



## "Кристалл"

**программа  
для расчета стальных  
строительных конструкций**

### Сателлиты программно-вычислительного комплекса SCAD

Современные вычислительные комплексы, ориентированные на прочностной анализ конструкций, — такие, например, как SCAD для Windows 95/98/NT — в процессе совершенствования рано или поздно приобретают режимы работы (чаще всего в виде постпроцессоров), предназначенные для проверки элементов конструкций на выполнение требований нормативных документов и стандартов, регламентирующих те или иные области инженерной деятельности. Особенно это касается строительного проектирования: в СНГ действует система строительных норм и правил (СНиП), а в других государствах — соответствующие национальные или международные своды строительных кодов (DIN, Eurocode и др.). Поскольку сложные комплексы используются в различных странах и, кроме того, применяются в различных предметных областях, они постепенно обра-

стают целым "шлейфом" таких постпроцессоров, образующих довольно многочисленную свиту основной программы. Программа эта становится все более сложной, развитой и дорогой, что создает пользователям определенные затруднения как при выборе нужной конфигурации, так и при практическом применении.

Анализ спроса на программные продукты показывает, что для весьма заметной части потенциальных пользователей основной интерес представляют именно такие постпроцессорные режимы. Сам по себе вычислительный комплекс может их вообще не привлекать (например, если пользователь имеет другую программную систему или же набор объектов проектирования позволяет обойтись без сложных статических и динамических расчетов). Отсюда естественное стремление к созданию программных продуктов, которые являются сателлитами вычислитель-

ного комплекса и могут быть вызваны из него в качестве постпроцессоров, но способны также работать автономно.

Такие программы-сателлиты появились и в составе SCAD. Эта статья посвящена детальному описанию одной из них, получившей название "Кристалл".

#### Концепция разработки

Разработка программы "Кристалл", предназначенной для проверки и подбора сечений элементов стальных конструкций в соответствии с требованиями СНиП II-23-81\* "Стальные конструкции", была принята в связи с тем, что среди программных средств САПР, предлагаемых на отечественном рынке, мало программ, ориентированных на расчет элементов стальных конструкций. К тому же большинство имеющихся программ охватывает лишь элементы, нагруженные в одной силовой плоскости, или ориентировано на устаревшую операционную среду MS-DOS. Зарубежные разработки в этой области — например, Robot-97 EC3-Expert — связаны

с применением норм проектирования, отличных от СНиП II-23-81\*, и поэтому не могут использоваться отечественными проектировщиками.

Заметим, что такое положение с программами проверки стальных конструкций, количество которых намного уступает числу программ для расчета элементов железобетонных конструкций, далеко не случайно. Дело в том, что стальные конструкции характеризуются заметно большим разнообразием поперечных сечений и при этом не имеют той особенности железобетонных конструкций, которая связана с относительной неизменностью опалубочных размеров (изменение несущей способности выполняется в основном за счет изменения армирования).

Для стальных конструкций изменение несущей способности, как правило, связано с изменением геометрии сечения. Вторая особенность стальных конструкций связана с гораздо большей значимостью проблем устойчивости элементов и их отдельных частей. Традиционно в расчетных комплексах этим проблемам уделялось намного меньшее внимание, чем вопросам прочностного анализа.

При создании "Кристалла" использовались связанные со СНиП II-23-81\* государственные стандарты, а также "Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81\*) / ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко". Кроме того, учитывались некоторые положения подготовленных, но еще не введенных в действие проектов новых норм (СНиП 53-1-96) и "Общих правил проектирования элементов стальных конструкций и соединений (СП 53-101-96)".

