «Генерация рамы», затем задайте шаг конечных элементов вдоль горизонтальной оси и количество шагов, а также шаг КЭ вдоль вертикальной оси и количество шагов. Шаг вдоль первой оси: Значение Количество Значение Количество L(m) N 7.00 3 L(m) N 2.10 2	
<b>3.1</b> Генерация рамы		После этого щелкните по кнопке <b>Применить</b> . Закройте окно «Создание плоских фрагментов и сетей», щелкнув по кнопке	



7.6	Выделение элемента 10		Выделите элемент 10	
7.5	Смена номера текущего загрузки-элемента № 10		В диалоговом окне «Активное загрузка-элемент» задайте номер и имя нового загрузка-элемента – 2, <i>временная нагрузка-схема 1</i>	Номер активного загрузка-элемента можно менять через окно «Загрузка-элемент».
7.4	Задание постоянной нагрузки в на выделенные элементы № 9, 10 и 11		В диалоговом окне «Задание нагрузки» активизируйте закладку «Нагрузки на колонны». Укажите (или проверьте) опции кнопки – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелкните <i>отобразить нагрузку</i> по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры». В этом окне введите интенсивность $q = 28,39$ кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузки» щелкните по кнопке <b>Применить</b> .	После выполнения команды по заданию постоянной нагрузки на рабочей экране нарисованы <i>отобразить нагрузку</i> на колонны равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры». В этом окне введите интенсивность $q = 28,39$ кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузки» щелкните по кнопке <b>Применить</b> .
7.3	Выделение элементов № 9, 10 и 11		Выделите горизонтальные элементы 9, 10 и 11	
7.2	Вывод на экран номеров элементов		Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Элементы». После этого выберите команду <b>Номера элементов</b> и щелкните по кнопке <b>Перерисовать</b> .	На расчетной схеме отображаются номера элементов
6.7	Закрытие диалогового окна «Жесткости и материалы»		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке <b>Закрыть</b>	
<b>7.7 Задание нагрузок</b>				
<b>Формирование загрузки № 1 (постоянная нагрузка)</b>				
7.1	Задание имени загрузки		Откройте диалоговое окно «Активное загрузка-элемент». Задайте имя загрузки 1 – <i>постоянная нагрузка</i> . Подтвердите ввод в окне «Загрузка-элементы» по кнопке <b>Применить</b> .	Номер активного загрузка-элемента отображается в окне «Загрузка-элементы».
<b>Формирование загрузки № 3 (постоянная нагрузка)</b>				
7.1	Задание имени загрузки		Откройте диалоговое окно «Активное загрузка-элемент». Задайте имя загрузки 3 – <i>постоянная нагрузка</i> . Подтвердите ввод в окне «Загрузка-элементы» по кнопке <b>Применить</b> .	Номер активного загрузка-элемента отображается в окне «Загрузка-элементы».

Рекомендации и комментарии	Ваши действия	Команда и ее иконка	Ваши действия	Команда и ее иконка	Рекомендации и комментарии
7.7 Задание временной нагрузки в выделенный элемент 10	В диалоговом окне «Задание нагрузки» активизируйте закладку «Нагрузки на стержни». Проверьте опции кнопки – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры». В этом окне введите интенсивность $q = 35,34$ кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузки» щелкните по кнопке <b>Применить</b> . Далее по аналогии задайте временную нагрузку для третьего и четвертого загрузки-элемента		В диалоговом окне «Задание нагрузки» активизируйте закладку «Нагрузки на стержни». Проверьте опции кнопки – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры». В этом окне введите интенсивность $q = 35,34$ кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузки» щелкните по кнопке <b>Применить</b> . Далее по аналогии задайте временную нагрузку для третьего и четвертого загрузки-элемента		
<b>Формирование загрузки № 3 (временная нагрузка в двух крайних пролетах)</b>					
7.8	Смена номера текущего загрузки-элемента		В диалоговом окне «Активное загрузка-элемент» задайте номер и имя нового загрузки-элемента – 3, <i>временная нагрузка – схема 2</i>		
7.9	Выделение элементов 9 и 10		Выделите элементы 9 и 10		
7.10	Задание временной нагрузки в выделенные элементы 9 и 10		В диалоговом окне «Задание нагрузки» должно остаться значение временной нагрузки $q = 35,34$ кН/м, поэтому далее нажмите по кнопке «Задание нагрузки», повторите действия в п. 7.7		Если Вы все-таки нечаянно закрыли диалоговое окно «Задание нагрузки», повторите действия в п. 7.7
<b>Формирование загрузки № 4 (временная нагрузка в двух крайних пролетах)</b>					
7.11	Смена номера текущего загрузки-элемента		В диалоговом окне «Активное загрузка-элемент» задайте номер и имя нового загрузки-элемента – 4, <i>временная нагрузка – схема 3</i>		
7.12	Выделение элементов 9 и 11		Выделите элементы 9 и 11		
7.13	Задание временной нагрузки в выделенные элементы 9 и 11		В диалоговом окне «Задание нагрузки» должно остаться значение временной нагрузки $q = 35,34$ кН/м, поэтому далее нажмите по кнопке «Задание нагрузки», повторите действия в п. 7.7		Если Вы все-таки нечаянно закрыли диалоговое окно «Задание нагрузки», повторите действия в п. 7.7
7.14	Завершение операции задания нагрузок		Закройте диалоговое окно «Задание нагрузки»		

