

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

Ю. Н. Чудинов

**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»

Комсомольск-на-Амуре
2013

УДК 517.958:624.01(07)

ББК 38.112я7

Ч-842

Рецензенты:

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»

Чудинов, Ю. Н.

Ч-842 Расчет строительных стержневых конструкций в ПК «ЛИРА-САПР 2011» : учеб. пособие / Ю. Н. Чудинов. – Комсомольск-на-Амуре : ФБГОУ 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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ ФЕРМ В ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	5
1.1. Начало работы в ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	6
1.2. Основные расчетные схемы в ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	6
1.3. Основные этапы расчета плоских ферм в ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	9
1.4. Особенности работы в различных режимах работы ПК «ЛИРА-САПР 2011»	10
1.5. Пример расчета плоской фермы	12
1.5.1. Исходные данные	12
1.5.2. Порядок расчета фермы.....	14
2. РАСЧЕТ БАЛОК В ПК «ЛИРА-САПР 2011»	23
2.1. Краткие сведения об определении внутренних усилий в балках	23
2.2. Пример расчета балки.....	25
2.2.1. Исходные данные.....	25
2.2.2. Порядок расчета балки.....	25
3. РАСЧЕТ ПЛОСКИХ РАМ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»	32
3.1. Общие сведения.....	32
3.2. Пример расчета плоской рамы.....	33
3.2.1. Исходные данные.....	33
3.2.2. Порядок расчета плоской рамы.....	35
4. КОНСТРУКТИВНЫЙ РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	42
4.1. Основные типы стержневых конечных элементов в ПК «ЛИРА-САПР 2011».....	43
4.2. Нормативные и расчетные нагрузки.....	44
4.3. Расчетные сочетания усилий. Расчетные сочетания нагрузок.....	48
4.3.1. Формирование таблицы расчетных сочетаний усилий.....	48
4.3.2. Вычисление расчетных сочетаний усилий.....	51
4.3.3. Формирование таблицы расчетных сочетаний нагрузок.....	53
4.4. Конструктивный расчет стальных элементов.....	55
4.5. Конструктивный расчет железобетонных элементов.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	62
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	62
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 БАЛКАХ 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

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 демонтажа 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 аккумулированы и дополнены сведения по работе в ПК «ЛИРА-САПР 2011», ранее приведенные в методических указаниях [4, 5, 6].

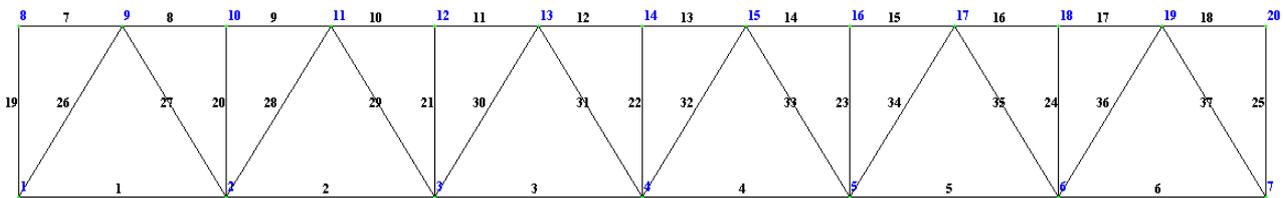
Пособие состоит из четырех разделов, в которых последовательно рассматриваются расчет плоских ферм, балок, плоских рам, конструктивный расчет стальных и железобетонных элементов.

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

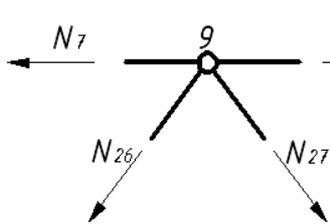
При расчете методом конечных элементов (МКЭ) стержневые конструкции представляются в виде совокупности конечных элементов, соединенных между собой в узловых точках. При расчете стержневых систем каждый стержень постоянного сечения принимается за отдельный элемент.

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, а).

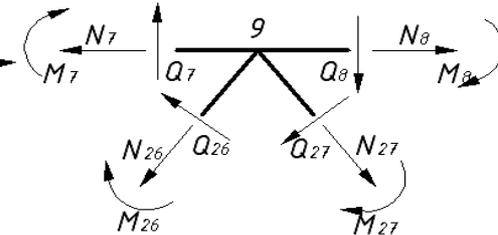
а)



б)



в)



г)

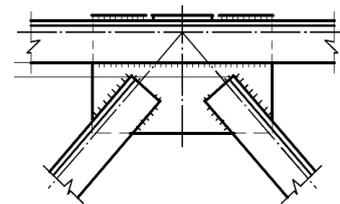


Рис. 1.1. Плоская ферма: а – геометрическая модель плоской фермы; б – усилия в шарнирном узле фермы; в – усилия в жестком узле фермы; г – узел стальной фермы

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 фансонок (специальных стальных листов-накладок, см. рис. 1.1, г).

Наиболее точно конструкция такого узла, как и большинства узлов железобетонных и деревянных ферм, моделирует жесткое сопряжение элементов.

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-САПР 2011»

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

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

ПК «ЛИРА-САПР 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-САПР 2011» от предыдущих версий.

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

1.2. Основные расчетные схемы конструкций 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.

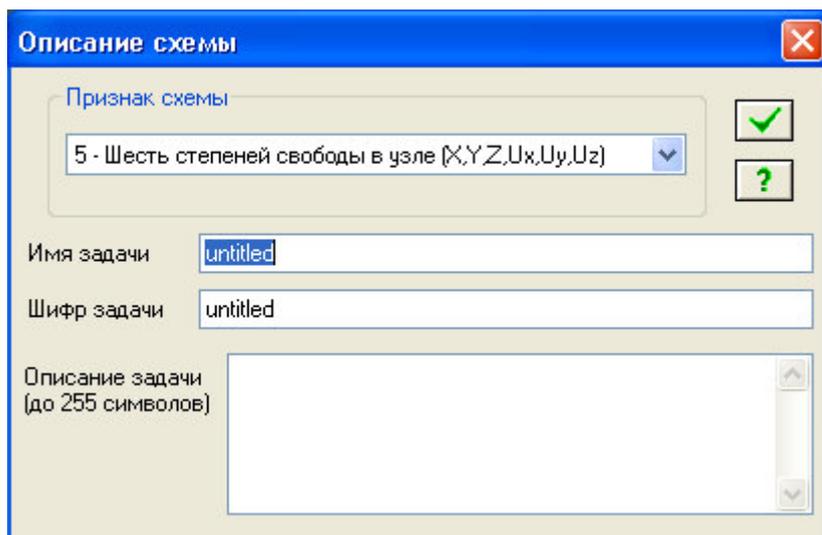


Рис. 1.2. Диалоговое окно *Признак схемы*

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 .

!!! 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 направление нагрузок по оси Oy .

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 .

Данная схема рассматривает изгиб конструкций в двух направлениях.

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

Заполним поля диалогового окна, отметим расчетную схему 1 (рис. 1.3) и щелкнем левой кнопкой мыши по кнопке *Подтвердить* и тем самым войдем в режим создания и редактирования модели конструкции.

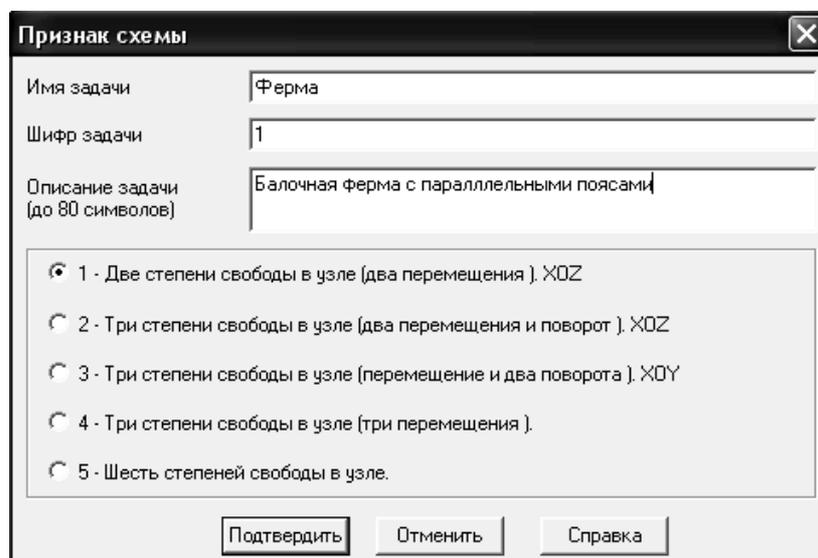


Рис. 1.3. Диалоговое окно *Признак схемы* с выбранными расчетными параметрами

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 ниспадающих меню.

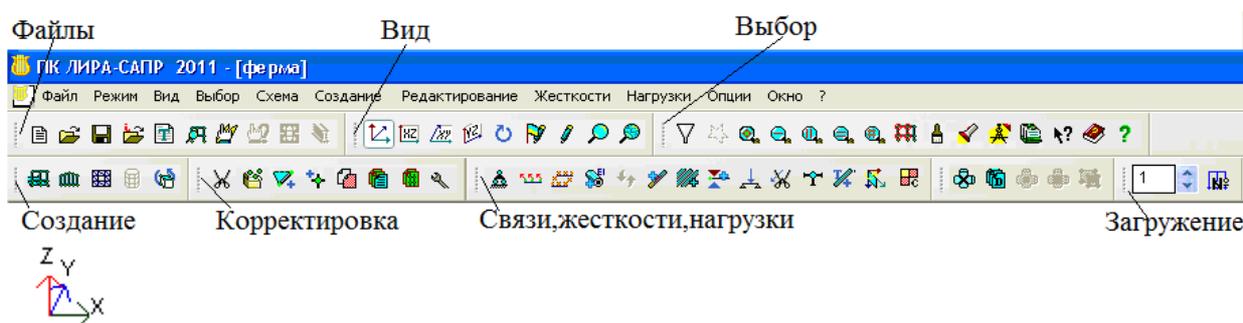


Рис. 1.4. Основные панели ПК «ЛИРА-САПР 2011» в режиме создания модели

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

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

Алгоритм расчета плоских ферм:

1) *Выбор расчетной схемы 1* (признака схемы). Этот параметр можно поменять в любой момент создания и редактирования модели с помощью пиктограммы  или команды меню Схема ► Признак схемы.

2) *Выбор единиц измерения* для исходных данных и результатов расчета: 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 регулярные схемы, эту операцию проще всего выполнять 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 плоских систем смотри в приложении 3).

5) *Выбор требуемых типов жесткости из библиотеки жесткостных характеристик*.

6) *Выбор параметров для железобетонных или стальных конструкций*.

7) *Присвоение жесткостей и материалов, занесенных в библиотеку файла конкретным КЭ схемы*.

8) *Задание нагрузок на отдельные узлы и элементы*.

9) *Генерация 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 следить 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 (прикладывают нагрузку и т.д.) не к тем узлам и элементам из-за простой невнимательности.

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

1.4. Особенности работы в различных режимах в ПК «ЛИРА-САПР 2011»

ПК «ЛИРА-САПР 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.

Необходимо четко понимать, какие операции можно выполнить в каждом из режимов.

Режим создания расчетной схемы объекта.

Основной режим создания и редактирования расчетной схемы конструкции. Все операции по созданию и редактированию геометрии расчетной схемы, заданию жесткостных характеристик элементов, граничных условий, приложению внешней нагрузки к узлам и элементам выполняются только в этом режиме.

В процессе решения задачи пользователю необходимо контролировать правильность задания исходных данных. Узнать всю информацию о созданной конечно-элементной модели конструкции (геометрию, жесткости, наличие шарниров, значение и направление нагрузок) также можно только в этом режиме. Если по результатам первоначального расчета требуется корректировка или проверка исходных данных, необходимо из режима «Результаты расчета» вернуться в первоначальный основной режим.

Режим процессора.

В этом режиме от пользователя требуется меньше всего действий. ПК «ЛИРА-САПР 2011» выполняет расчет задачи в автоматическом режиме. Пользователь может выполнить следующие операции:

- а) отменить (прервать) расчет, нажав на соответствующую кнопку;
- б) скопировать в буфер графическое изображение окна расчета задачи с помощью клавиши PrintScreen (PrtScr) для дальнейшей вставки его в другие приложения. В процессе расчета на экране отображается важная информация о параметрах расчета (число неизвестных МКЭ, расчетная схема и т.д.).

Режим анализа и документирования результатов расчета.

После завершения расчета задачи необходимо провести анализ полученных результатов.

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.

Из всех этих возможностей при расчете стержневых конструкций актуальными являются:

а) интерактивные таблицы – кнопка ,

б) эпюры усилий –  (N – эпюра продольных сил, Q_z – поперечных сил, M_z – изгибающих моментов).

Вывод 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 исчерпывающей информацией об этом объекте (исходных данных в режиме создания и редактирования расчетной схемы, результатах расчета и основных параметрах этого объекта в режиме просмотра результатов расчета). Последующий щелчок на другой интересующий пользователя 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: подбирается продольная и поперечная арматура.

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

Системы конструирования железобетонных конструкций («Лири-Арм») и стальных конструкций («Лири-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, исключает-

ся 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 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 $L = 18$ м;
- б) высота фермы $H = 2.5$ м;
- в) длина панелей нижнего пояса $L_{\text{пан}} = 3$ м;
- г) сосредоточенная узловая нагрузка $P = 28.3$ кН;
- д) все элементы фермы выполнены из равнополочного уголка 75x75x6 мм.

В реальной ферме элементы решетки, нижнего и верхнего пояса имеют различные сечения. Но для статически определимых конструкций, к которым относится рассчитываемая 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 загрузки при различных условиях сопряжения элементов фермы.

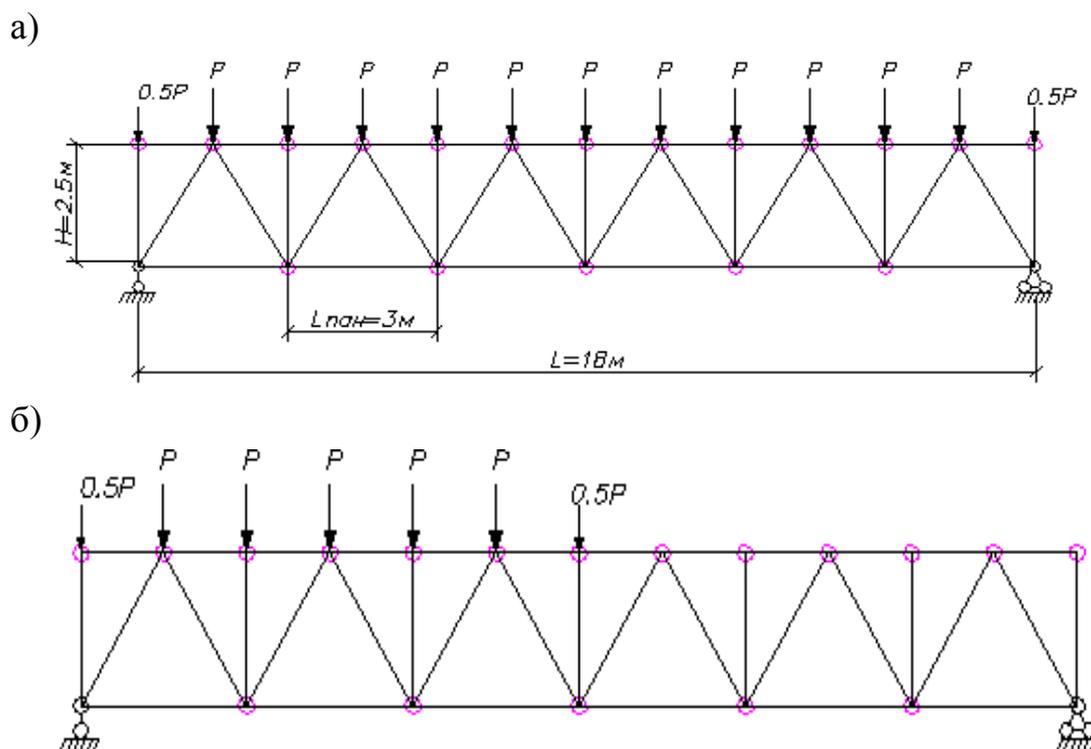


Рис. 1.5. Схема фермы: а – первый вариант загрузки; б – второй вариант загрузки

Варианты загрузки фермы:

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

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

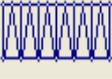
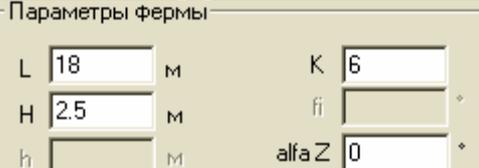
Основным является расчет фермы при шарнирном сопряжении элементов (признак схемы 1, см. подраздел 1.2).

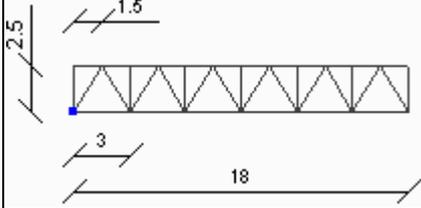
Выполнение данного расчета должно подтвердить приведенное выше допущение о том, что замена жестких узлов шарнирными приводит к незначительной погрешности при расчете ферм.

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

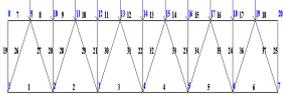
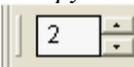
Поэтому после расчета и анализа полученных результатов фермы на два варианта загрузки при шарнирном сопряжении элементов достаточно в расчетной модели изменить признак схемы с 1 на 2 и выполнить далее расчет фермы и анализ результатов по схеме с жестким сопряжением элементов.