Разработка выполнялась с расчетом не только на опытного проектировщика, но и на пользователя не очень высокой квалификации, который не обязательно должен ориентироваться во всех тонкостях применения довольно сложных нормативных документов, какими являются СНиП II-23-81\* и тот набор документов, на которые в СНиП даются

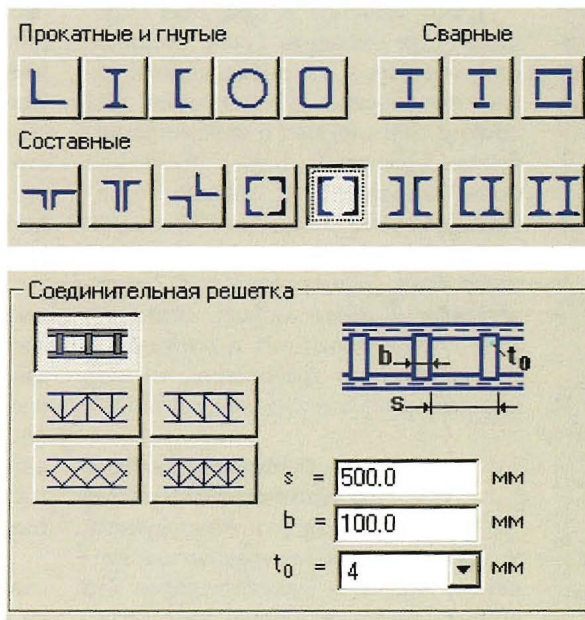


Рис. 1. Используемые типы поперечных сечений и соединительных решеток

внешние ссылки. Пользователь должен быть уверен, что применение специализированной программы избавит его от сомнений относительно полноты и качества всех проверок конструкции на соответствие требованиям норм, то есть программа призвана в полной мере выполнять функции квалифицированной экспертизы. В связи с этим разработчики сознательно отказались от включения в программу режимов работы и проверок, не определенных в СНиП II-23-81\* (не включена, например, проверка на кручение), поскольку это означало бы, что программа допускает отступления от норм или нестрогое следование им.

Предполагается также, что использование программы не должно сопровождаться перелистыванием текста нормативного документа, стандарта на металлопрокат или других изданий — существует ряд вспомогательных функций, реализующих выполнение запроса на справочную информацию.

## Объекты расчета и результаты

Объектами рассмотрения в программе "Кристалл" являются только стержневые конструкции, а рекомендации СНиП II-23-81\*, касающиеся оболочек вращения и мембранных элементов, в программе не

представлены. Поскольку в СНиП II-23-81\* не указываются методы проверки для всех возможных проектных решений (например, способы определения критического значения изгибающего момента для сечения из одиночного уголка), то в большинстве случаев система управления программой не допускает создания такого запроса. Именно с этим обстоятельством связана ориентация "Кристалла" на использование ограниченного набора возможных поперечных сечений элементов (рис. 1), для которых в СНиП II-23-81\* имеются все необходимые рекомендации.

Программа автоматически запрещает работу с конструктивно неудачными сечениями или конфигурациями узловых соединений. Для этого предусмотрен входной контроль исходных данных, осуществляются проверки выполнения конструктивных ограничений СНиП (например, правил расстановки болтов) и конструктивных ограничений, введенных в программу разработчиками (недопустимое сближение ветвей сквозного сечения, слишком крутая или слишком пологая соединительная решетка и т.п.).

В общем случае "Кристалл" выполняет только проверки заданных конструктивных решений стержневых элементов и соединений, но не создает таких решений самостоятельно. Однако для таких наиболее часто используемых конструктивных элементов, как простые балки, колонны и некоторые типы ферм, имеется возможность подбора сечений из элементов сортамента.

Основываясь на представляемых сведениях, проектировщик может гибко и оперативно реагировать на результаты выполненных проверок.

Поскольку любой набор нормативных требований, как правило, может быть представлен в форме списка неравенств вида

$$F(S,R) \leq 1,$$

где  $F$  — функция основных переменных,  $S$  — обобщенные нагрузки (нагрузочные эффекты),  $R$  — обобщенные сопротивления, то, ориен-