Вид загрузки	Основные сочетания	Особое сочетание
Постоянное	1-е	2-е
Длительно действующее	1	1
Кратковременное	1	0,95
Крановое	1	0,9
Тормозное	1	0,9
Сейсмическое	0	0
Особое	0	0
Мгновенное	1	0,95
Ветровое статическое	0	0

Таблица 4.1

Обратите внимание на то, что для ветрового статического загрузки-элемента все коэффициенты по умолчанию равны нулю. Это связано со спецификой формирования загрузки ветровой нагрузкой с учетом пульсации.

#### 4.3.2. Вычисление расчетных сочетаний усилий

Запустите задачу на расчет. Режим **Выполнить расчет**. В открывшемся окне «Параметры расчетного процессора» щелкните по кнопке **Подтвердить**. Прогнозируйте появившиеся в новом окне предупреждения об отсутствии данных о материалах и параметрах конструирования, щелкнув по кнопке ОК.

Войдите в режим **Результаты расчета** (команды меню **Режим** **Результаты расчета**).

Откройте редактор форм (пиктограмма «интерактивные таблицы»

. В открывшемся окне **редактора форм** выберите в списке опцию «РСУ(стержни)» и щелкните по кнопке «Применить». Еще раз нажмите на кнопку «Применить» в новом окне. На экране отобразится сводная таблица РСУ для всех элементов расчетной схемы (рис. 4.5).

Программный комплекс вычислил все самые неблагоприятные расчетные сочетания усилий для элементов расчетной схемы. Обратите внимание, что во всех комбинациях учтено только одно из временных загрузений, так как все они были занесены в одну группу взаимосключающих загрузений. Можно сделать следующую проверку. Вернитесь в режим создания расчетной схемы и в таблице РСУ для всех временных загрузений удалите номер группы взаимосключающих загрузений. Выполнив расчет и сформировав новую таблицу РСУ, Вы убедитесь, что программа