1.5.2. Порядок расчета фермы

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
Запуск системы ЛИРА-САПР 2011		Выполните команды Windows: Пуск > Программы > Lira-SAPR > ЛИРА-САПР 2011 > ЛИРА-САПР	
1 Создание новой задачи		В диалоговом окне «Описание схемы» задайте имя задачи: «Плоская ферма», введите описание задачи «Статический расчет фермы», отметьте признак схемы: «1»	<i>См. примечание 1</i>
2 Задание единиц измерения		Выполните команды меню Опции > Единицы измерения . В диалоговом окне «Единицы измерения» установите размерности, соответствующие системе СИ. Подтвердите выбор новых размерностей, щелкнув по кнопке «подтвердить»	Закладка «Схема»: геометрия – м, сечения – см, нагрузки – кН и м, параметры материала – МПа. Закладка «Результаты расчета»: перемещения – см, напряжения – Мпа, усилия – кН и м
3 Создание геометрической схемы фермы			
3.1 Открытие окна «Создание ферм»		Откройте диалоговое окно «Создание ферм», в котором необходимо выбрать: а) очертание поясов фермы; б) очертание решетки фермы; в) геометрические параметры фермы	Диалоговое окно «Создание ферм» имеет особенность, описанную в примечании 2
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		<p>Задайте исходные параметры: пролет фермы $L = 18$ м, высота фермы $H = 2.5$ м, количество панелей нижнего пояса $K = 6$, угол наклона фермы $\alpha_Z = 0$</p> 	По определению количества панелей (см. примечание 3)

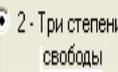
<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
3.5 Контроль правильности, созданной геометрической схемы фермы		Щелкните по кнопке «Нарисовать». На закладке должен отобразиться рисунок 	<i>Также см. примечание 4</i>
3.6 Создание геометрической схемы фермы	 	Если схема создана верно, щелкните на кнопку <i>применить</i> . Созданная геометрическая схема отобразится на экране. Закройте окно «Создание ферм»	<i>Если допущены ошибки, необходимо их исправить на данной закладке или вернувшись на предыдущие. Также см. примечание 5</i>
3.7 Сохранение данных		В диалоговом окне «Сохранить активный документ» задайте папку, в которую будет сохранена эта задача	<i>С помощью открывшегося окна «Сохранить как» найдите Вашу рабочую папку и сохраните файл в эту папку</i>
4 Задание граничных условий			
4.1 Вывод на экран номеров узлов	   	Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Узлы». После этого отметьте опцию Номера узлов и щелкните по кнопке Перерисовать	<i>На расчетной схеме отобразятся номера узлов</i>
4.2 Выделение узла 1		Активизируйте режим отметки узлов. Выделите узел 1 (левый нижний узел), щелкнув по нему левой кнопкой мыши	<i>Узел окрасится в красный цвет</i>
4.3 Задание граничных условий в узле 1		В диалоговом окне «Связи в узлах» активизируйте закладку «Назначить связи», отметьте направление Z, по которому запрещено перемещение узла, передвиньте бегунок «Визуализация связей» в крайнее правое положение и щелкните по кнопке Применить	<i>На узле 1 появится пиктограмма  (см. примечание б) Исключение одной линейной степени свободы узла моделирует шарнирно-подвижную опору</i>
4.4 Выделение узла 7		Выделите узел 7 (правый нижний узел)	<i>Узел окрасится в красный цвет</i>

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

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
7 Задание нагрузок			
Формирование загрузки № 1 (симметричное загрузке)			
7.1 Задание имени загрузке		Выполните команды меню: Нагрузки ➤ Выбор загрузки № . В диалоговом окне «Активное загрузке» задайте имя загрузке 1 – <i>Симметричное загрузке</i> . Подтвердите имя загрузке щелчком по кнопке Применить	<i>Номер активного загрузке отражается в окне «Загрузке»:</i> 
7.2 Выделение узлов 9-19		Активируйте режим отметки узлов. Выделите узлы 9-19 (средние узлы верхнего пояса фермы)	<i>Проце всего выделить узлы, растянув вокруг них «резиновое окно»</i>
7.3 Задание сосредоточенных узловых нагрузок $P = 28.3$ кН на выделенные узлы 9-19	   	В диалоговом окне «Задание нагрузок» активируйте закладку «Нагрузки в узлах». Укажите (или проверьте) опции кнопок – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке сосредоточенной узловой нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры нагрузки». В этом окне введите значение нагрузки $P = 28.3$ кН и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить	<i>После выполнения команд по заданию нагрузки на рабочем экране отобразятся нагрузки на средние узлы верхнего пояса фермы</i> 
7.4 Выделение узлов 8, 20		Выделите узлы 8, 20 (крайние узлы верхнего пояса фермы)	
7.5 Задание сосредоточенных узловых нагрузок $0.5P = 14.15$ кН на выделенные узлы № 8, 20	  	В диалоговом окне «Задание нагрузок» заново активируйте закладку «Нагрузки в узлах». Щелчком по кнопке сосредоточенной узловой нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры нагрузки». В этом окне введите значение нагрузки $P = 14.15$ кН и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить	<i>После выполнения команд на схеме фермы добавятся нагрузки на крайние узлы верхнего пояса фермы</i>
Формирование загрузки № 2 (несимметричное загрузке)			
7.6 Смена номера текущего загрузке	 	В диалоговом окне «Активное загрузке» с помощью переключателя выберите номер загрузке – 2 и задайте имя нового загрузке – <i>Несимметричное загрузке</i> . Щелкните по кнопке Применить	<i>Номер активного загрузке можно поменять через окно «Загрузке».</i>  <i>Но в этом окне нельзя задать новое имя загрузке</i>

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
7.7 Выделение узлов 9-13		Выделите узлы 9-13 (средние узлы верхнего пояса левой половины фермы)	
7.8 Задание сосредоточенных узловых нагрузок $P = 28.3$ кН на выделенные узлы 9-13	 	В диалоговом окне «Задание нагрузок» активизируйте закладку «Нагрузки в узлах». Щелчком по кнопке сосредоточенной узловой нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры нагрузки». В этом окне введите значение нагрузки $P = 28.3$ кН и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить	<i>После выполнения команд по заданию нагрузки на рабочем экране отобразятся нагрузки, приложенные к узлам 9-13</i>
7.9 Выделение узлов 8, 14		Выделите узлы 8, 14 (крайние левой половины верхнего пояса фермы)	
7.10 Задание сосредоточенных узловых нагрузок $0.5 P = 14.15$ кН на выделенные узлы 8, 14	 	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 $P = 14.15$ кН и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить	<i>После выполнения команд на схеме фермы добавятся нагрузки, приложенные к узлам 8, 14</i>
7.11 Завершение операции задания нагрузок		Закройте диалоговое окно «Задание нагрузок»	
8 Расчет плоской фермы МКЭ			
8.1 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Выполнить расчет . В отрывшемся окне «Параметры расчетного процессора» щелкните по кнопке Подтвердить . Проигнорируйте появившееся в новом окне предупреждение об отсутствии данных о материалах и параметрах конструирования, щелкнув по кнопке ОК . (Подробно параметры расчетного процессора будут описаны в разделе 4). Откроется окно расчета программы. В случае успешного расчета, программа вернется в режим «Расчетная схема»	<i>Если в процессе формирования расчетной модели допущены ошибки, в конце расчета появится сообщение ЗАДАНИЕ НЕ ВЫПОЛНЕНО. В этом случае необходимо закрыть текущее окно и исправить допущенные ошибки (см. примечание 7)</i>
8.2 Переход в режим Результаты расчета		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Результаты расчета	

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
9 Вывод результатов расчета			
Вывод графического изображения расчетной схемы фермы			
9.1 Вывод на экран недеформированной схемы		Уберите с экрана деформированное положение фермы. Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Схема ► Исходная схема	
9.2 Вывод на экран графического контейнера		Если на экране отсутствует «окно графического контейнера», в команде меню Окно отметьте галочкой Графический контейнер <input checked="" type="checkbox"/> Графический контейнер	<i>В правой части экрана появится окно графического контейнера (см. примечание 8)</i>
9.3 Добавление недеформированной расчетной схемы в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в окне графического контейнера	<i>В окне графического контейнера появится рисунок расчетной схемы (см. также примечание 9)</i>
9.4 Перенос изображения недеформированной расчетной схемы в буфер обмена		Сделайте изображение расчетной схемы в окне графического контейнера активным, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. Далее щелкните по кнопке копировать в этом же окне	<i>Изображение расчетной схемы перенесется в буфер обмена, откуда его можно вставить в программу обработки результатов расчета (см. примечание 10)</i>
Формирование результатов расчета в табличном виде			
9.5 Выделение элементов левой половины фермы		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите все элементы левой половины фермы, растянув вокруг схемы фермы «резиновое окно»	<i>Для симметричного нагружения и симметричной расчетной схемы усилия в элементах правой половины будут такими же, как и в левой (зеркально отразятся)</i>
9.6 Вывод на экран таблицы усилий для элементов левой половины фермы (для первого варианта нагружения)		Щелкните по кнопке инструмента «Интерактивные таблицы» на панели Выбор . В открывшемся окне редактора форм выберите в списке опцию «Усилия (стержни)» и щелкните по кнопке «Таблицу на экран». Отметьте в новом окне опцию «Для выбранных элементов» и нажмите на кнопку «Создать» (номер нагружения должен быть 1). На экране появится таблица усилий для элементов левой половины фермы	

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
9.7 Добавление первой таблицы усилий в окно графического контейнера		В созданной таблице усилий выполните команду меню Файл ► Копировать для документа . Закройте таблицу и окно редактора форм	<i>Таблица усилий копируется в окно графического контейнера (см. также примечание 11)</i>
9.8 Отмена выделения элементов фермы		Щелкните по кнопке инструмента на панели Выбор (другой вариант – команды меню Выбор ► Отмена выделения)	
9.9 Вывод на экран таблицы усилий для всех элементов фермы (для второго варианта загрузки)		Щелкните по кнопке инструмента на панели Выбор . В открывшемся окне редактора форм выберите в списке опцию «Усилия (стержни)» и щелкните по кнопке «Таблицу на экран». Отметьте в новом окне опции: «Для всех элементов», номер загрузки – 2 и нажмите на кнопку «Создать». На экране появится таблица внутренних усилий в элементах фермы для второго варианта загрузки	
9.8 Добавление второй таблицы усилий в окно графического контейнера		В созданной таблице усилий выполните команду меню Файл ► Копировать для документа . Закройте таблицу и окно редактора форм	<i>Таблица усилий для второго варианта загрузки копируется в окно графического контейнера</i>
9.9 Копирование результатов		Скопируйте все содержимое графического контейнера в программу MathCAD	
10 Расчет и анализ полученных результатов фермы при жестком сопряжении элементов			
Изменение признака схемы			
10.1 Переход в режим «Расчетная схема»		Выполните команду меню Режим ► Расчетная схема	<i>В режиме «Результаты расчета» невозможно изменить признак схемы</i>
10.2 Изменение признака схемы		Откройте диалоговое окно «Признак схемы», выполнив команды Схема ► Признак схемы . Выберите в этом окне признак № 2 – три степени свободы и подтвердите выбор	
Расчет плоской фермы МКЭ при жестком сопряжении элементов			
10.3 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим ► Выполнить расчет	
10.4 Переход в режим Результаты расчета		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим ► Результаты расчета	

Вывод результатов расчета

10.5 Выведите таблицы с усилиями в графический контейнер и далее в файл программы «MathCAD» аналогично тому, как это было сделано в предыдущем расчете фермы. Дополнительно выведите на экран эпюры изгибающих моментов и поперечных сил с помощью кнопки  и далее кнопок Q_z , M_y . Результаты расчетов должны показать, что значения продольных сил в ферме изменились незначительно, а изгибающие моменты и поперечные силы имеют малые значения

Сохраните результаты своей работы и закройте ПК «ЛИРА»

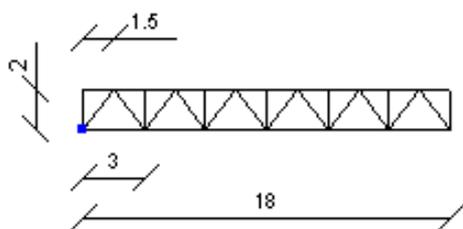
Примечания:

1) В выбранной расчетной схеме (признак № 1) каждый узел обладает двумя степенями свободы – линейные перемещения по осям Ox , Oz . Данная расчетная схема позволяет рассчитывать плоские шарнирно соединенные стержневые конструкции, к которым относятся плоские фермы.

2) Диалоговое окно «Создание ферм» имеет три закладки: а) выбор фермы по очертанию поясов; б) выбор фермы по очертанию решетки; в) параметры фермы. При начальном открытии окна видима только первая закладка. После выбора очертания поясов становится активной вторая закладка – выбор решетки, после выбора решетки на экране отображается закладка по выбору параметров фермы. В дальнейшем при изменении исходных данных можно свободно переключаться между всеми тремя закладками.

3) Количество панелей нижнего пояса K рассчитывается как отношение пролета фермы к длине стандартной панели (по заданию 3 м), т.е. $K = 18/3 = 6$.

4) !!!Разделитель дробной части в ПК «ЛИРА» – точка. Если высота фермы $H = 2,5$ м будет набрана через запятую, то будет допущена ошибка, на которую, к сожалению, ПК «ЛИРА» напрямую не указывает. Геометрическая схема будет в этом случае иметь вид.



Высота фермы будет задана 2 м. Дробная часть 0,5 будет проигнорирована.

5) Необходимо очень аккуратно относиться к действию *применить* – . Одна из самых распространенных ошибок – создание лишних копий (элементов, узлов, нагрузок и т.д.). Если в нашем случае ошибочно два раза щелкнуть по кнопке  – будут созданы две фермы, наложенные друг на друга. Искать такие ошибки трудоемко, а исправлять еще сложнее. Поэтому не надо торопиться при создании расчетных моделей конструкций.

6) В последних версиях была введена возможность визуализации связей. Это очень важный момент с точки зрения контроля правильности

создания расчетной схемы. В приложении 3 дано описание визуализации связей.

7) Одна из наиболее типичных ошибок – расчетная модель представляет геометрически изменяемую конструкцию.

Три основные причины такой ошибки:

- а) неправильно выбран признак схемы;
- б) неправильно заданы условия закрепления опорных узлов;
- в) неправильно произведена стыковка отдельных КЭ и узлов (такая ошибка характерна для моделей, формируемых не по стандартным геометрическим шаблонам, а по отдельным узлам и КЭ).

Как исправить эти ошибки?

а) Проверить выбор признака схемы № 1 в диалоговом окне «Признак схемы» .

б) Выбрать последовательно опорные узлы и проверить закрепление с помощью команд **Выбор > Информация об узле**.

в) Провести упаковку схемы с помощью команд **Схема > Упаковка схемы** (или с помощью кнопки **упаковка схемы** , расположенной на панели корректировка).

8) Графический контейнер позволяет собирать копии экрана из различных окон приложения для их дальнейшей обработки. Он позволяет копировать изображения в другие приложения через буфер обмена, сохранять их как графические файлы, а также распечатывать.

9) При выводе расчетной схемы обратите внимание, чтобы на ней были отражены номера КЭ. Это потребуется в дальнейшем при анализе результатов расчета, представленных в табличном виде.

10) Все результаты расчета рамы (рисунки и таблицы) необходимо будет в дальнейшем перенести в программу MathCAD и соответствующим образом оформить. Пример оформления приведен в приложении 6.

11) 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**.

2. РАСЧЕТ БАЛОК В ПК «ЛИРА-САПР 2011»

2.1. Краткие сведения об определении внутренних усилий в балках

Подробные сведения об аналитических методах расчета балок можно найти в [3]. В данном подразделе приводятся основные сведения, без знания которых студент (пользователь программы) не сможет правильно выполнить расчет балок МКЭ и самое главное не сможет грамотно и все-

сторонне проанализировать результаты расчетов и отследить возможные ошибки.

Прямой брус, работающий на изгиб, называют балкой. В поперечных сечениях балок возникают поперечные силы Q_z и изгибающие моменты M_y . 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_z представляет собой сумму проекций на ось Oz всех внутренних касательных сил, возникающих в поперечном сечении.

Изгибающий момент M_y 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 сжаты 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_z и M_y :

$$\frac{dQ_z}{dx} = q; \quad \frac{dM_y}{dx} = Q_z; \quad \frac{d^2M_y}{dx^2} = q.$$

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 парабола 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.

4) В сечении, где поперечная сила равна нулю, изгибающий момент достигает экстремального значения (максимального или минимального).

5) В сечении, где приложена внешняя сосредоточенная сила, перпендикулярная к оси элемента, эпюра Q имеет скачок на величину этой силы, а эпюра M – излом (смежные участки эпюры не имеют плавного сопряжения).

6) В сечении, где приложен внешний сосредоточенный момент, эпюра M имеет скачок на величину этого момента. На эпюре Q это не отражается.

7) В сечении, где начинается или заканчивается распределенная нагрузка (при условии, что в этом сечении не приложена сосредоточенная сила), эпюра изгибающих моментов не имеет излома, парабола и прямая в этой точке имеют общую касательную.

Одним из наиболее важных правил, приведенных выше, является правило 4. С помощью этого правила находится ордината сечения, где возникает максимальный изгибающий момент, по которому в дальнейшем будет выполняться подбор или проверка сечения балки.

2.2. Пример расчета балки

2.2.1. Исходные данные

Выполним статический расчет однопролетной шарнирно-опертой балки пролетом 6 м (рис. 2.1). На балку действуют нагрузки:

- а) равномерно-распределенная по линии нагрузка $q = 1$ кН/м;
- б) сосредоточенная нагрузка $P = 8$ кН.