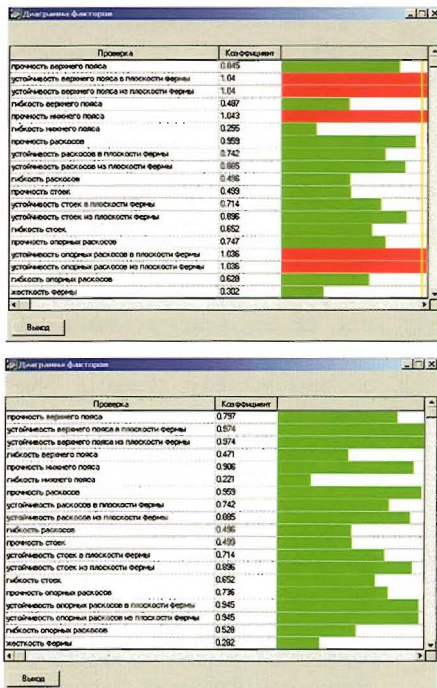


Рис. 2. Представление результатов расчета в виде диаграммы факторов

тируясь на значения функции  $F$ , вводится понятие о коэффициенте использования ограничения ( $K$ ), а критерий проверки представляется в форме

$$\max K \leq 1.$$

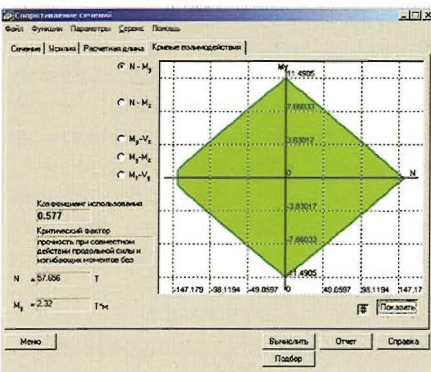
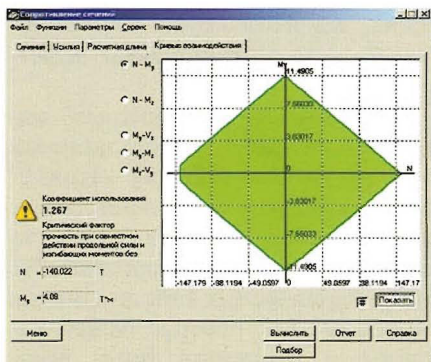


Рис. 3. Область несущей способности сечения

Само значение  $K$  при этом определяет для элемента (узла, соединения, сечения и т.п.) имеющийся запас прочности, устойчивости или другого нормируемого параметра качества (фактора). Если требование норм выполняется с запасом, то коэффициент  $K$  равен относительной величине исчерпания нормативного требования (например,  $K = 0,7$  соответствует 30%-му запасу). Значение  $K > 1$  свидетельствует о нарушении того или иного требования, то есть характеризует степень перегрузки.

### Взаимодействие с проектировщиком

Во время проверки конструкции в диалоговых окнах выводится значение  $K_{\max}$  — максимального (то есть наиболее опасного) из обнаруженных значений  $K$  и указывается тип проверки (прочность, устойчивость, местная устойчивость и т.п.), при которой этот максимум реализовался. Это дает пользователю возможность в необходимых случаях оперативно принять решение об изменении поперечного сечения элемента или других параметров проектирования.

Для случая работы программы в режиме анализа стержневого элемента или соединения, а также для режимов проверки балок, колонн и ферм значения всех полученных коэффициентов  $K$  выводятся на экран в форме наглядной диаграммы факторов. Это позволяет принимать достаточно детальные решения, корректируя неудачную конструкцию с учетом всех нормативных факторов.

Соответствующая иллюстрация представлена на рис. 2, где левая диаграмма факторов относится к исходному варианту проекта фермы (верхний пояс из уголков 80x10, нижний пояс — 56x4, раскосы — 80x9 и стойки — 45x5), а правая характеризует исправленный вариант (верхний пояс из уголков — 80x10, нижний пояс — 60x5, раскосы — 90x9 и стойки 45x5).

Кроме того, для наиболее важного режима

работы программы, когда рассматривается конструкция стержня произвольного назначения (с любым из указанных выше типов поперечных сечений), имеется возможность построить области несущей способности сечения (рис. 3) при действии на него различных пар усилий  $N-M_x$ ,  $N-M_z$ ,  $M_y-Q_z$ ,  $M_z-Q_y$  и  $M_y-M_z$ .