Этап	Ваши действия
Открытие таблицы РСУ	Выполните команду меню <b>Нагрузки</b> <b>РСУ</b> <b>Генерация РСУ</b>
Выбор строителя документа	С помощью переключателя выберите вариант СП 20.133.30.2011
Задание параметров загрузки	В окне «Вид загрузки» с помощью переключателя выберите «Постоянное(0)». Все значения параметров загрузки по умолчанию. Щелкните по кнопке «Применить»  расположенной рядом с окном «Вид загрузки». Ниже в окне сводной таблицы РСУ появится первая запись
Задание параметров загрузки	Поле «Вид загрузки» станет пустым
Задание параметров загрузки	В окне «Вид загрузки» с помощью переключателя выберите «Временная(1)». Далее задайте: (а) – 0,5. Коэффициент надежности загрузки оставим по умолчанию – 1,2. Щелкните по кнопке «Применить»  расположенной рядом с окном «Вид загрузки». Ниже в окне сводной таблицы РСУ появится еще одна запись
Задание параметров загрузки	Временная... 0 0 0 0 0 1,10 1,00 1 Постоянная... 1,00 1,00 0,90 1,00 2 Временная... 1 0 0 1 0 0 1,20 1,00 Поле «Вид загрузки» станет пустым
Задание параметров загрузки	Повторите описанные выше действия для третьего и четвертого загрузки-элементов (параметры РСУ идентичные). В итоге получаем сводную таблицу РСУ
Задание параметров загрузки	Сводная таблица для вычисления РСУ:
Задание параметров загрузки	Имя загр... Параметры РСУ Коэффициенты РСУ
Задание параметров загрузки	1 Постоянн... 0 0 0 0 0 1,10 1,00 1,00 1,00 0,90 1,00
Задание параметров загрузки	2 Временн... 1 0 0 1 0 0 1,20 0,50 1,00 1,00 0,80 1,00
Задание параметров загрузки	3 Временн... 1 0 0 1 0 0 1,20 0,50 1,00 1,00 0,80 1,00
Задание параметров загрузки	4 Временн... 1 0 0 1 0 0 1,20 0,50 1,00 1,00 0,80 1,00
Задание параметров загрузки	Подтвердите создание таблицы РСУ, щелкнув по кнопке «Подтвердить»  расположенной в правом верхнем углу окна «Расчетные сочетания усилий»
Задание параметров загрузки	Выполните команды меню: <b>Нагрузки</b> <b>РСУ</b> <b>Генерация таблицы РСУ</b> . На экране отобразится таблица РСУ. Обратите внимание – программа автоматически сформировала коэффициенты РСУ для основных и особых сочетаний. Так как в данном примере в основном сочетании может быть учтена только временная нагрузка, то коэффициент равен 1

В табл. 4.1 приведены значения коэффициентов РСУ для сочетаний, принимаемых по умолчанию.

Этапы и операции	Команды и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
9.7 Вывод на экран значений усилий на эпюрах		Щелкните «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать/Активизировать значки». Укажите опцию <b>Значения на эпюрах</b> и щелкните по кнопке <b>Перерисовать</b>	Щелкните по кнопке <b>Флаги рисования</b> и щелкните по кнопке <b>Перерисовать</b> (см. приложение 8)
9.8 Добавление эпюры моментов в окно <b>графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>графического контейнера</b>	В окне <b>графического контейнера</b> выберите элемент <b>графического контейнера</b>
9.9 Вывод на экран эпюры $Q_z$		Щелкните по соответствующей кнопке инструмента на панели <b>Эпюры</b>	На панели <b>Эпюры</b> выберите элемент <b>графического контейнера</b>
9.10 Добавление эпюры поперечных сил в окно <b>графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в окне <b>графического контейнера</b>	В окне <b>графического контейнера</b> выберите элемент <b>графического контейнера</b>
9.11 Вывод на экран информации о поперечных сил в окне <b>графического контейнера</b>		Щелкните сначала по кнопке «Информация об узле или элементе», а затем по элементу 9. На экране отобразится окно информации для указанного элемента	В окне <b>графического контейнера</b> выберите элемент <b>графического контейнера</b>
9.12 Вывод на экран эпюры $Q_z$ и $M_y$ для элемента 9		Отметьте в информационном окне опцию «Эпюры». В открывшемся окне снимите щелчками мыши выделение всех эпюр, кроме $Q_z$ и $M_y$	В окне <b>графического контейнера</b> выберите элемент <b>графического контейнера</b>
9.13 Добавление эпюры $Q_z$ и $M_y$ для элемента 9 в окно <b>графического контейнера</b>		Щелкните по кнопке инструмента в информационном окне «Эпюры усилий»	В окне <b>графического контейнера</b> выберите элемент <b>графического контейнера</b>
9.14 Вывод на экран таблицы усилий для элементов 9-11		Выделите одним из способов элементы 9-11. Щелкните по кнопке инструмента на панели <b>Выбор</b> . В открывшемся окне <b>редактора форм</b> выберите в списке опцию «Усилия(стержни)» и щелкните по кнопке «Применить». Отметьте в новом окне опцию «Для выбранных элементов» и нажмите на кнопку «Применить». На экране появится таблица усилий для элементов 9-11	В окне <b>графического контейнера</b> выберите элемент <b>графического контейнера</b>

никать нормальные и касательные напряжения, изгибающие моменты, поперечные и продольные силы.

4. Стержень балочного роставерка (тип 3).

Обладает тремя степенями свободы в каждом узле (одним линейным нормальным перемещением и двумя углами поворота).