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

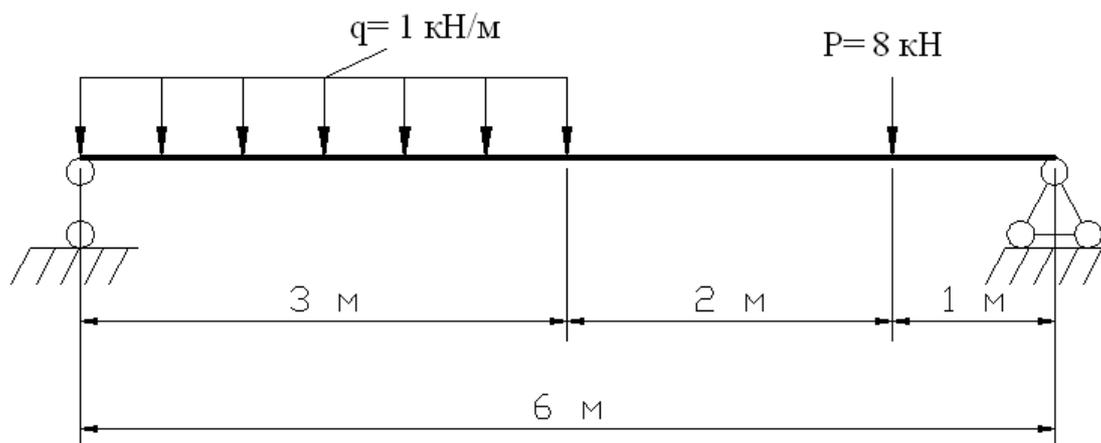
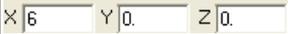


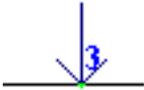
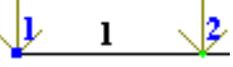
Рис. 2.1. Расчетная схема балки

2.2.2. Порядок расчета балки

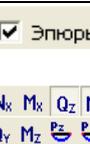
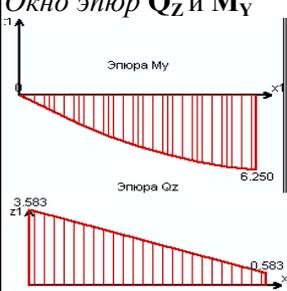
Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
Запуск системы ЛИРА-САПР 2011		Выполните команды Windows: Пуск ► Программы ► Lira-SAPR ► ЛИРА-САПР 2011 ► ЛИРА-САПР	
1 Создание новой задачи		В диалоговом окне «Описание схемы» задайте имя задачи: «Балка», введите описание задачи «Статический расчет балки», отметьте признак схемы: «2»	
2 Задание единиц измерения		Выполните команды меню Опции ► Единицы измерения . В диалоговом окне «Единицы измерения» установите размерности, соответствующие системе СИ. Подтвердите выбор новых размерностей, щелкнув по кнопке «подтвердить»	Закладка «Схема»: геометрия – м, сечения – см, нагрузки – кН и м, параметры материала – МПа. Закладка «Результаты расчета»: перемещения – см, напряжения – Мпа, усилия – кН и м
3 Создание геометрической схемы балки			
3.1 Открытие окна «Добавить узел», создание первого узла		Откройте диалоговое окно «Добавить узел», выполнив команды меню: Создание ► Добавить узел . Щелкните на пиктограмму "Применить"  – будет создан первый узел, координаты которого совпадают с началом глобальной системы координат	См. примечание 1
3.2 Создание остальных узлов балки		Создайте еще три узла, последовательно вводя их координаты (3,0,0), (5,0,0), (6,0,0) и нажимая на пиктограмму  . Закройте окно создания узлов	 В координатах узлов изменяется значение только по оси X
3.3 Вывод на экран номеров узлов (контроль правильности создания)	   	Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Узлы». После этого отметьте опцию Номера узлов и щелкните по кнопке Перерисовать	<i>На расчетной схеме отобразятся номера четырех узлов</i>  См. примечание 2

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
3.4 Создание конечных элементов		Откройте диалоговое окно «Добавить элемент», выполнив команды меню: Создание ➤ Добавить элемент . Щелкните кнопкой мыши на первый узел – за мышкой потянется линия, щелкните на узел №2 – появится отрезок (КЭ), соединяющий узлы 1 и 2. Последовательно щелкните левой кнопкой мыши на узлы 2 и 3, 3 и 4. Будут созданы второй и третий КЭ	Для создания КЭ необходимо по возможности наиболее точно щелкать по узлам. При щелчке в точку, удаленную от узла, КЭ создаваться не будет. Альтернативный вариант создания элемента – растянуть вокруг двух узлов «резиновое окно»
3.5 Вывод на экран номеров элементов	  	Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Элементы». После этого выберите команду Номера элементов и щелкните по кнопке Перерисовать	<i>На расчетной схеме отобразятся номера элементов</i> 
3.6 Сохранение данных		В диалоговом окне «Сохранить как» задайте папку, в которую будет сохранена эта задача	<i>С помощью открывшегося окна «Сохранить как» найдите Вашу рабочую папку и сохраните файл в эту папку</i>
4 Задание граничных условий			
4.1 Выделение узла 1		Активизируйте режим отметки узлов. Выделите узел 1, щелкнув по нему левой кнопкой мыши	<i>Узел окрасится в красный цвет</i>
4.2 Задание граничных условий в узле 1		В диалоговом окне «Связи в узлах» активизируйте закладку «Назначить связи», отметьте направление Z, по которому запрещено перемещение узла, передвиньте бегунок «Визуализация связей» в крайнее правое положение и щелкните по кнопке Применить	<i>На узле 1 появится пиктограмма . Исключение одной линейной степени свободы узла моделирует шарнирно-подвижную опору</i>
4.3 Выделение узла 4		Выделите узел 4	<i>Узел окрасится в красный цвет</i>
4.4 Задание граничных условий в узле 4		В диалоговом окне «Связи в узлах» отметьте направления, по которым запрещено перемещение узла (X, Z) и щелкните по кнопке Применить . Закройте окно «Связи в узлах», щелкнув по кнопке 	<i>На узле 4 появится пиктограмма . Исключение двух линейных степеней свободы узла моделирует шарнирно-неподвижную опору</i>

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
5 Формирование жесткости элементов из библиотеки жесткостных характеристик			
5.1 Вывод на экран окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы»	
5.2 Выбор типа сечения «Двутавр»		Щелкните по кнопке Добавить и, выбрав закладку «База металлических сечений», активизируйте сечение «Двутавр»	<i>Для того чтобы вызвать окно задания номера двутавр, дважды щелкните на пиктограмме двутавра</i>
5.3 Задание параметров сечения «Двутавр» для всех элементов балки		В диалоговом окне «Стальное сечение» выберите в поле «Сортамент» – двутавр с непараллельными гранями полок в поле «Профиль» – Двутавр 20 , комментарий – сечение . Подтвердите задание типа жесткости, щелкнув по кнопке ОК	<i>Поле файл сортамента заполнится автоматически</i>
6 Назначение жесткостей элементам балки			
6.1 Установление жесткости «двутавр 20 сечение» текущей		Выделите жесткость в окне списка и щелкните по кнопке Назначить текущим	<i>В окне «Жесткость» отобразится выбранная жесткость</i>
6.2 Выделение элементов		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите все элементы балки, растянув вокруг схемы балки «резиновое окно» (другой вариант – одновременное нажатие клавиш Ctrl + A)	<i>Выделенные элементы окрашиваются в красный цвет</i>
6.3 Назначение элементам текущего типа жесткости		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Назначить	<i>С элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость</i>
6.4 Закрытие диалогового окна «Жесткости элементов»		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Закреть	
7 Задание нагрузок			
Задание сосредоточенной нагрузки			
7.1 Выделение узла 3		Активизируйте режим отметки узлов. Выделите узел 3	<i>Проще всего выделить узел, растянув вокруг него «резиновое окно»</i>

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
7.3 Задание сосредоточенной узловой нагрузки $P = 5$ кН на выделенный узлы 3	   	В диалоговом окне «Задание нагрузок» активизируйте закладку «Нагрузки в узлах». Укажите (или проверьте) опции кнопок – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке сосредоточенной узловой нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры нагрузки». В этом окне введите значение нагрузки $P = 8$ кН и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить	<p>После выполнения команд по заданию нагрузки на рабочем экране отобразится нагрузка, приложенная к третьему узлу</p> 
Задание равномерно-распределенной нагрузки			
7.4 Выделение элемента 1		Выделите элемент 1	
7.5 Задание распределенной нагрузки q на выделенный элемент 1	  	В диалоговом окне «Задание нагрузок» активизируйте закладку «Нагрузки на стержни». Укажите (или проверьте) опции кнопок – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры». В этом окне введите интенсивность $p = 1$ кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить	<p>После выполнения команд по заданию постоянной нагрузки на рабочем экране отобразится нагрузка на элемент 1</p> 
7.6 Завершение операции задания нагрузок		Закройте диалоговое окно «Задание нагрузок»	
8 Расчет балки МКЭ			
8.1 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Выполнить расчет . В отрывшемся окне «Параметры расчетного процессора» щелкните по кнопке Подтвердить . Пройгнорируйте появившееся в новом окне предупреждение об отсутствии данных о материалах и параметрах конструирования, щелкнув по кнопке ОК . Откроется окно расчета программы. В случае успешного расчета, программа вернется в режим «Расчетная схема»	<p>Если в процессе формирования расчетной модели допущены ошибки, в конце расчета появится сообщение ЗАДАНИЕ НЕ ВЫПОЛНЕНО. В этом случае необходимо закрыть текущее окно и исправить допущенные ошибки</p>

8.2 Переход в режим Результаты расчета		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим ► Результаты расчета																															
<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>																														
9 Вывод результатов расчета																																	
Вывод графического изображения расчетной схемы балки																																	
9.1 Вывод на экран недеформированной схемы		Уберите с экрана деформированное положение балки. Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Схема ► Исходная схема																															
9.2 Вывод на экран графического контейнера		Если на экране отсутствует «окно графического контейнера», в команде меню Окно отметьте галочкой Графический контейнер <input checked="" type="checkbox"/> Графический контейнер																															
9.3 Добавление недеформированной расчетной схемы в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в окне графического контейнера	<i>В окне графического контейнера появится рисунок расчетной схемы</i>																														
9.4 Перенос изображения недеформированной расчетной схемы в буфер обмена		Сделайте изображение расчетной схемы в окне графического контейнера активным, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. Далее щелкните по кнопке копировать в этом же окне	<i>Изображение расчетной схемы переносится в буфер обмена, откуда его можно вставить в программу обработки результатов расчета (см. примечание 3)</i>																														
Формирование результатов расчета в табличном виде																																	
9.5 Вывод на экран таблицы усилий для элементов балки		Щелкните по кнопке инструмента «Интерактивные таблицы» на панели Выбор . В открывшемся окне редактора форм выберите в списке опцию «Усилия (стержни)» и щелкните по Применить . В появившемся окне «Создание таблицы» подтвердите выбор: «для всех элементов», «для одного нагружения №1». На экране появится таблица усилий для всех элементов балки	<table border="1"> <caption>Таблица усилий</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ элем</th> <th rowspan="2">№ сечен</th> <th colspan="2">Усилия</th> </tr> <tr> <th>И_x (кН*м)</th> <th>Q_x (кН)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0.000</td> <td>3.583</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>6.250</td> <td>0.583</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>1</td> <td>6.250</td> <td>0.583</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2</td> <td>7.417</td> <td>0.583</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1</td> <td>7.417</td> <td>-7.417</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2</td> <td>0.000</td> <td>-7.417</td> </tr> </tbody> </table>	№ элем	№ сечен	Усилия		И _x (кН*м)	Q _x (кН)	1	1	0.000	3.583	1	2	6.250	0.583	2	1	6.250	0.583	2	2	7.417	0.583	3	1	7.417	-7.417	3	2	0.000	-7.417
№ элем	№ сечен	Усилия																															
		И _x (кН*м)	Q _x (кН)																														
1	1	0.000	3.583																														
1	2	6.250	0.583																														
2	1	6.250	0.583																														
2	2	7.417	0.583																														
3	1	7.417	-7.417																														
3	2	0.000	-7.417																														
9.6 Добавление таблицы усилий в окно графического контейнера		В созданной таблице усилий выполните команду меню Файл ► Копировать для документа . Закройте таблицы и окно редактора форм	<i>Таблица усилий копируется в окно графического контейнера</i>																														
Формирование результатов расчета в графическом виде (эпюры усилий)																																	

9.7 Вывод на экран панели Эпюры		Панель Эпюры вызывается щелчком по кнопке инструмента с панели Перемещения и напряжения . Обычно она появляется в самом низу экрана	
<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
9.8 Вывод на экран эпюры M_Y		Щелкните по кнопке инструмента на панели Эпюры	На экране отобразится эпюра изгибающих моментов
9.9 Вывод на экран значений усилий на эпюрах		Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Значения». Отметьте опцию Значения на эпюрах и щелкните по кнопке Перерисовать	На эпюре изгибающих моментов отобразится значение усилий в начальных и конечных сечениях элементов (см. примечание 4)
9.10 Добавление эпюры моментов в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в окне графического контейнера	В окне графического контейнера появится изображение эпюры моментов
9.11 Вывод на экран эпюры Q_Z		Щелкните по соответствующей кнопке инструмента на панели Эпюры	На экране отобразится эпюра поперечных сил
9.12 Добавление эпюры поперечных сил в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в окне графического контейнера	В окне графического контейнера появится изображение эпюры поперечных сил
9.13 Вывод на экран информационного окна для элемента №1		Щелкните сначала по кнопке «Информация об узле или элементе», а затем по элементу 1. На экране отобразится окно информации для указанного элемента	Другой вариант – команды меню: Выбор > Информация об элементе > №1 > подтвердить
9.14 Вывод на экран эпюр Q_Z и M_Y для элемента №1	<input checked="" type="checkbox"/> Эпюры 	Отметьте в информационном окне опцию «Эпюры». В открывшемся окне снимите щелчками мыши выделение всех эпюр, кроме Q_Z и M_Y	Окно эпюр Q_Z и M_Y 
9.15 Добавление эпюр Q_Z и M_Y для элемента 1 в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в информационном окне «Эпюры усилий»	В окне графического контейнера появится изображение эпюр Q_Z и M_Y для элемента 1 поперечных сил

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
9.16 Вывод графической информации для элементов 2 и 3		Повторите операции, описанные в п. 9.11-9.13 для элементов 2 и 3	<i>В результате в окне графического контейнера должны быть отображены эпюры внутренних усилий для всех элементов</i>
Вывод результатов расчета			
9.17 Перенесите все результаты расчетов в файл программы MathCAD аналогично тому, как это было сделано в предыдущем расчете балки			
Сохраните результаты своей работы и закройте ПК «ЛИРА-САПР 2011»			

Примечания:

1) Расчет балок МКЭ в линейной постановке дает точное решение, совпадающее с аналитическим решением. Поэтому выбор количества КЭ (узлов) для балок в основном связан с удобством ввода исходных данных и анализом результатов расчета. Обычно удобно создавать узлы (делить на КЭ), так чтобы они совпадали с сечениями, где находятся опоры балки, приложены сосредоточенные нагрузки, начинается или заканчивается действие распределенных нагрузок.

2) У начинающих пользователей возможна типичная ошибка – создание нескольких узлов в одной точке. На экране будет наложение номеров узлов. Удалить лишние узлы можно с помощью команд **Схема** ► **Упаковка схемы** (или с помощью кнопки **упаковка схемы** , расположенной на панели корректировка).

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.

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 (перекрытие 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 загрузки:

- 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).