5. Стержень пространственной фермы (тип 4).

Обладает тремя степенями свободы в каждом узле (тремя линейными перемещениями и одним углом поворота). В таком элементе, как и для первого типа, могут возникать только нормальные напряжения (усилия) сжатия-растяжения вдоль оси элемента.

6. Пространственный стержень без учета сдвига (тип 5).

Аналог универсального стержня (тип 10), с одним исключением – отсутствует учет сдвиговых деформаций. Это актуально для стержней, у которых длина элемента намного превосходит размеры поперечного сечения. Так же, как и десятиый тип, имеет шесть степеней свободы в каждом узле (три линейных перемещения и три угла поворота).

#### 4.2. Нормативные и расчетные нагрузки

Особый интерес и много вопросов, и не только у начинающих пользователей, вызывает задача корректного задания нагрузок, составления таблицы расчетных сочетаний усилий (PCU) и таблицы расчетных сочетаний нагрузок (PCN). Часто многие просто не понимают разницы между PCU и PCN. Эту тему раскроем ниже. Но сначала разберемся с нормативными и расчетными нагрузками.

Пока пользователь использует ПК «ЛИРА-САПР 2011» как инструмент только для определения усилий от отдельных нагрузжений (без автоматизации составления комбинаций расчетных сочетаний усилий), а дальнейший конструктивный (проектный) расчет элементов делает вручную или в других программах, проблема какие нагрузки задавать – расчетные или нормативные – не актуальна. Пользователь сам решает для себя этот вопрос, задает нагрузки и сам трактует, какие они – нормативные или расчетные.

Но сама идея технологии работы ПК «ЛИРА-САПР 2011» нацелена на то, чтобы полностью автоматизировать процесс расчетов и проектирования строительных конструкций: от сбора нагрузок (с помощью модуля «ЭСПРи») до подбора сечений элементов, армирования или проверки. Это уже не простой отдельный расчет усилий в отдельном модуле, а комплексная задача, когда исходные данные (результаты расчетов) экспортируются из одного модуля в другой и необходимо быть уверенным, что этот экспорт выполнен правильно.

#### 4.3.1. Формирование таблицы расчетных сочетаний усилий

Рассмотрим процедуру составления таблицы PCU на ранее рассмотренном в подразделе 3.1 примере расчета плоской рамы.

В примере были рассмотрены четыре варианта нагружения:

- 1) равномерно-распределенная постоянная нагрузка, действующая во всех трех пролетах;
- 2) равномерно-распределенная временная нагрузка, действующая только в среднем пролете;
- 3) равномерно-распределенная временная нагрузка, действующая в двух первых пролетах;
- 4) равномерно-распределенная временная нагрузка, действующая в двух крайних пролетах.

режиме формирования расчетной схемы, или после расчета, в режиме визуализации результатов расчета.

Данные для формирования PCU могут быть введены до расчета, в режиме формирования расчетной схемы, или после расчета, в режиме визуализации результатов расчета.

Все операции по формированию PCU выполняются с помощью диалогового окна «Расчетные сочетания усилий».

Программным комплексом автоматически (по умолчанию) генерируются параметры, соответствующие текущему виду нагружения. Однако пользователь может по своему усмотрению изменить любой из параметров.

Эта классификация несколько отличается от нормативной. Так, например, снеговое нагружение или гололед не выделены в отдельную группу. Но пользователь может по своему усмотрению назначить им вид нагружения либо длительное, либо кратковременное, что и оговорено в нормах.

При присвоении номера:

- 1) по несущей способности (основные виды расчетов – на прочность и устойчивость);
- 2) по пригодности к эксплуатации (определение прогибов, деформаций, ширины раскрытия трещин).

Расчет по первой группе предельных состояний выполняется по расчетным нагрузкам, расчет по второй группе – по нормативным нагрузкам. (Может быть иная трактовка по расчетным нагрузкам, для которых коэффициент надежности по нагрузке равен единице).

Расчетная нагрузка  $g$  определяется как произведение нормативной  $g_n$  на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$ :

$$g = g_n \cdot \gamma_f \quad (4.1)$$

Технология «ручного» счета предполагает первоначальное определение нормативных нагрузок, а затем определение расчетных нагрузок (по формуле (4.1)). Исключение составляет снеговая нагрузка, для которой в СП приводится расчетное значение. Как же правильно задать нагрузки в ПК «ЛИРА-САПР 2011» при одновременном выполнении статического (динамического) и конструктивного расчета?