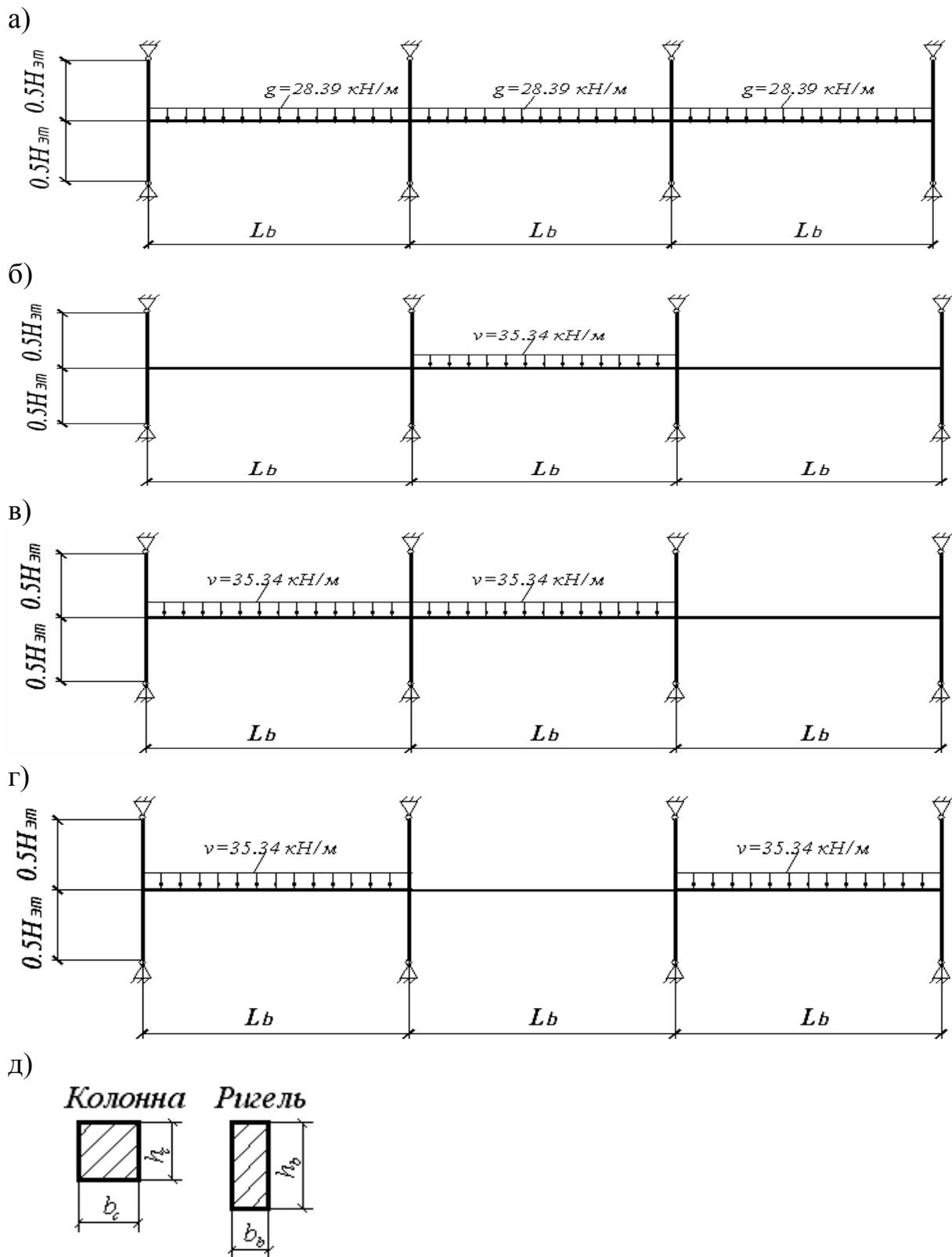


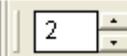
Рис. 3.1. Схема рамы: а – первый вариант загрузки; б – второй вариант загрузки; в – третий вариант загрузки; г – четвертый вариант загрузки; д – сечение элементов

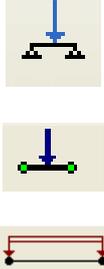
3.2.2. Порядок расчета рамы

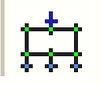
<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>																
Запуск системы ЛИРА-САПР 2011		Выполните команды Windows: Пуск > Программы > Lira-SAPR > ЛИРА-САПР 2011 > ЛИРА-САПР																	
1 Создание новой задачи		В диалоговом окне «Признак схемы» задайте имя задачи: «Плоская рама», введите комментарий «Поперечная рама каркасного здания», отметьте признак схемы: «2»																	
2 Задание единиц измерения		Выполните команды меню Опции > Единицы измерения . В диалоговом окне «Единицы измерения» установите размерности, соответствующие системе СИ. Подтвердите выбор новых размерностей, щелкнув по кнопке «подтвердить»	Закладки «Схема»: геометрия – м, сечения – см, нагрузки – кН и м параметры материала – МПа. Закладка «Результаты расчета»: перемещения – см, напряжения – Мпа, усилия – кН и м. Закладка «Арматура»: диаметр арматуры – мм, площадь арматуры – см, вес арматуры – кг, ширина раскрытия трещин - мм, площадь опалубки – м																
3.Создание геометрической схемы рамы																			
3.1 Генерация 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. <table border="1" data-bbox="579 1608 1110 1749"> <thead> <tr> <th colspan="2">Шаг вдоль первой оси</th> <th colspan="2">Шаг вдоль второй оси</th> </tr> <tr> <th>Значение</th> <th>Количество</th> <th>Значение</th> <th>Количество</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L(м)</td> <td>N</td> <td>L(м)</td> <td>N</td> </tr> <tr> <td>7.00</td> <td>3</td> <td>2.10</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> После этого щелкните по кнопке Применить . Закройте окно «Создание плоских фрагментов и сетей», щелкнув по кнопке 	Шаг вдоль первой оси		Шаг вдоль второй оси		Значение	Количество	Значение	Количество	L(м)	N	L(м)	N	7.00	3	2.10	2	
Шаг вдоль первой оси		Шаг вдоль второй оси																	
Значение	Количество	Значение	Количество																
L(м)	N	L(м)	N																
7.00	3	2.10	2																

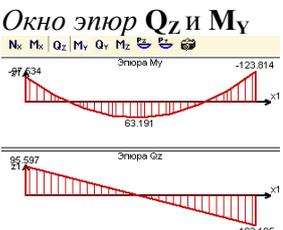
<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
3.2 Выбор «лишних» элементов (несуществующее покрытие)		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите три верхних горизонтальных элемента, последовательно щелкнув на них мышью. Выделенные элементы должны окраситься в красный цвет (цвет выделенных элементов и узлов, принятый в программе по умолчанию)	<i>Другой вариант выделения элементов (узлов) – растягивание вокруг нужных элементов (узлов) "резинового окна". Если по ошибке выделен другой элемент – еще раз щелкните по нему (выделение исчезнет)</i>
3.3 Удаление «лишних» элементов		Щелчок на эту кнопку удалит выделенные элементы	<i>Другой вариант удаления выделенных объектов – нажатие клавиши Delete на клавиатуре</i>
3.4 Сохранение данных		В диалоговом окне «Сохранить активный документ» задайте папку, в которую будет сохранена эта задача	
4 Задание граничных условий			
4.1 Вывод на экран номеров узлов		Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Узлы». После этого отметьте опцию Номера узлов и щелкните по кнопке Перерисовать	<i>На расчетной схеме отобразятся номера узлов</i>
4.2 Выделение узлов 1-4, 9-12		Активизируйте режим отметки узлов. Выделите узлы 1-4, 9-12	<i>Узлы окрашиваются в красный цвет</i>
4.3 Назначение граничных условий в выделенных узлах		В диалоговом окне «Связи в узлах» отметьте направления, по которым запрещено перемещение узла (X, Z), передвиньте бегунок «Визуализация связей» в крайнее правое положение и щелкните по кнопке Применить . Закройте окно «Связи в узлах», щелкнув по кнопке 	<i>На узлах с номерами 1-4, 9-12 появится пиктограмма . Исключение двух линейных степеней свободы узла моделирует шарнирно-неподвижную опору</i>
5 Формирование типов жесткости из библиотеки жесткостных характеристик			
5.1 Вывод на экран окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы»	
5.2 Выбор типа сечения «Брус»	 Брус	Щелкните по кнопке Добавить и, выбрав закладку «Стандартные типы сечений», активизируйте сечение «Брус»	<i>Для того чтобы вызвать окно задания параметров сечения, дважды щелкните на пиктограмме сечения</i>

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
5.3 Задание параметров сечения «Брус» для вертикальных элементов рамы (колонн)		В диалоговом окне «Задание стандартного сечения» введите параметры сечения: модуль упругости – $E = 27\,000$ Мпа; геометрические размеры – $B = 40$ см; $H = 40$ см, комментарий – колонна . Подтвердите задание типа жесткости, щелкнув по кнопке «подтвердить»	<i>Комментарии особенно важны, когда ведется расчет конструкций с несколькими типами жесткостей, и важно не напутать при присвоении их элементам</i>
5.4 Задание параметров сечения «Брус» для горизонтальных элементов рамы (ригелей)		Активизируйте окно «Задание стандартного сечения» двойным щелчком по пиктограмме сечения «Брус». Занесите параметры нового сечения: модуль упругости – $E = 27\,000$ Мпа; геометрические размеры – $B = 25$ см; $H = 60$ см, комментарий – ригель . Подтвердите задание типа жесткости, щелкнув по кнопке «подтвердить»	<i>Если была допущена ошибка при задании жесткостных параметров сечений, необходимо выбрать редактируемую жесткость в окне списков и щелчком по кнопке «изменить» войти в режим редактирования</i>
6 Назначение жесткостей элементам рамы			
6.1 Назначение типа жесткости «1.Брус 40x40» колоннам		Выделите нужную жесткость в окне списка и щелкните по кнопке Назначить текущим	<i>В окне текущего типа отобразится выбранная жесткость</i>
6.2 Выделение вертикальных элементов		Выделите вертикальные элементы, последовательно щелкнув на них или растянув вокруг вертикальных элементов «резиновое окно»	<i>Выделенные элементы окрашиваются в красный цвет (см. примечание 1)</i>
6.3 Назначение выделенным элементам текущего типа жесткости		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Назначить	<i>С элементов снимается выделение. Это свидетельство того, что выделенным элементам присвоена текущая жесткость</i>
6.4 Назначение типа жесткости «2.Брус 25x60» ригелям		Выделите нужную жесткость в окне списка и щелкните по кнопке Назначить текущим	
6.5 Выделение горизонтальных элементов		Выделите горизонтальные элементы, растянув вокруг них «резиновое окно»	
6.6 Назначение выделенным элементам текущего типа жесткости		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Назначить	

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
6.7 Закрытие диалогового окна «Жесткости и материалы»		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Закреть	
7 Задание нагрузок			
Формирование загрузки № 1 (постоянная нагрузка)			
7.1 Задание имени загрузению		Откройте диалоговое окно «Активное загрузка». Задайте имя загрузки 1 – постоянная нагрузка. Подтвердите имя загрузки щелчком по кнопке Применить	Номер активного загрузка отражается в окне «Загрузка»: 
7.2 Вывод на экран номеров элементов	  	Щелчком на кнопку «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Элементы». После этого выберите команду Номера элементов и щелкните по кнопке Перерисовать	На расчетной схеме отобразятся номера элементов
7.3 Выделение элементов № 9, 10 и 11		Выделите горизонтальные элементы 9, 10 и 11	
7.4 Задание постоянной нагрузки g на выделенные элементы № 9, 10 и 11	  	В диалоговом окне «Задание нагрузок» активизируйте закладку «Нагрузки на стержни». Укажите (или проверьте) опции кнопок – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры». В этом окне введите интенсивность $g = 28.39$ кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить	После выполнения команд по заданию постоянной нагрузки на рабочем экране отобразится нагрузка на горизонтальные элементы 
Формирование загрузки № 2 (временная нагрузка в среднем пролете)			
7.5 Смена номера текущего загрузения		В диалоговом окне «Активное загрузка» задайте номер и имя нового загрузения – 2, временная нагрузка-схема 1	Номер активного загрузения можно поменять через окно «Загрузка».  Но в этом окне нельзя задать новое имя загрузению
7.6 Выделение элемента 10		Выделите элемент 10	

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
7.7 Задание временной нагрузки v на выделенный элемент 10		<p>В диалоговом окне «Задание нагрузок» активизируйте закладку «Нагрузки на стержни». Проверьте опции кнопок – система координат «Глобальная», направление – вдоль оси «Z». Щелчком по кнопке равномерно распределенной нагрузки вызовите диалоговое окно «Параметры». В этом окне введите интенсивность $v = 35.34$ кН/м и подтвердите ввод. После этого в диалоговом окне «Задание нагрузок» щелкните по кнопке Применить. Далее по аналогии задайте временную нагрузку для третьего и четвертого нагружения</p>	
Формирование нагружения № 3 (временная нагрузка в двух первых пролетах)			
7.8 Смена номера текущего нагружения		<p>В диалоговом окне «Активное нагружение» задайте номер и имя нового нагружения – 3, <i>временная нагрузка – схема 2</i></p>	
7.9 Выделение элементов 9 и 10		<p>Выделите элементы 9 и 10</p>	
7.10 Задание временной нагрузки v на выделенные элементы 9 и 10		<p>В диалоговом окне «Задание нагрузок» должно остаться значение временной нагрузки $v = 35.34$ кН/м, поэтому далее достаточно просто щелкнуть по кнопке Применить</p>	<p>Если Вы все-таки нечаянно закрыли диалоговое окно «Задание нагрузок», повторите действия в п. 7.7</p>
Формирование нагружения № 4 (временная нагрузка в двух крайних пролетах)			
7.11 Смена номера текущего нагружения		<p>В диалоговом окне «Активное нагружение» задайте номер и имя нового нагружения – 4, <i>временная нагрузка – схема 3</i></p>	
7.12 Выделение элементов 9 и 11		<p>Выделите элементы 9 и 11</p>	
7.13 Задание временной нагрузки v на выделенные элементы 9 и 11		<p>В диалоговом окне «Задание нагрузок» должно остаться значение временной нагрузки $v = 35.34$ кН/м, поэтому далее достаточно просто щелкнуть по кнопке Применить</p>	<p>Если Вы все-таки нечаянно закрыли диалоговое окно «Задание нагрузок», повторите действия в п. 7.7</p>
7.14 Завершение операции задания нагрузок		<p>Закройте диалоговое окно «Задание нагрузок»</p>	

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
8 Расчет рамы МКЭ			
8.1 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Выполнить расчет . В отрывшемся окне «Параметры расчетного процессора» щелкните по кнопке Подтвердить . Пройгнорируйте появившееся в новом окне предупреждение об отсутствии данных о материалах и параметрах конструирования, щелкнув по кнопке ОК . Откроется окно расчета программы. В случае успешного расчета, программа вернется в режим «Расчетная схема»	
8.2 Переход в режим Результаты расчета		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Результаты расчета	
9 Вывод результатов расчета			
9.1 Вывод на экран недеформированной схемы		Уберите с экрана деформированное положение рамы. Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Схема > Исходная схема	<i>См. примечание 2</i>
9.2 Вывод на экран графического контейнера		Если на экране отсутствует «окно графического контейнера», в команде меню Окно отметьте галочкой Графический контейнер <input checked="" type="checkbox"/> Графический контейнер	
9.3 Добавление недеформированной расчетной схемы в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в окне графического контейнера	<i>В окне графического контейнера появится рисунок расчетной схемы</i>
9.4 Перенос изображения недеформированной расчетной схемы в буфер обмена		Сделайте изображение расчетной схемы в окне графического контейнера активным, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. Далее щелкните по кнопке копировать в этом же окне	<i>Изображение расчетной схемы перенесется в буфер обмена, откуда его можно вставить в программу обработки результатов расчета</i>
9.5 Вывод на экран панели Эпюры		Панель Эпюры вызывается на экран щелчком по кнопке инструмента с панели Перемещения и напряжения	
9.6 Вывод на экран эпюры M_y		Щелкните по кнопке инструмента на панели Эпюры	<i>На экране отобразится эпюра изгибающих моментов</i>

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
9.7 Вывод на экран значений усилий на эпюрах		Щелчком по кнопке «Флаги рисования» откройте диалоговое окно «Показать». Активизируйте закладку «Результаты». Отметьте опцию Значения на эпюрах и щелкните по кнопке Перерисовать	<i>На эпюре изгибающих моментов отобразится значение усилий в начальных и конечных сечениях элементов (см. примечание 8)</i>
9.8 Добавление эпюры моментов в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в окне графического контейнера	<i>В окне графического контейнера появится изображение эпюры моментов</i>
9.9 Вывод на экран эпюры Q_Z		Щелкните по соответствующей кнопке инструмента на панели Эпюры	<i>На экране отобразится эпюра поперечных сил</i>
9.10 Добавление эпюры поперечных сил в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в окне графического контейнера	<i>В окне графического контейнера появится изображение эпюры поперечных сил</i>
9.11 Вывод на экран информационного окна для элемента 9		Щелкните сначала по кнопке «Информация об узле или элементе», а затем по элементу 9. На экране отобразится окно информации для указанного элемента	<i>Другой вариант – команды меню: Выбор > Информация об элементе № 9 > подтвердить</i>
9.12 Вывод на экран эпюр Q_Z и M_Y для элемента 9	<input checked="" type="checkbox"/> Эпюры 	Отметьте в информационном окне опцию «Эпюры». В открывшемся окне снимите щелчками мыши выделение всех эпюр, кроме Q_Z и M_Y	
9.13 Добавление эпюр Q_Z и M_Y для элемента 9 в окно графического контейнера		Щелкните по кнопке инструмента в информационном окне «Эпюры усилий»	<i>В окне графического контейнера появится изображение эпюр Q_Z и M_Y для элемента 9 поперечных сил</i>
9.14 Вывод на экран таблицы усилий для элементов 9-11		Выделите одним из способов элементы 9-11. Щелкните по кнопке инструмента на панели Выбор . В открывшемся окне редактора форм 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	 <i>Альтернативный вывод таблицы усилий: вызвать контекстное меню, щелкнув правой кнопкой мыши на поле расчетной схемы, и выбрать команду «Интерактивные таблицы»</i>

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
9.15 Добавление таблицы усилий для элементов 9-11 в окно графического контейнера		В созданной таблице усилий выполните команду меню Файл ► Копировать документ	<i>Таблица усилий копируется в окно графического контейнера (см. также примечание 4)</i>
9.16 Завершение работы		Скопируйте все содержимое графического контейнера в программу MathCAD. Сохраните результаты своей работы и закройте ПК ЛИРА	

Примечания:

1) Возможен более быстрый выбор вертикальных элементов: активизировать кнопку «отметка вертикальных стержней»  и целиком захватить всю схему в «резиновое окно». Выделятся только вертикальные элементы.

2) Деформированная схема в данном примере не соответствует реальной 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.

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

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**.

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

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

особых проблем выполнять расчеты плоских стержневых конструкций, обладая практически минимальным багажом знаний в области строительной механики, строительных конструкций и численных методов. Можно легко получать 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. Надеемся, 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-САПР 2011»

ПК «ЛИРА-САПР 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 возникать 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-

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

4. Стержень балочного ростверка (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 (три 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 десятый 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 (PCY) и таблицы расчетных сочетаний нагрузок (PCN). Часто многие просто не понимают разницы между PCY 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 загрузок (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.

Большинство строительных конструкций рассчитываются по двум группам предельных состояний:

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 γ_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 загрузении 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 загрузения в таблицах параметрах РСУ или РСН (см. ниже рис. 4.4 и 4.6).