В каждом нагружении необходимо задавать расчетные нагрузки.

Возникает вопрос, а как тогда будут определяться нормативные нагрузки для расчета конструкции по второй группе предельных состояний?

Нормативные нагрузки в ПК «ЛИРА-САПР 2011» вычисляются путем деления расчетных на коэффициенты надежности по нагрузке, задаваемые для каждого нагружения в таблицах параметров PCU или PCN (см. ниже рис. 4.4 и 4.6).

Отдельно необходимо сказать об учете собственного веса конструкции. В ПК «Мономах», ориентированном, в первую очередь, на расчет железобетонных конструкций, собственный вес конструкций учитывается всегда по умолчанию. В ПК «ЛИРА-САПР 2011» у пользователя есть альтернатива: можно учесть вес конструкций в виде отдельных нагрузок (вычисленных вручную) или автоматически собрать нагрузки от собственного веса элементов через параметры жесткостей.

Опишем второй способ учета собственного веса конструкций.

Откройте файл с примером расчета плоской рамы. Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы».

Выделите тип жесткости «Брус 40\*40 колонна» и нажмите кнопку «Изменить». В открывшемся окне «Задание стандартного сечения» в поле  $R_0$  введите стандартное значение удельного веса железобетона 25 кН/м<sup>3</sup> (рис. 4.1). Щелкните левой кнопкой по мыши по кнопке «Подтвердить».

Содержание и цели четвертого раздела принципиально отличаются от предыдущих разделов. Первые три раздела ставили основной своей целью научить начинающего пользователя простому функционалу ПК «ЛИРА-САМП 2011». Внимательно изучив предыдущий материал, можно без

#### 4. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПК «ЛИРА-САМП 2011»

4) Таблицу усилий с помощью команд меню **Файл** можно также скопировать в буфер для последующей вставки в документ программы **Excel** или сразу сохранить в виде документа **Excel**.

3) При выводе численных значений внутренних усилий на эпорах обычно происходит наложение, что приводит к невозможности просмотра всех результатов. Такой вывод информации эффективен больше для баюк, чем для рам, где более удобным является табличный вывод информации или построение эпюр отдельно для каждого рассматриваемого конечного элемента.

2) Деформированная схема в данном примере не соответствует ре-

альной картине деформаций, т.к. каждый конструктивный элемент моделируется одним КЭ и обычно в программе по умолчанию задан крупный масштаб перемещений. Для получения наглядной картины деформирования необходимо более мелкое разбиение отдельных конструктивных элементов на КЭ.


1) Возможен более быстрый выбор вертикальных элементов: активи-

зировать кнопку «отметка вертикальных стержней» и щелчком захва-

тить всю схему в «резиновое окно». Выделяется только вертикальные эле-

менты.

9.16 Завершение работ

Этапы и операции	Команды и ее именован	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
9.15 Добавление таблицы усилий для элементов 9-11 в окно графического контейнера		В созданной таблице усилий выполните команду меню <b>Файл</b> > <b>Копировать в окно графического контейнера</b> (см. также приложение 4)	Таблица усилий скопирована в программу MathCAD. Сохраните результаты своей работы и закройте ПК ЛИРА
9.16 Завершение работ			

особых проблем выполнять расчеты плоских стержневых конструкций, обладающая практически минимальным багажом знаний в области строительной механики, строительных конструкций и численных методов. Можно легко получить результаты расчетов, но анализировать их и выполнять конструктивные расчеты отдельных элементов невозможно без хороших специальных знаний.

**Любая программа без специальных знаний это просто красивая игрушка.**

Материал данного раздела, в первую очередь, рассчитан на студентов старших курсов строительных специальностей, имеющих достаточную подготовку и склонность к расчету строительных конструкций. Надееемся, что он также может быть полезен для специалистов, работающих в области проектирования зданий и сооружений. Практически по каждой версии ПК «ЛИРА» разработчиками своевременно выпускаются руководства и пособия. Но некоторые простые истины, без знания которых сложно работать в ПК «ЛИРА», иногда освещаются в недостаточной мере.