Отдельно необходимо сказать об учете собственного веса конструкций. 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 стандартного зна-

чение удельного веса железобетона 25 кН/м^3 (рис. 4.1). Щелкните левой кнопкой по мыши по кнопке «Подтвердить».

Аналогично задайте удельный вес железобетона для типа жесткости «Брус 25×60 ригель».

Этими действиями Вы задали всем элементам расчетной схемы задачи значение удельного веса. **Но для того чтобы вес был учтен в виде отдельных нагрузок, необходимо выполнить еще одну операцию.**

С помощью команд меню **Нагрузки** ➤ **Добавить собственный вес** откройте диалоговое окно «Добавить собственный вес» (рис. 4.2).

В поле «Коэффициент надежности по нагрузке» введите стандартное значение для тяжелого железобетона – 1.1. Щелкните левой кнопкой по мыши по кнопке «Применить». Как видно из рис. 4.2, собственный вес можно прикладывать не на все элементы, но и только на предварительно выделенные.

Проверьте значения погонных нагрузок от собственного веса конструкций. Для этого активизируйте режим «Информация об узле или



элементе», щелкнув по пиктограмме. Далее щелкните по любому горизонтальному элементу расчетной схемы (ригелю). В открывшемся информационном окне о всех параметрах КЭ отобразятся значения двух распределенных нагрузок, приложенных к элементу (рис. 4.3). Первая нагрузка – это постоянная (заданная ранее), а вторая представляет собой вес одного погонного метра ригеля, с учетом коэффициента надежности по нагрузке 1.1 (т.е. это расчетная нагрузка). Проверим ее значение: $g = b_b \cdot h_b \cdot 1 \cdot R_0 \cdot \gamma_f = 0.25 \cdot 0.6 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 1.1 = 4.125 \text{ кН/м}$. Все верно.

Проверьте также по аналогии значение веса одного погонного метра колонны – оно должно составить 4.4 кН/м .

Очень важный совет для пользователей любой расчетной программы. Человеку свойственно ошибаться, причем неважно, почему допущена ошибка: от незнания или невнима-

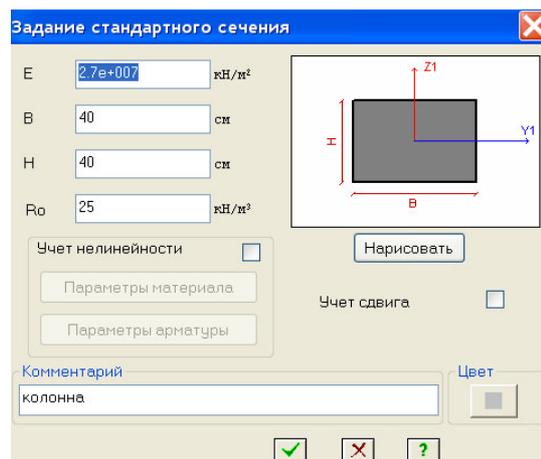


Рис. 4.1. Окно «Задание стандартного сечения»

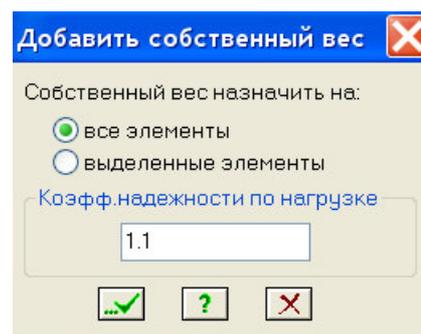


Рис. 4.2. Окно «Добавить собственный вес»

	$p = 28.39 \text{ кН/м}$ - Равномерно распределенная нагрузка
	$p = 4.125 \text{ кН/м}$ - Равномерно распределенная нагрузка
	Все нагрузки

Рис. 4.3. Значения нагрузок

тельности. Результат в любом случае отрицательный. Поэтому постоянно необходимо контролировать все 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-САПР 2011» предусмотрено автоматизированное формирование расчетных сочетаний усилий (PCY), соответствующее нормативным документам, действующим в проектировании объектов строительства. Вычисление PCY заключается в следующем.

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

Так, например, для стержневых элементов задача выбора PCY 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 PCY сводится к рассмотрению огибающих кривых напряжений в зависимости от угла наклона главных площадок.

Общие правила формирования таблицы PCY следующие:

- параметры расчетных сочетаний задаются для каждого из загрузений задачи;

- каждое РСУ относится к одному из предусмотренных нормативными документами видов сочетаний;

- реализовано восемь видов загрузений, с помощью которых программно обеспечивается их корректная логическая взаимосвязь.

При этом существует возможность учета знакопеременности, взаимного исключения и сопутствия загрузений. Каждому из видов загрузений присвоен номер:

(0) – постоянное;

(1) – временное длительное;

(2) – кратковременное;

(3) – крановое;

(4) – тормозное;

(5) – сейсмическое;

(6) – особое (кроме сейсмического);

(7) – мгновенное;

(9) – ветровое статическое при учете пульсации ветра.

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

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

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

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

4.3.1. Формирование таблицы расчетных сочетаний усилий

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

В примере были рассмотрены четыре варианта загрузения:

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.

Последние три загрузки являются взаимоисключающими, так как они представляют собой различные варианты приложения одной и той же временной полезной нагрузки на перекрытие.

В результате выполненного ранее расчета пользователь может просмотреть полученные результаты (в графическом или табличном виде) только по отдельным загрузкам.

Для вычисления расчетных сочетаний усилий сформируем таблицу параметров РСУ с помощью команд меню **Нагрузки** > **PCY** > **Генерация таблицы РСУ**. В открывшемся окне «Расчетные сочетания усилий» (рис. 4.4) сначала необходимо выбрать строительный нормативный документ, по которому будет вестись расчет – выберем СП 20.13330.2011.

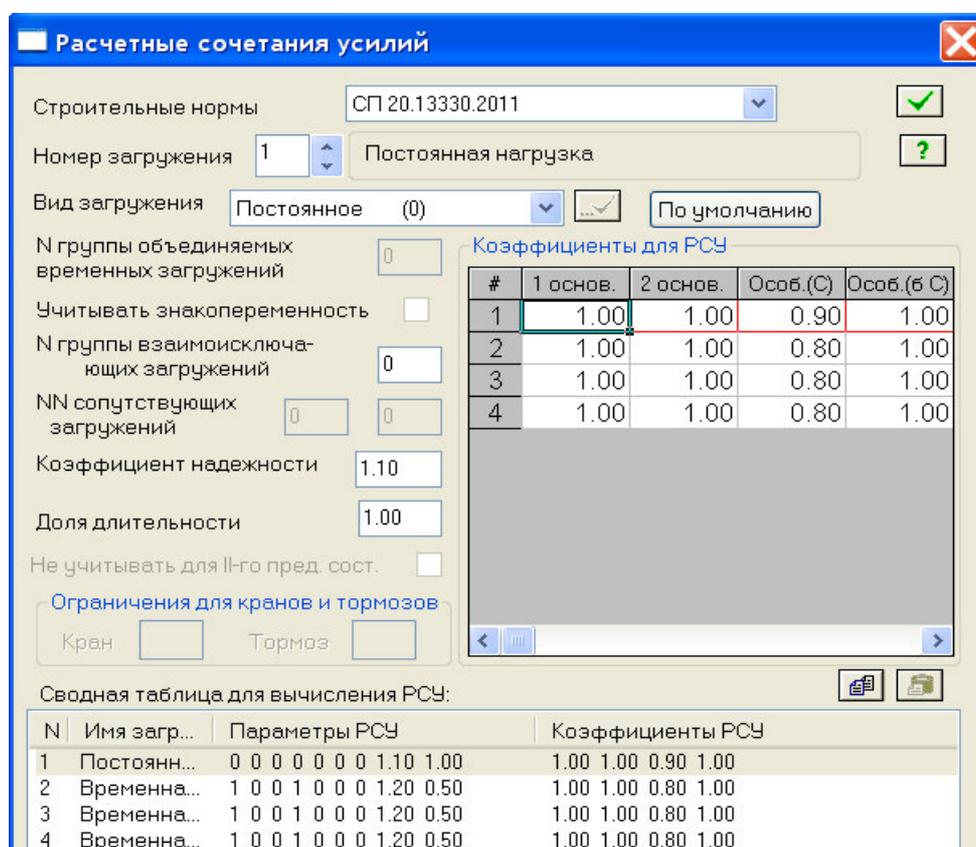
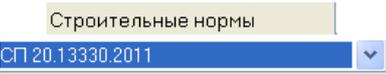
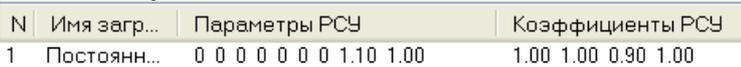
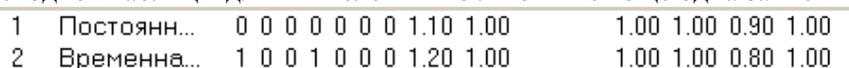
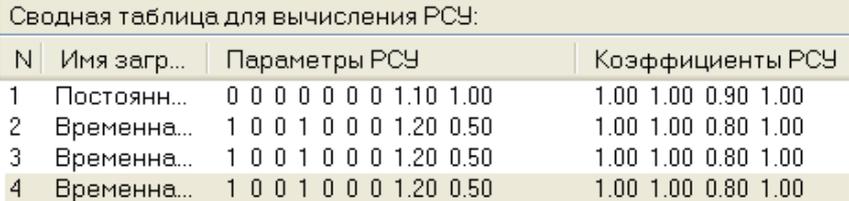


Рис. 4.4. Окно «Расчетные сочетания усилий»

Далее, как было описано выше, для каждого из четырех загрузений необходимо задать:

- вид загрузки;
- коэффициент надежности по нагрузке;
- долю длительности;

г) номер группы взаимоисключающих загрузений.
 Сведем все действия по созданию РСУ в таблицу.
 Процедура создания таблицы РСУ.

Этапы и операции	Ваши действия
Открытие окна генерации таблицы РСУ	Выполните команды меню: Нагрузки > PCY > Генерация таблицы РСУ
Выбор строительного нормативного документа	С помощью переключки выберите СП 20.13330.2011 
Задание параметров РСУ для первого загрузения	В окне «Вид загрузения» с помощью переключки выберите «Постоянное(0)». Все параметры загрузения – коэффициент надежности по нагрузке, долю длительности – оставляем по умолчанию. Щелкните по кнопке «Применить»  , расположенной рядом с окном «Вид загрузения». Ниже в окне сводной таблицы для вычислений РСУ появится первая запись  Поле «Вид загрузения» станет пустым
Задание параметров РСУ для второго загрузения	В окне «Вид загрузения» с помощью переключки выберите «Длительное(1)». Далее задайте: а) номер группы взаимоисключающих загрузений – 1; б) долю длительности – 0.5. Коэффициент надежности по нагрузке оставим по умолчанию – 1.2. Щелкните по кнопке «Применить»  , расположенной рядом с окном «Вид загрузения». Ниже в окне сводной таблицы для вычислений РСУ появится еще одна запись  Поле «Вид загрузения» станет пустым
Задание параметров РСУ для третьего и четвертого загрузений	Повторите описанные выше действия для третьего и четвертого загрузений (параметры РСУ идентичные). В итоге получаем сводную таблицу РСУ  Подтвердите создание таблицы РСУ, щелкнув по кнопке «Подтвердить»  , расположенной в правом верхнем углу окна «Расчетные сочетания усилий»
Просмотр сформированной таблицы РСУ	Выполните команды меню: Нагрузки > PCY > Генерация таблицы РСУ . 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.

Таблица 4.1

Вид загрузки	Основные сочетания		Особое сочетание
	1-е	2-е	
Постоянное	1	1	0,9
Длительно действующее	1	0,95	0,8
Кратковременное	1	0,9	0,5
Крановое	1	0,9	0
Тормозное	1	0,9	0
Сейсмическое	0	0	1
Особое	0	0	1
Мгновенное	1	0,95	0,9
Ветровое статическое	0	0	0

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

4.3.2. Вычисление расчетных сочетаний усилий

Запустите задачу на расчет: Режим ► Выполнить расчет. В отрывшемся окне «Параметры расчетного процессора» щелкните по кнопке **Подтвердить**. Пройгнорируйте появившееся в новом окне предупреждение 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 нагружений, так как все они были занесены в одну группу взаимоисключающих нагружений. Можно сделать следующую проверку. Вернитесь в режим создания расчетной схемы и в таблицы РСУ для всех временных нагружений удалите номер группы взаимоисключающих нагружений. Выполнив рас-

чет и сформировав новую таблицу РСУ, Вы убедитесь, что программа составила новые комбинации, включающие одновременно и два, и три временных нагружения.

Таблица РСУ													
Файл Редактировать Опции													
Таблица РСУ													
№ элем	№ сечен	№ столбца	Кран/сейсм	Группа РСУ	Критерий	Усилия						№№ загруз	
						N (кН)	Mx (кН*м)	My (кН*м)	Qz (кН)	Mz (кН*м)	Qy (кН)		
1	1	1	-	A	2	-107.689	0.000	0.000	47.672	0.000	0.000	1 4	
1	2	1	-	A	1	-107.689	0.000	100.111	47.672	0.000	0.000	1 4	
2	1	1	-	A	2	107.689	0.000	-100.111	47.672	0.000	0.000	1 4	
2	2	1	-	A	1	107.689	0.000	0.000	47.672	0.000	0.000	1 4	
3	1	1	-	A	2	-234.370	0.000	0.000	-3.113	0.000	0.000	1 3	
3	1	1	-	A	13	-167.869	0.000	0.000	19.011	0.000	0.000	1 2	
3	1	1	-	A	14	-165.048	0.000	0.000	-27.141	0.000	0.000	1 4	
3	2	1	-	A	1	-167.869	0.000	39.923	19.011	0.000	0.000	1 2	
3	2	1	-	A	2	-165.048	0.000	-56.995	-27.141	0.000	0.000	1 4	
3	2	1	-	A	18	-234.370	0.000	-6.537	-3.113	0.000	0.000	1 3	
4	1	1	-	A	1	165.048	0.000	56.995	-27.141	0.000	0.000	1 4	
4	1	1	-	A	2	167.869	0.000	-39.923	19.011	0.000	0.000	1 2	
4	1	1	-	A	17	234.370	0.000	6.537	-3.113	0.000	0.000	1 3	
4	2	1	-	A	1	234.370	0.000	0.000	-3.113	0.000	0.000	1 3	
4	2	1	-	A	13	167.869	0.000	0.000	19.011	0.000	0.000	1 2	
4	2	1	-	A	14	165.048	0.000	0.000	-27.141	0.000	0.000	1 4	
5	1	1	-	A	2	-167.869	0.000	0.000	-19.011	0.000	0.000	1 2	
5	1	1	-	A	13	-165.048	0.000	0.000	27.141	0.000	0.000	1 4	
5	2	1	-	A	1	-165.048	0.000	56.995	27.141	0.000	0.000	1 4	
5	2	1	-	A	2	-167.869	0.000	-39.923	-19.011	0.000	0.000	1 2	
6	1	1	-	A	1	167.869	0.000	39.923	-19.011	0.000	0.000	1 2	
6	1	1	-	A	2	165.048	0.000	-56.995	27.141	0.000	0.000	1 4	
6	2	1	-	A	1	167.869	0.000	0.000	-19.011	0.000	0.000	1 2	
6	2	1	-	A	13	165.048	0.000	0.000	27.141	0.000	0.000	1 4	
7	1	1	-	A	2	-107.689	0.000	0.000	-47.672	0.000	0.000	1 4	
7	2	1	-	A	2	-107.689	0.000	-100.111	-47.672	0.000	0.000	1 4	
8	1	1	-	A	1	107.689	0.000	100.111	-47.672	0.000	0.000	1 4	
8	2	1	-	A	1	107.689	0.000	0.000	-47.672	0.000	0.000	1 4	
9	1	1	-	A	2	0.000	0.000	-200.222	215.378	0.000	0.000	1 4	
9	1	1	-	A	17	0.000	0.000	-70.320	86.047	0.000	0.000	1 2	
9	2	1	-	A	2	0.000	0.000	-292.926	-238.384	0.000	0.000	1 3	
9	2	1	-	A	17	0.000	0.000	-163.541	-112.682	0.000	0.000	1 2	
10	1	1	-	A	2	0.000	0.000	-279.853	230.356	0.000	0.000	1 3	
10	1	1	-	A	17	0.000	0.000	-243.388	223.055	0.000	0.000	1 2	
10	2	1	-	A	2	0.000	0.000	-243.388	-223.055	0.000	0.000	1 2	
11	1	1	-	A	2	0.000	0.000	-253.961	230.732	0.000	0.000	1 4	
11	1	1	-	A	17	0.000	0.000	-163.541	112.682	0.000	0.000	1 2	
11	2	1	-	A	2	0.000	0.000	-200.222	-215.378	0.000	0.000	1 4	
11	2	1	-	A	17	0.000	0.000	-70.320	-86.047	0.000	0.000	1 2	

Рис. 4.5. Таблица «Расчетные сочетания усилий»

Далее необходимо выполнить конструктивный расчет. Для металлических и железобетонных конструкций ПК «ЛИРА-САПР 2011» позволяет это сделать. Если же использованы другие материалы: дерево, кирпич и т.д., то необходимо сохранить результаты статического расчета, а сам конструктивный расчет выполнять в других программах (или вручную). В линейке продуктов «ЛИРЫ» есть программа «ЭСПРИ», которая позволяет быстро и эффективно выполнять такие расчеты.

Результаты расчетов удобно сохранять в файл программы «Excel» с помощью команд меню **Файл** ➤ **Сохранить файл для Excel** окна таблицы РСУ.

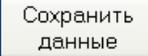
Расчет конструкций по РСУ обычно более удобен, чем расчет по расчетным сочетаниям нагрузок (РСН). Но есть одно обстоятельство, которое часто заставляет пользователя наряду с РСУ задавать и РСН. РСУ определяются для отдельных элементов (отдельных сечений). Но

PCУ не позволяют выводить результирующие эпюры (изополя и т.д.) для нескольких 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.

<i>Этапы и операции</i>	<i>Ваши действия</i>																														
Открытие окна генерации таблицы РСН	Выполните команды меню: Нагрузки► РСН Откроется окно «Расчетные сочетания нагрузок»																														
Выбор вида для каждого нагружения	С помощью переключки выберите для первого нагружения – «Постоянное (П)», для всех временных нагружений – «Кратковременное (К)»																														
Определение группы взаимоисключающих нагружений и доли длительности для временных нагружений	Введите в столбец «Взаимоискл.» для трех временных нагрузок число 1, в столбец «Доля длител.н.» число 0.5.																														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>№ загруз.</th> <th>Наименование</th> <th>Знакоперем.</th> <th>Взаимоискл.</th> <th>Козф. надежн.</th> <th>Доля длител.н.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Постоянная нагрузка</td> <td>+</td> <td></td> <td>1.1</td> <td>1.0</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	Знакоперем.	Взаимоискл.	Козф. надежн.	Доля длител.н.	1	Постоянная нагрузка	+		1.1	1.0	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	Знакоперем.	Взаимоискл.	Козф. надежн.	Доля длител.н.																									
	1	Постоянная нагрузка	+		1.1	1.0																									
	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																										
Задание основного сочетания и сохранение таблицы РСН	Щелкните по кнопке  для задания первого основного сочетания и сохраните таблицу РСН, щелкнув по кнопке  . Закройте таблицу.																														

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

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.

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
1 Задание и выбор материалов			
1.1 Вывод на экран окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы». Отметьте в верхнем поле жесткость Двугавр 20 <input checked="" type="checkbox"/> Жесткость	<i>Без задания текущей жесткости нельзя задать материал</i>
1.2 Переход на закладку «Сталь»		Перейдите на закладку «Сталь». В поле « Задание параметров для стальных конструкций » необходимо будет задать: материал, дополнительные характеристики и ограничения по подбору	Вид закладки <input type="text" value="Жесткости"/> <input type="text" value="Ж/Б"/> <input type="text" value="Сталь"/>
1.3 Задание материала		Щелкните на кнопку Добавить и в открывшемся окне Параметры с помощью переключки выберите сталь Вст3псб. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке ОК . В поле « Задание параметров для стальных конструкций » отобразится I 1. Материал	<i>Переключка появится только после щелчка левой кнопки мыши по полю класса стали</i>
1.4 Задание дополнительных характеристик		Отметьте поле « Дополнительные характеристики ». Щелкните на кнопку Добавить и в открывшемся окне Параметры задайте: тип элемента – колонна, максимально допустимый прогиб – 1/250. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке ОК . В поле « Задание параметров для стальных конструкций » отобразится I 1. Характеристики	<i>Поле «Задание параметров для стальных конструкций» первоначально станет пустым после перехода на опцию «Дополнительные характеристики»</i>
1.5 Задание ограничений подбора		Отметьте поле « Ограничения подбора ». Щелкните на кнопку Добавить и в открывшемся окне Параметры оставьте все параметры по умолчанию, просто щелкнув по кнопке ОК	

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>						
2 Назначение жесткостей и материалов элементам балки									
2.1 Выделение элементов		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите все элементы балки, растянув вокруг схемы балки «резиновое окно» (другой вариант – одновременное нажатие клавиш Ctrl + A)							
2.2 Назначение элементам текущего типа жесткости		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Назначить							
2.3 Закрытие диалогового окна «Жесткости элементов»		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Заккрыть							
3 Создание конструктивных элементов									
3.1 Выделение элементов		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите все элементы балки, растянув вокруг схемы балки «резиновое окно»							
3.2 Вывод на экран окна «Конструктивные элементы»		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Редактирование > Конструктивные элементы . В отрывшемся окне щелкните по кнопке Создать . Закройте окно	<p><i>В поле окна появится запись</i></p> <table border="1" data-bbox="1125 1081 1398 1117"> <thead> <tr> <th>Имя:</th> <th>Жесткость:</th> <th>Материалы:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>КБ1</td> <td>1. Двутавр 20</td> <td>1.Материал 1.Ха...</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>См. также примечание</i></p>	Имя:	Жесткость:	Материалы:	КБ1	1. Двутавр 20	1.Материал 1.Ха...
Имя:	Жесткость:	Материалы:							
КБ1	1. Двутавр 20	1.Материал 1.Ха...							
3 Расчет балки МКЭ									
3.1 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Выполнить расчет . В отрывшемся окне «Параметры расчетного процессора» щелкните по кнопке Подтвердить							
3.2 Переход в режим Стальные конструкции		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Стальные конструкции							
4 Анализ результатов расчета									
<i>Проверка балки по двум группам предельных состояний</i>									
4.1 Вывод на экран мозаики результатов по первому предельному состоянию		Щелкните по кнопке инструмента с панели «Расчет» или введите команды Результаты > Мозаика результатов > Проверка 1ПС	<p><i>На экране отобразится рисунок, показывающий проценты исчерпания несущей способности конструкцией</i></p> 						

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
4.2 Вывод на экран мозаики результатов по второму предельному состоянию		Щелкните по кнопке инструмента с панели «Расчет» или введите команды Результаты > Мозаика результатов > Проверка 2ПС	Если пользователь точно ввел исходные данные по примеру, то максимальный процент по второй группе должен составить 28.3 %
Вывод таблиц проверки и подбора сечений			
4.3 Вывод на экран окна «Таблицы результатов»		Введите команды Результаты > Таблицы результатов . Последовательно далее выбирая режимы проверка и подбор и щелкая на кнопку просмотр, выведите на экран две таблицы, приведенные ниже на рис. 4.8	В таблице есть переключатели, позволяющие выводить таблицы в форматах *.txt, *.html, *.prt *.xls

а)

		ПРОЦЕНТЫ ИСЧЕРПАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАЛКИ ПО СЕЧЕНИЯМ, %											ДЛИНА			
ЭЛЕМЕНТ	НС	ГРУППА	ШАГ РЕБЕР	Фб	min											ЭЛЕМЕНТ
			м		нор	тау	с1	УБ	Прг	УС	УП	1ПС	2ПС	М.У	м	
Сечение: 1.1.1.1 Двутавр 20																
Профиль: 20; ГОСТ 8239 - 72*																
Сталь: 09Г2; ГОСТ 19281-73*																
Сортамент: Двутавр с непараллельными гранями полок																
1	1	КБ1		0.00	1.00	0	2	2	0	28	37	0	2	28	37	6.00
1	2	КБ1		0.00	1.00	12	0	8	0	28	37	27	12	28	37	6.00
2	1	КБ1		0.00	1.00	12	0	8	0	28	37	27	12	28	37	6.00
2	2	КБ1		0.00	1.00	14	0	10	0	28	37	27	14	28	37	6.00
3	1	КБ1		0.00	1.00	14	5	11	0	28	37	27	14	28	37	6.00
3	2	КБ1		0.00	1.00	0	5	3	0	28	37	0	5	28	37	6.00

б)

		ПРОЦЕНТЫ ИСЧЕРПАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАЛКИ ПО СЕЧЕНИЯМ, %											ДЛИНА			
ЭЛЕМЕНТ	НС	ГРУППА	ШАГ РЕБЕР	Фб	min											ЭЛЕМЕНТ
			м		нор	тау	с1	УБ	Прг	УС	УП	1ПС	2ПС	М.У	м	
Сечение: 1.1.1.1 Двутавр 20																
Профиль: 20; ГОСТ 8239 - 72*																
Сталь: ВСт3пс6; ГОСТ 380-71*																
Сортамент: Двутавр с непараллельными гранями полок																
		КБ1		Подобрано: 1.1.1.1 Двутавр 14												
				Профиль: 14; ГОСТ 8239 - 72*												
				Сталь: ВСт3пс6; ГОСТ 380-71*												
1	1	КБ1		0.00	1.00	0	4	3	0	91	23	0	4	91	23	6.00
1	2	КБ1		0.00	1.00	33	1	22	0	91	23	19	33	91	23	6.00
2	1	КБ1		0.00	1.00	33	1	22	0	91	23	19	33	91	23	6.00
2	2	КБ1		0.00	1.00	39	1	26	0	91	23	19	39	91	23	6.00
3	1	КБ1		0.00	1.00	39	9	27	0	91	23	19	39	91	23	6.00
3	2	КБ1		0.00	1.00	0	9	7	0	91	23	0	9	91	23	6.00

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

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

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].

4.5. Конструктивный расчет железобетонных элементов

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

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
1 Задание и выбор материала для колонн			
1.1 Вывод на экран окна «Жесткости и материалы»		Откройте диалоговое окно «Жесткости и материалы». Щелкните левой кнопкой мыши по жесткости Брус 40*40 (колонна) в окне списка типов жесткостей	<i>Вверху в окне текущей жесткости отобразится Брус 40*40 (колонна)</i> <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 Добавить и в открывшемся окне Общие характеристики в подтаблице Конструктивные особенности стержней выберите Колонна рядовая. Остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке Подтвердить	<i>В поле «Задание параметров для железобетонных конструкций» отобразится 1.. Стержень</i> <i>Подробно о задании других характеристик можно посмотреть в [1]</i>
1.4 Задание бетона		Отметьте поле « Бетон ». Щелкните на кнопку Добавить и в открывшемся окне Характеристики бетона выберите с помощью переключки класс бетона – В20. Остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке Подтвердить	<i>В поле «Задание параметров для железобетонных конструкций» отобразится 1..В20</i>

Этапы и операции	Команда и ее инструмент	Ваши действия	Рекомендации и комментарии
1.5 Задание арматуры		Отметьте поле « Арматура ». Щелкните на кнопку Добавить и в открывшемся окне Характеристики арматуры оставьте все параметры по умолчанию, просто щелкнув по кнопке Подтвердить	
2 Задание и выбор материала для ригелей			
2.1 Выбор жесткости Брус 25*60 (ригель)		Перейдите на закладку Жесткости . Щелкните левой кнопкой мыши по жесткости Брус 25*60 (ригель) в окне списка типов жесткостей	<i>Вверху в окне текущей жесткости отобразится Брус 25*60 (ригель)</i>
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 оставим как для колонн)	
2.3 Задание типа		Отметьте поле тип (оставалось активным поле арматура). Щелкните на кнопку Добавить и в открывшемся окне Общие характеристики в подтаблице Конструктивные особенности стержней выберите Балка Остальные характеристики оставьте по умолчанию. Подтвердите выбор, щелкнув по кнопке Подтвердить	<i>В поле «Задание параметров для железобетонных конструкций» отобразится 2.. Стержень</i>
3 Назначение жесткостей и материалов ригелям и колоннам			
3.1 Выделение ригелей		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите три горизонтальных элемента 9-11 рамы (ригели), растянув вокруг них «резиновое окно»	
3.2 Назначение ригелям текущего типа жесткости и материала		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Назначить	
3.3 Выделение колонн		Активизируйте режим отметки вертикальных элементов. Растяните «резиновое окно» вокруг всей рамы	<i>Выделятся только колонны - вертикальные элементы</i>
3.4 Выбор типа 1.. Стержень		В окне Жесткости и материалы в закладке Ж/Б два раза щелкните левой кнопкой мыши по типу 1.. Стержень	<i>Тип 1.. Стержень станет текущим в поле Материалы</i>
3.4 Назначение колоннам текущего типа жесткости и материала		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Назначить	

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
3.5 Закрытие диалогового окна «Жесткости элементов»		В диалоговом окне «Жесткости и материалы» щелкните по кнопке Заккрыть	
4 Изменение числа расчетных сечений для ригелей (см. примечание 1)			
4.1 Выделение ригелей		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите три горизонтальных элемента №9-11 рамы (ригели), растянув вокруг них «резиновое окно»	
4.2 Задание пяти расчетных сечений для ригелей		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Схема > Расчетные сечения стержней . В отрывшемся окне задайте число расчетных сечений – 5 и щелкните по кнопке Применить . Закройте окно	
5 Задание варианта конструктивного расчета элементов по РСУ (см. примечание 2)			
5.1 Открытие окна «Варианты конструирования»		Щелкните по кнопке инструмента на панели «Варианты конструирования»	
5.2 Задание расчета сечений по РСУ		В открывшемся окне в поле Расчет сечений по с помощью перекрутки выберите РСУ и щелкните по кнопке Применить . Закройте окно	
6 Расчет плоской рамы МКЭ			
6.1 Запуск задачи на расчет		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Выполнить расчет . Задача сразу пойдет на счет	<i>Окно «Параметры расчетного процессора» в этом случае не появится</i>
6.2 Переход в режим Железобетонные конструкции		Щелкните по кнопке инструмента или введите команды Режим > Железобетонные конструкции	
6 Вывод результатов расчета			
6.1 Вывод на экран окна «Таблицы результатов»		Введите команды Результаты > Таблицы результатов	
6.2 Вывод на экран таблицы результатов подбора арматуры		В отрывшемся окне щелкните по кнопке Таблицу на экран . На экране отобразится таблицы результатов подбора арматуры для всех элементов рамы. С помощью команд меню Файл > Сохранить как сохраните таблицу результатов в отдельный файл формата *.txt.	<i>Часть полученной таблицы (для первых четырех элементов) приведена ниже на рис. 4.9</i>

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 может 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 «Сапфир». 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

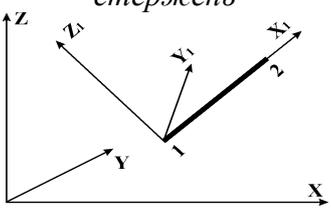
1. Программный комплекс для расчета и проектирования конструкций. ЛИРА Версия 9.2. Руководство пользователя. – Киев : Факт, 2005. – 140 с.
2. ЛИРА – САПР 2011 : учеб. пособие / Ю. В. Гензерский, Д. В. Медведенко, О. И. Палиенко, В. П. Титок. – Киев : Электронное издание, 2011. – 396 с.
3. Дарков, А. В. Сопротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – 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.

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. Лазнюк, М. Л. Мартынова, Н. И. Преснякова ; под ред. А. А. Нилова. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 328 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

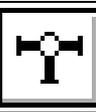
БИБЛИОТЕКА СТЕРЖНЕВЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ПК «ЛИРА-САПР 2011»

Но- мер КЭ	Наименование КЭ	При- знак схемы	Плоскость расположе- ния	Степени свободы	Комментарий
10	<p>Универсальный стержень</p> 	<p>1 2 3 4 5</p>	Произвольно	X, Y, Z, UX, UY, UZ	<p>1 Допускается наличие упругого основания в двух плоскостях. 2 Предусмотрен учет сдвиговой жесткости и обжатия</p>
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 сдвига	5	Произвольно	X, Y, Z, UX, UY, UZ	Частный случай КЭ-10

ОСНОВНЫЕ КОМАНДЫ ПК «ЛИРА-САПР 2011»

<i>Команда</i>	<i>Описание команды</i>	<i>Меню</i>	<i>Кнопка</i>
Панель «Файлы»			
1 Изменение признака схемы	Вызывается диалоговое окно «Описание схемы», в котором пользователь может изменить имя задачи, признак схемы и описание задачи	Схема ► Признак схемы	
2 Выполнение расчета	Происходит расчет задачи	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»	Переключение системы в режим «Стальные конструкции» – модуль для расчета стальных элементов и просмотра результатов расчета	Режим ► Стальные конструкции	
Панель «Вид»			
1 Установка флагов рисования	Вызывается диалоговое окно Показать , которое предназначено для установки флагов рисования, то есть информации, изображаемой непосредственно на схеме, а также опций отображения схемы. Диалоговое окно содержит четыре закладки (Элементы, Узлы, Общие, Значения, Материалы)	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 него «резинового окна»	Вид ► Увеличить	
4 Возврат к полному изображению	Восстановление исходного размера расчетной схемы после выполнения операции Увеличить	Вид ► Исходный размер	
Панель «Выбор»			
1 Полифильтр	Управления отображением расчетной схемы и ее атрибутов с помощью операций фильтрации	Выбор ► Полифильтр	
2 Выбор узлов	Включение режима выбора узлов (одиночным указанием курсора или растягиванием вокруг нужных узлов «резинового окна»)	Выбор ► Отметка узлов	
3 Выбор элементов	Включение режима выбора элементов (одиночным указанием курсора или растягиванием вокруг нужных элементов «резинового окна»)	Выбор ► Отметка элементов	