#### 4.1. Основные типы стержневых конечных элементов в ПК «ЛИРА-САМП 2011»

ПК «ЛИРА-САМП 2011» имеет обширную библиотеку стержневых КЭ, позволяющих учитывать различные виды нелинейностей (физическую, геометрическую, конструктивную), обжатие, взаимодействие с грунтом и т.д.

Но с практической точки зрения можно выделить шесть основных типов КЭ (приложение 1). Кратко опишем основные свойства этих типов КЭ. Нумерация элементов, приведенная в скобках, соответствует типу КЭ, под которым он хранится в библиотеке программы.

1. Универсальный стержень (тип 10). Название говорит само за себя. Все рассматриваемые ниже типы являются частными случаями элемента 10. Когда формируются расчетные схемы для плоских ферм, рам и т.д. по умолчанию используется этот тип. Имеет шесть степеней свободы в каждом узле (три линейных перемещения и три угла поворота).
2. Стержень плоской фермы (тип 1). Обладает двумя степенями свободы в каждом узле (двумя линейными перемещениями). В таком элементе могут возникнуть только нормальные напряжения (усилия) сжатия-растяжения.
3. Стержень плоской рамы (тип 2). Обладает тремя степенями свободы в каждом узле (двумя линейными перемещениями и одним углом поворота). В таком элементе могут воз-

свои действия по созданию расчетной модели ручным счетом и простыми проверками.

Удаление нагрузок от собственного веса конструкций проще всего выполнить с помощью команд меню: **Нагрузки** > **Удалить собственный вес**.

Каким же образом лучше всего учитывать нагрузки от собственного веса? Все зависит от конкретного случая. Возьмем для примера выполненные выше три расчета: фермы и балки из металлопроката и железобетонной рамы. Для металлопроката удельный вес металла (вес одного погонного метра элемента) изначально всегда задан и для первых двух примеров, конечно, удобнее нагрузку от собственного веса задавать так, как было показано в этом подразделе. Для железобетонных конструкций это уже не так эффективно. Хотя для элементов, имеющих сложные поперечные сечения, операция автоматического задания нагрузок от собственного веса может сэкономить время.

4.3. Расчетные сочетания усилий. Расчетные сочетания нагрузок

В программном комплексе «ЛИРА-САМП 2011» предусмотрено автоматизированное формирование расчетных сочетаний усилий (РСУ), соответствующее нормативам документам, действующим в проектировании объектов строительства. Вычисление РСУ выполняется в следующем.

В общем случае напряженно-деформированного состояния критерием определения опасного РСУ служит экстремум упругого потенциала в какой-либо точке тела при действии на него усилий от многих затруженных. В такой постановке легко учитываются особенности напряженного состояния конечных элементов различного типа. Это позволяет значительно сократить количество рассматриваемых РСУ, не утрачивая наиболее опасных из них.

Так, например, для стержневых элементов задача выбора РСУ сводится к нахождению экстремальных значений нормальных и касательных напряжений, вычисленных в характерных точках сечения. Поэтому и критериями здесь являются экстремальные напряжения в этих точках сечения.

В элементах плоского напряженного состояния, плитах и оболочках задача выбора РСУ сводится к рассмотрению отпалоющих кривых напряжений в зависимости от угла наклона главных площадок.

Общие правила формирования таблицы РСУ следующие:

- параметры расчетных сочетаний задаются для каждого из затруженных задач;
- каждое РСУ относится к одному из предусмотренных нормативными документами видов сочетаний;

Очень важный совет для пользователей любой расчетной программы. Человеку свойственно ошибаться, причем неважно, почему допущена ошибка: от незнания или невнимательности. **Результат в любом случае отрицательный. Поэтому постоянно необходимо контролировать все**

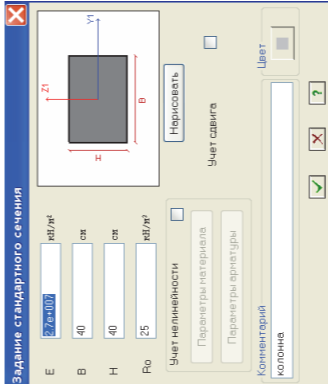


Рис. 4.1. Окно «Задание стандартного сечения»



Рис. 4.2. Окно «Добавить собственный вес»

Рис. 4.3. Значения нагрузок