Команда	Описание команды	Меню	Кнопка
4 Выбор вертикальных стержней	Включение режима выбора вертикальных стержней. Стержни (КЭ), имеющие любую другую ориентацию на плоскости, в этом режиме недоступны для выбора	Выбор ► Отметка вертикальных стержней	
5 Выбор горизонтальных стержней	Включение режима выбора горизонтальных стержней. Стержни (КЭ), имеющие любую другую ориентацию на плоскости, в этом режиме недоступны для выбора	Выбор ► Отметка горизонтальных стержней	
6 Отменить отметку узлов и элементов	Отмена сделанной ранее отметки узлов и элементов	Выбор ► Отмена выделения	
7 Получение информации об узлах и элементах	Вывод на экран диалоговых окон с информацией об узлах и элементах схемы и их атрибутах	Выбор ► Информация	
8 Информация о длинах, узлах и площадях	Вывод диалогового окна, которое предназначено для вычисления геометрических параметров схемы – расстояний между двумя узлами, углов, площадей плоских фигур, содержит три соответствующие закладки	Выбор ► Информация о размерах	
Панель «Создание»			
1 Генерация регулярных фрагментов (рам, ростверков, балок-стенок, плит и сетей)	Диалоговое окно содержит пять закладок для задания регулярных фрагментов – рам, ростверков, балок-стенок, плит, сетей	Создание ► Регулярные фрагменты и сети	
2 Генерация ферм	Генерация фермы по очертанию пояса, по очертанию решетки, задание численных параметров	Создание ► Фермы	
Панель «Корректировка»			
1 Удаление выбранных объектов	Удаление предварительно отмеченных на схеме узлов и элементов	Редактирование ► Удаление	
2 Упаковка схемы	Команда выполняет сшивку узлов и элементов схемы, исключает из расчетной схемы удаленные узлы и элементы (выполняет перенумерацию)	Схема ► Упаковка схемы	
3 Добавить элемент	Команда для добавления элементов в расчетную схему и корректировки ранее созданных элементов (разбиение, введение дополнительных узлов)	Создание ► Добавить элемент	
4 Добавить узел	Команда для добавления узлов в расчетную схему различными способами (по координатам, по окружности, формульный ввод и т.д.)	Создание ► Добавить узел	
Панель «Связи, жесткости, нагрузки»			
1 Связи в узлах	Команда закрепляет отмеченные узлы по указанным в диалоговом окне направлениям (X, Y, Z, UX, UY, UZ). В другой закладке окна аналогично выполняется удаление связей. Также с помощью окна этой команды производится визуализация связей	Схема ► Связи	

<i>Команда</i>	<i>Описание команды</i>	<i>Меню</i>	<i>Кнопка</i>
2 Жесткости и материалы элементов Задание и назначение жесткости	Выбор типов сечений из библиотеки стандартных типов сечений, металлических сечений, параметров для железобетонных и стальных конструкций и присвоение их конечным элементам схемы	Жесткости ► Жесткости и материалы	
3 Конструктивные элементы	Создание конструктивных элементов, каждый из которых представляет совокупность нескольких КЭ, которые при конструировании будут рассматриваться как единое целое	Редактирование ► Конструктивные элементы	
4 Нагрузки на узлы и элементы	Задание (корректировка, удаление) нагрузок на узлы, стержни, пластины, объемные элементы и суперэлементы для текущего нагружения	Нагрузки ► Нагрузка на узлы и элементы	
5 Удаление нагрузок	С отмеченных узлов и элементов схемы удаляются все ранее заданные нагрузки для текущего нагружения	Нагрузки ► Удаление нагрузок	
6 Шарниры	Задание (удаление) шарниров в узлах КЭ. Также с помощью окна этой команды производится визуализация шарниров	Жесткости ► Шарниры	
7 Смена типа КЭ	Изменение типа уже заданных КЭ в соответствии с нумерацией типов в библиотеке КЭ. Операция смены типа производится с отмеченными элементами	Редактирование ► Смена типа конечного элемента	
Панель «Загружения»			
1 Выбор нагружения	Задание номер и имени текущего (активного) нагружения	Нагрузки ► Выбор нагружения	
Панель «Вариант конструирования»			
1 Варианты конструирования схемы	Формирование (редактирование) вариантов конструирования. Варианты конструирования могут отличаться нормами проектирования, материалами, конструктивными элементами и т.д.	Редактирование ► Варианты конструирования основной схемы	

ОСНОВНЫЕ ВАРИАНТЫ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОРНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ПЛОСКИХ СИСТЕМ

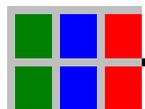
Наименование закрепления	Графическое изображение	Исключенные степени свободы	Визуализация на расчетной схеме						
1 Шарнирно-подвижная опора		<p>Линейное вертикальное перемещение по оси Oz</p> <table border="0"> <tr> <td><input type="checkbox"/> X</td> <td><input type="checkbox"/> UX</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Y</td> <td><input type="checkbox"/> UY</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Z</td> <td><input type="checkbox"/> UZ</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY	<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ	
<input type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX								
<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY								
<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ								
2 Шарнирно-неподвижная опора		<p>Два линейных перемещения: по оси Ox и Oz</p> <table border="0"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> X</td> <td><input type="checkbox"/> UX</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Y</td> <td><input type="checkbox"/> UY</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Z</td> <td><input type="checkbox"/> UZ</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX	<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY	<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ	
<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX								
<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> UY								
<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ								
3 Жесткая заделка		<p>Два линейных перемещения: по оси Ox и Oz и поворот вокруг оси Oy</p> <table border="0"> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> X</td> <td><input type="checkbox"/> UX</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> Y</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> UY</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/> Z</td> <td><input type="checkbox"/> UZ</td> </tr> </table>	<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX	<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> UY	<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ	
<input checked="" type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> UX								
<input type="checkbox"/> Y	<input checked="" type="checkbox"/> UY								
<input checked="" type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> UZ								

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ В ПК «ЛИРА-САПР 2011»

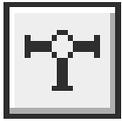
Исключенные степени свободы отображаются цветом в прямоугольнике, наложенном на узел.

Первая строка в прямоугольнике – линейные перемещения X, Y, Z (соответственно зеленый, красный, синий цвета)

Вторая строка в прямоугольнике – углы поворота UX, UY, UZ (соответственно зеленый, красный, синий цвета)



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

<i>Этапы и операции</i>	<i>Команда и ее инструмент</i>	<i>Ваши действия</i>	<i>Рекомендации и комментарии</i>
Выбор элемента, на узле (узлах) которого необходимо врезать шарнир		Активизируйте режим отметки элементов. Выделите элемент, щелкнув на него мышью, или захватите его «резиновым окном»	<i>Элемент выделится красным цветом</i>
Вывод на экран диалогового окна «Шарниры»		Откройте диалоговое окно «Шарниры», щелкнув на кнопку «Шарниры» на панели «Связи, жесткости, нагрузки». Данное окно предназначено для задания шарниров в начале (1-й узел) и/или в конце (2-й узел) стержня	<i>Другой вариант - введите команды Жесткости > Шарниры</i>
Врезка шарнира в первый узел элемента	<p>1-й узел</p> <input checked="" type="checkbox"/> УУ	Отметьте опцию УУ для первого узла (см. примечание), тем самым, врезав шарнир в этот узел (обнулив изгибную жесткость узла). Щелкните по кнопке «Применить», подтвердив свой выбор	<i>С элемента снимется выделение цветом, а на экране отобразится шарнир</i>
Аналогичным образом создаются шарниры для других элементов			
Удаление шарнира	<p>1-й узел</p> <input type="checkbox"/> УУ	Если шарнир был врезан не в тот узел, снимите опцию в диалоговом окне «Шарниры» и подтвердите свой выбор, щелкнув по кнопке «Применить»	<i>Изображение шарнира удалится с экрана</i>

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.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Номер варианта представляет двухзначное число – последние две цифры шифра зачетной книжки (студенческого билета).

Лабораторная работа 1

РАСЧЕТ ФЕРМЫ

В лабораторной работе 1 необходимо выполнить статический расчет балочной фермы с параллельными поясами МКЭ в ПК «ЛИРА-САПР 2011» на два варианта загрузки (рис. П5.1) при шарнирном и жестком сопряжении элементов фермы.

Результаты расчетов (вычисления, рисунки и таблицы) выполняются (или переносятся) в файле 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

Исходные данные к лабораторной работе 1

Тип решетки фермы	Цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Первая цифра варианта									
1 Вариант решетки фермы (рис. П5.1)	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Размеры, нагрузки	Вторая цифра варианта									
2 Пролет фермы L (м)	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	45.1	35.6	30.7	54.8	43.2	29.8	51.9	33.6	47.4

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

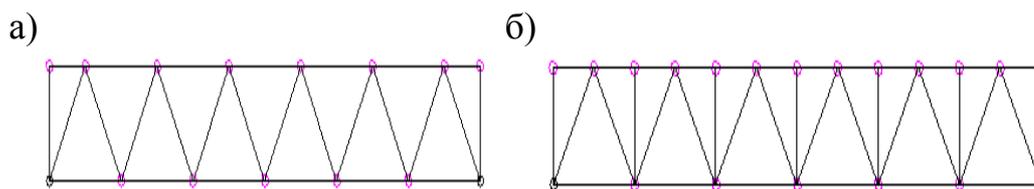


Рис. П5.1. Варианты решеток ферм: а – без промежуточных стоек; б – с промежуточными стойками

Например, исходные данные для варианта номер 25:

- по первой цифре варианта 2:

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

- по второй цифре варианта 5:

1) пролет фермы $L = 24$ м;

2) высота фермы $H = 2.8$ м;

3) узловая нагрузка на средние узлы фермы $P = 43.2$ кН.

Лабораторная работа 2

РАСЧЕТ БАЛКИ

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).

Таблица П5.2

Исходные данные к лабораторной работе 2

Геометрия	Цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Первая цифра варианта									
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
	Вторая цифра варианта									
Размеры, нагрузки										
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

Например, исходные данные для варианта номер 25:

- по первой цифре варианта 2:

длина балки – 8 м, расстояния $a = 2$ м, $b = 3$ м, $c = 6$ м.

- по второй цифре варианта 5:

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

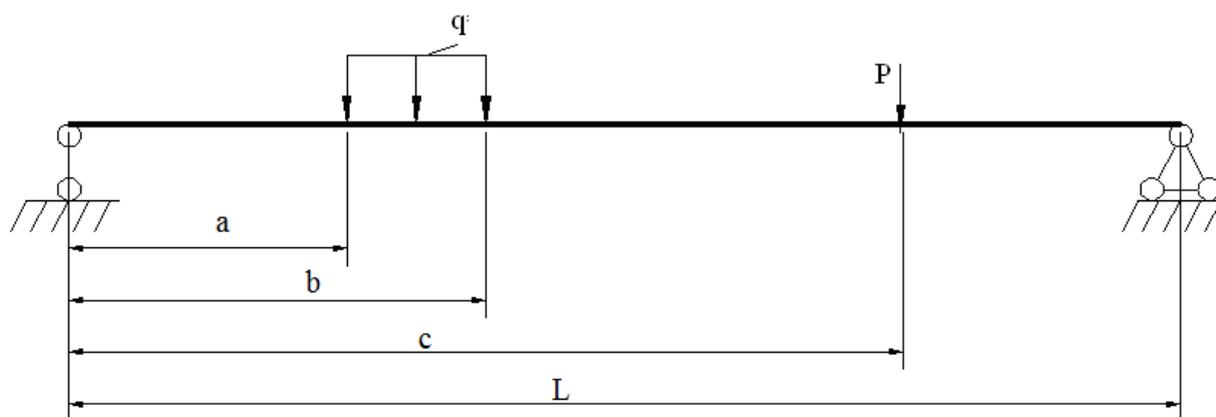


Рис. П5.2. Расчетная схема балки

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.

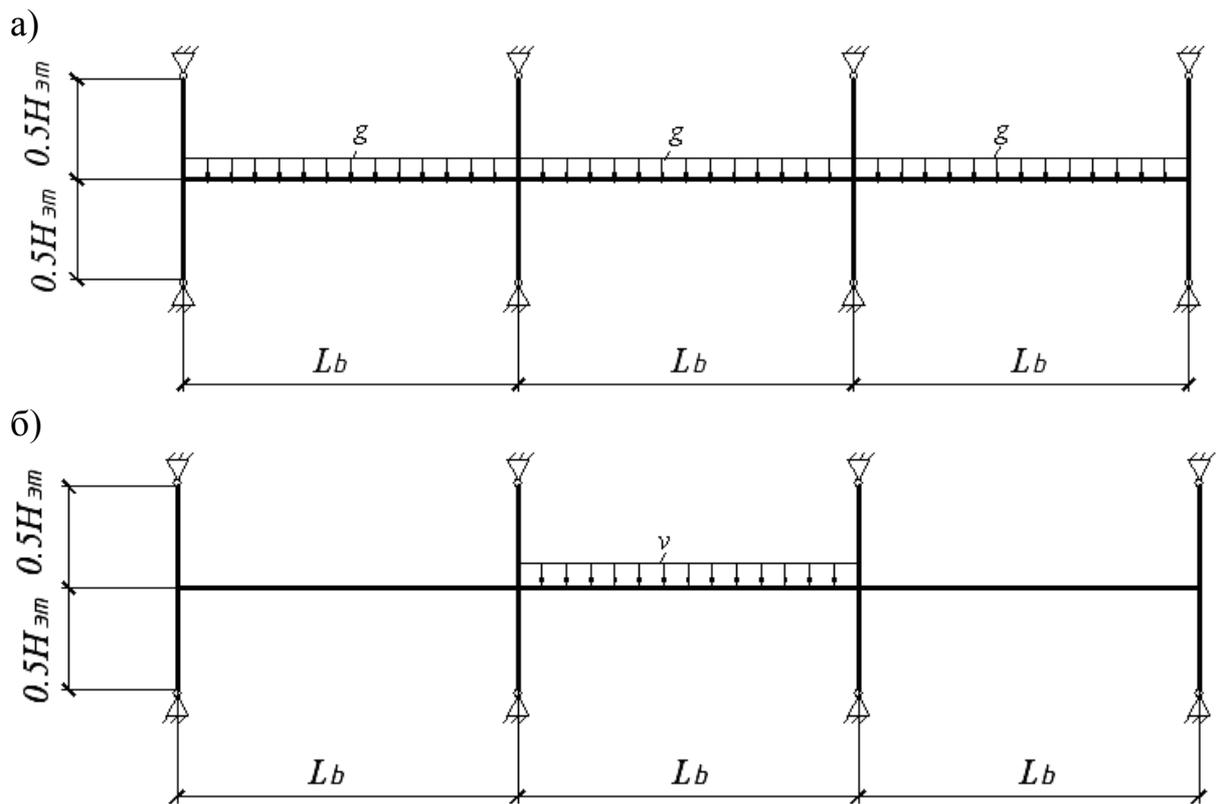


Рис. П5.3. Схема рамы: а – первый вариант загрузки;
б – второй вариант загрузки

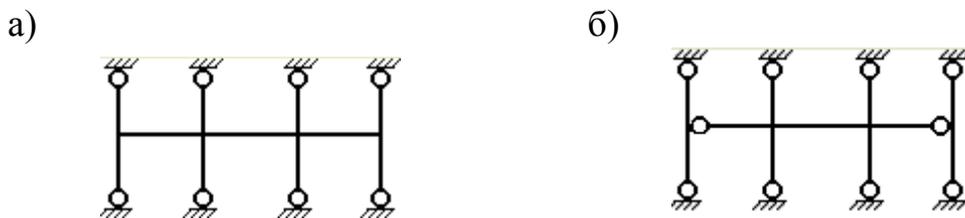


Рис. П5.4. Расчетные схемы рамы: а – полный каркас;
б – неполный каркас

Исходные данные к лабораторной работе 3

Геометрия	Цифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Первая цифра варианта									
1 Тип здания (каркас)	Полный	Неполный	Полный	Неполный	Полный	Неполный	Полный	Неполный	Полный	Неполный
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	6	6.3	6.6	6.9	6.5	6.4
Нагрузки, материалы	Вторая цифра варианта									
	1 Постоянная расчетная нагрузка (кН/м)	28.20	30.40	29.50	21.60	32.30	25.26	29.18	30.25	24.18
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	B30	B20	B25	B25	B30
4 Класс бетона колонны	B20	B25	B20	B25	B20	B25	B20	B25	B20	B25

Примечание. Размеры поперечных сечений колонны и ригеля для всех вариантов принимаются одинаковыми: сечение колонны – $h_c = b_c = 0.4$ м, сечение ригеля $b_b = 0.25$ м, $h_b = 0.6$ м.

Например, исходные данные для варианта номер 25:

- по первой цифре варианта 2:

- 1) каркас – полный;
- 2) высота этажа $H_{эт} = 3.2$ м;
- 3) длина ригеля $L_b = 7.4$ м;

- по второй цифре варианта 5:

- 1) постоянная расчетная нагрузка – $g = 25.26$ Н/м;
- 2) временная расчетная нагрузка – $v = 30.89$ Н/м;
- 3) класс бетона ригеля – В30;
- 4) класс бетона колонны – В25.

Образец оформления приведен в приложении 8.

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 5ПС-1

А.Н. Николаев

Преподаватель

Ю.Н. Чудинов

2013

Задание

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

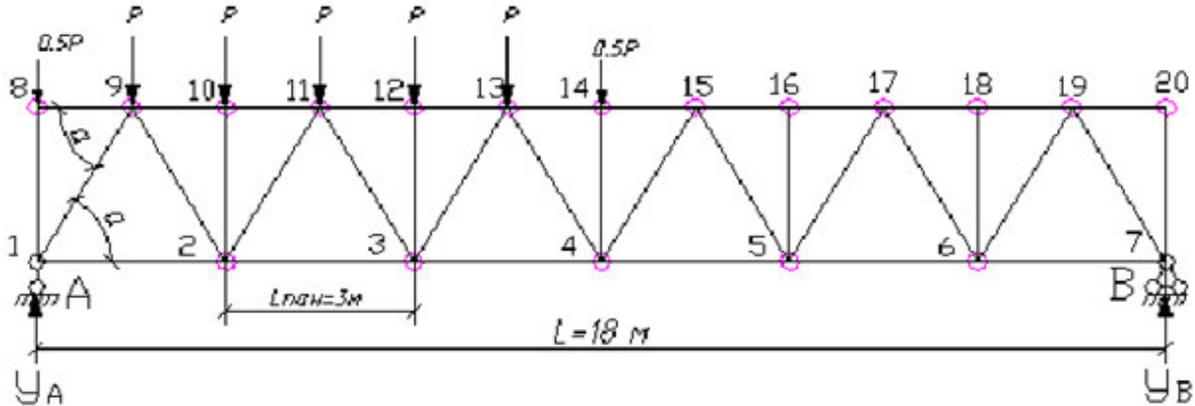


Рис. П6.1. - Расчетная схема фермы

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.

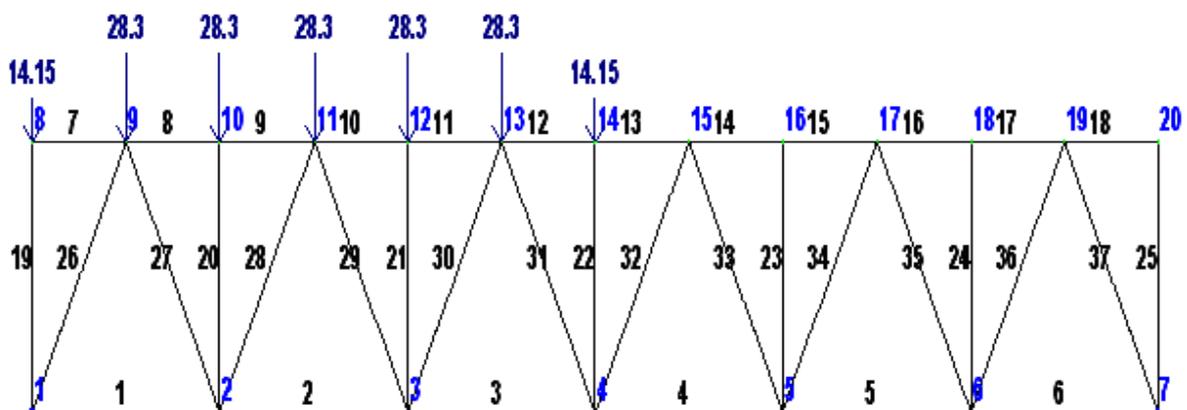


Рис.П6.2.- Расчетная модель фермы в ПК "ЛИРА"

Результаты расчетов

1. Стандартная расчетная схема (шарнирное сопряжение элементов)

а) Симметричное нагружение

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

б) Несимметричное нагружение

Таблица усилий (стержни)					
№ элем	№ сечен	N (кН)	№ элем	№ сечен	N (кН)
1	1	67.920	20	1	-28.300
1	2	67.920	20	2	-28.300
2	1	152.820	21	1	-28.300
2	2	152.820	21	2	-28.300
3	1	169.800	22	1	-14.150
3	2	169.800	22	2	-14.150
4	1	127.350	23	1	0.000
4	2	127.350	23	2	0.000
5	1	76.410	24	1	0.000
5	2	76.410	24	2	0.000
6	1	25.470	25	1	0.000
6	2	25.470	25	2	0.000
7	1	0.000	26	1	-132.013
7	2	0.000	26	2	-132.013
8	1	-118.860	27	1	99.010
8	2	-118.860	27	2	99.010
9	1	-118.860	28	1	-66.006
9	2	-118.860	28	2	-66.006
10	1	-169.800	29	1	33.003
10	2	-169.800	29	2	33.003
11	1	-169.800	30	1	0.000
11	2	-169.800	30	2	0.000
12	1	-152.820	31	1	-33.003
12	2	-152.820	31	2	-33.003
13	1	-152.820	32	1	49.505
13	2	-152.820	32	2	49.505
14	1	-101.880	33	1	-49.505
14	2	-101.880	33	2	-49.505
15	1	-101.880	34	1	49.505
15	2	-101.880	34	2	49.505
16	1	-50.940	35	1	-49.505
16	2	-50.940	35	2	-49.505
17	1	-50.940	36	1	49.505
17	2	-50.940	36	2	49.505
18	1	0.000	37	1	-49.505
18	2	0.000	37	2	-49.505
19	1	-14.150			
19	2	-14.150			

2. Уточненная расчетная схема (жесткое сопряжение элементов)

а) Симметричное загрузеение

Таблица усилий (стержни)

№ элем	№ сечен	N (кН)	Mk (кН*м)	My (кН*м)	Qz (кН)	№ элем	№ сечен	N (кН)	Mk (кН*м)	My (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

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						

б) Несимметричное загрузеие

Таблица усилий (стержни)											
№ элем	№ сечен	N (кН)	Mk (кН*м)	My (кН*м)	Qz (кН)	№ элем	№ сечен	N (кН)	Mk (кН*м)	My (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
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						

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-САПР 2011»

Вариант 25

Студент группы 5ПС-1

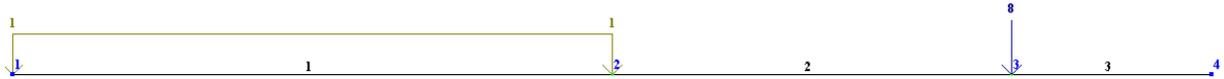
А.Н. Николаев

Преподаватель

Ю.Н. Чудинов

2013

Расчетная схема балки в ПК «ЛИРА»



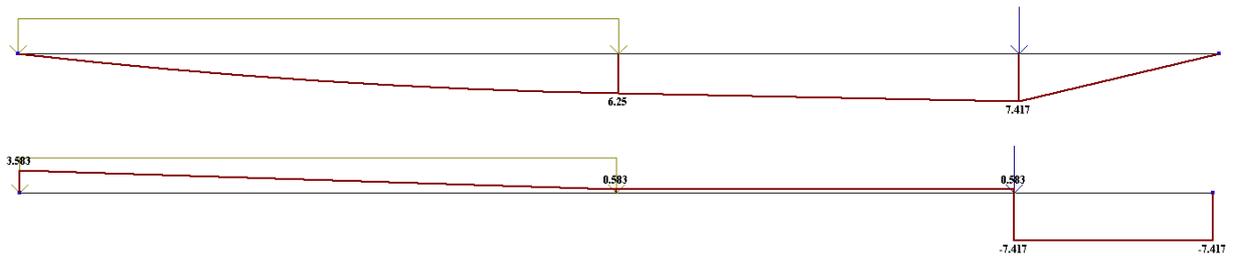
Окна задания жесткостей элементов

Таблица внутренних усилий балки

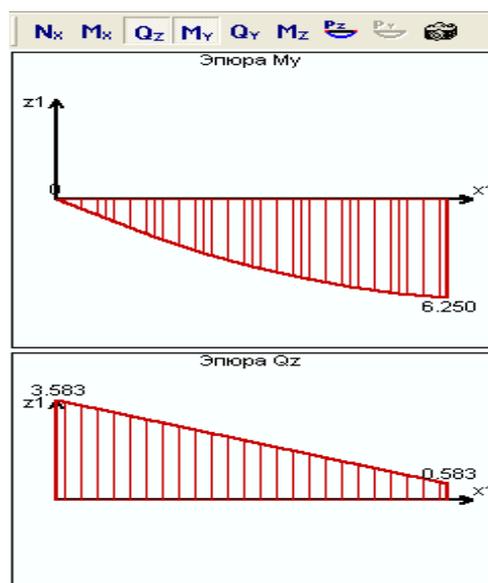
Таблица усилий

№ элем	№ сечен	Усилия			
		N (кН)	Mк (кН*м)	Mу (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

Эпюры внутренних усилий балки (M, Q)



Эпюры моментов и поперечных сил в элементе №1



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

2013

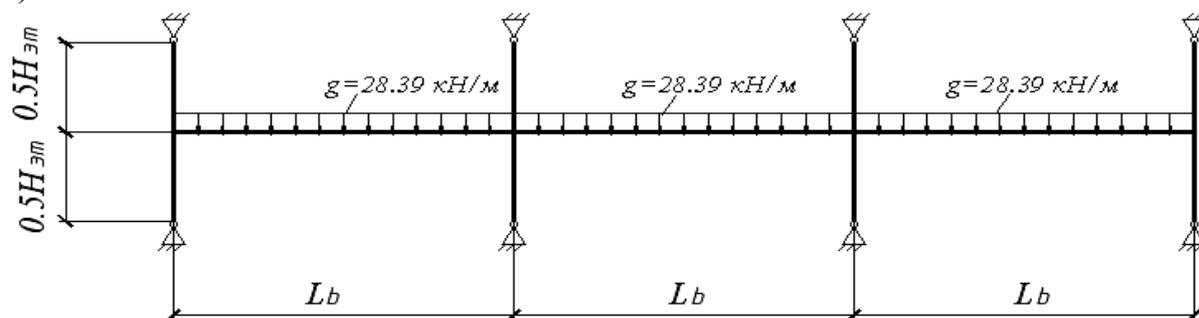
Задание.

Выполнить **статический** расчет плоской рамы (рис. П8.1) в ПК «ЛИ-РА-САПР 2011» на два варианта загрузки:

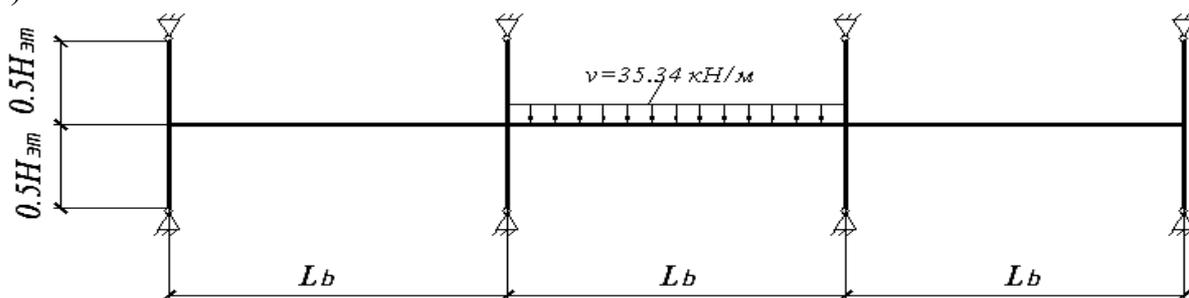
а) на равномерно-распределенную постоянную нагрузку $g = 28.39$ кН/м, действующую во всех трех пролетах (см. рис. П8.1, а);

б) на равномерно-распределенную временную нагрузку $v = 35.34$ кН/м, действующую только в среднем пролете (см. рис. П8.1, б).

а)



б)



в)

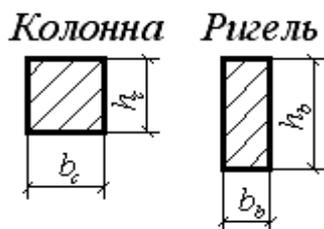


Рис. П8.1. Схема рамы (полный каркас): а – первый вариант загрузки; б – второй вариант загрузки; в – сечение элементов

Исходные данные:

- 1) пролет рамы (длина ригеля) $L_b = 7$ м;
- 2) высота этажа (длина колонны) $H_{эт} = 4.2$ м;
- 3) сечение колонны $h_c = b_c = 0.4$ м;
- 4) сечение ригеля $b_b = 0.25$ м, $h_b = 0.6$ м;
- 5) класс бетона ригеля и колонны В25;
- 6) класс бетона колонны В25.

Модуль упругости для класса бетона В25 равен $E = 27000$ МПа = $= 27000000$ КПа.

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.

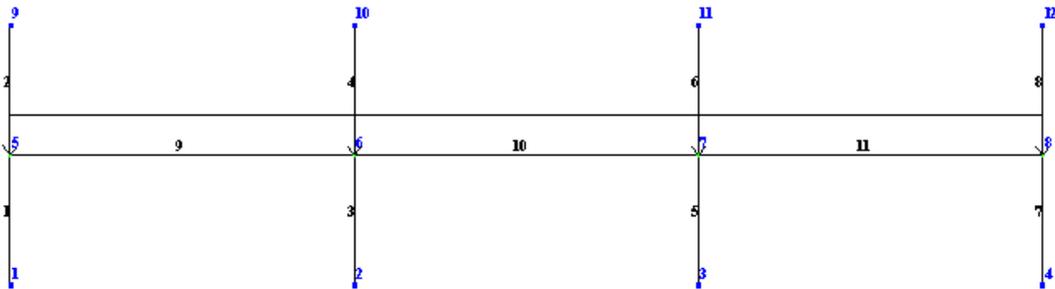


Рис. П8.2. Нумерация конечных элементов и узлов

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

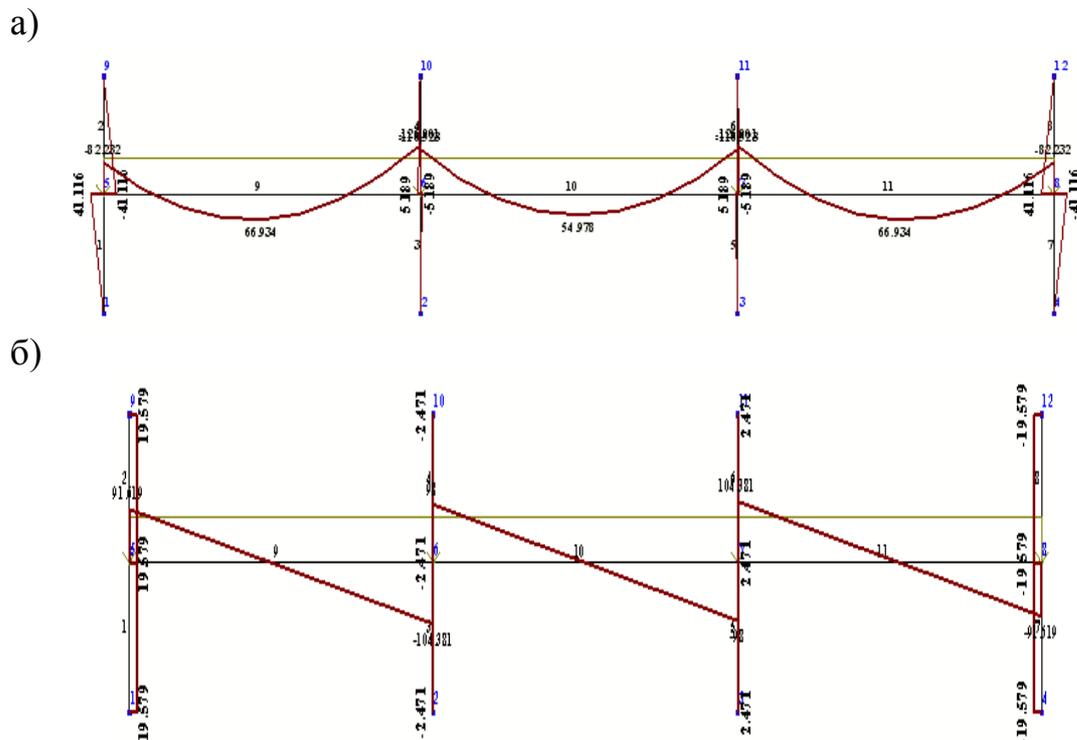


Рис. П8.3. Эпюры внутренних усилий:
а – изгибающих моментов M ($\text{кН} \cdot \text{м}$);
б – поперечных сил Q (кН)

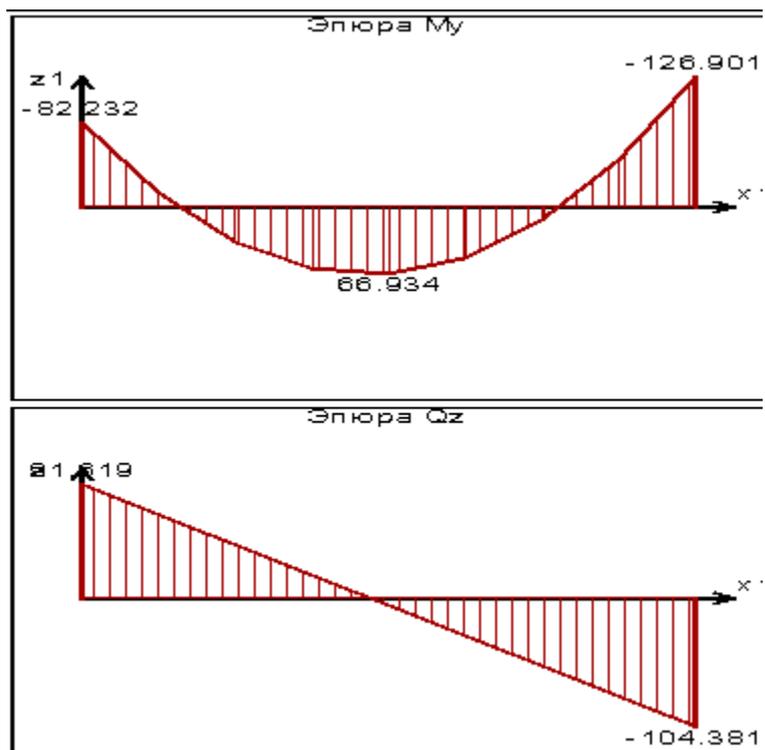


Рис. П8.4. Эюры внутренних усилий для элемента №9 (загружение №1 – постоянная нагрузка)

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

а)

Таблица усилий

№ элем	№ сечен	Усилия						Тип элем	№ загруз
		N (кН)	Mk (кН*м)	My (кН*м)	Qz (кН)	Mz (кН*м)	Qy (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

№ элем	№ сечен	Усилия						Тип элем	№ загруз
		N (кН)	Mk (кН*м)	My (кН*м)	Qz (кН)	Mz (кН*м)	Qy (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 – загрузка № 1 – постоянная нагрузка;
б – загрузка № 2 – временная нагрузка

Учебное издание

Чудинов Юрий Николаевич

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

Учебное пособие

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

Редактор Ю. Н. Осинцева

Подписано в печать 08.02.2013.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 65 г/м². Ризограф EZ570E.

Усл. печ. л. 5,34. Уч.-изд. л. 5,11. Тираж 75 экз. Заказ 25219.

Редакционно-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.