В качестве границы эти области имеют кривые взаимодействия, которые окружают начало координат замкнутой линией. Внутри области располагаются точки с условно допустимыми парами рассматриваемых усилий ( $K_{\max} \leq 1,0$ ). При этом все остальные усилия полагаются равными нулю.

С помощью курсора можно обследовать представленную на графике область изменения усилий. Каждому положению курсора соответствует определенная пара числовых значений действующих усилий, которая отображается в соответствующих окнах. Одновременно выводится и максимальное значение коэффициента использования ограничений, соответствующее этим усилиям, и тип проверки, при которой коэффициент вычисляется. Если курсор располагается в недопустимой точке ( $K_{\max} > 1,0$ ), появляется предупреждение.

### Режимы работы

"Кристалл" имеет двадцать режимов работы, функциональное назначение которых кратко описано ниже. Каждому режиму соответствует кнопка выбора в главном окне программы (рис. 4).

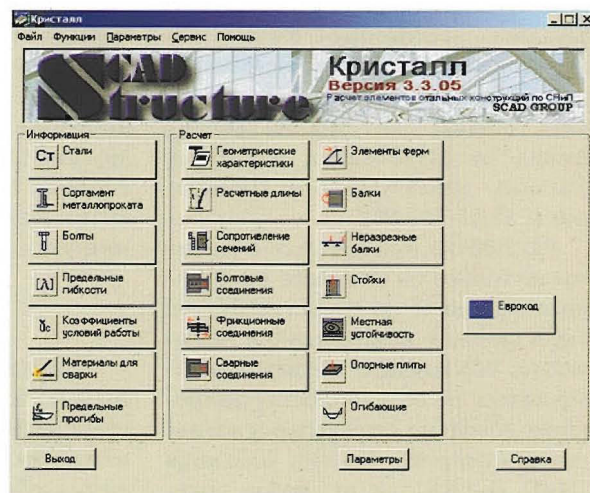


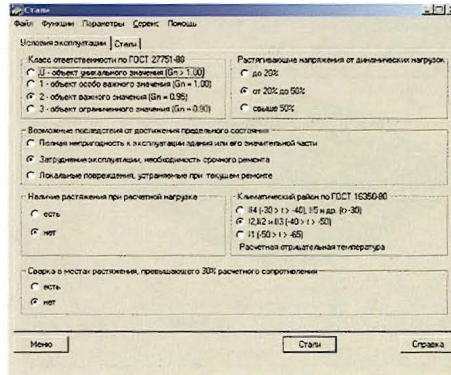
Рис. 4. Главное окно

Первые семь режимов являются в некотором смысле вспомогательными — они должны обеспечить пользователю доступ к нормативной и справочной информации.

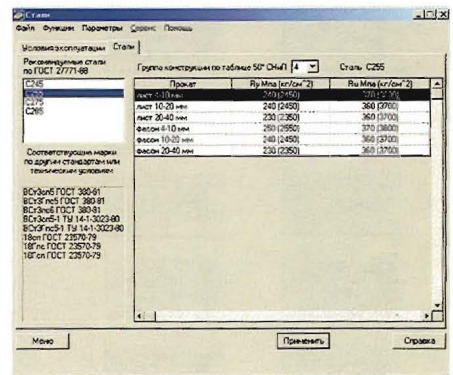
В состав информационных режимов входят:

- **Стали** — реализация рекомендаций СНиП по выбору марок стали (табл. 50\*); при этом учитывается подход, заложенный в проект нового СНиП (рис. 5). Кроме того, выдаются справки о соответствии классов стали по СНиП (по ГОСТ 27771-88) маркам стали по ГОСТ или ТУ (табл. 51б) и справочные данные о механических характеристиках (табл. 51\*).
- **Сортамент металлопроката** — режим дает возможность просмотра сортаментов и отбора профилей проката в базу данных пользователя.
- **Болты** — режим позволяет просматривать сортамент болтов с указанием их класса.
- **Предельные гибкости** — режим предназначен для просмотра и выбора значений предельных гибкостей по рекомендациям СНиП (табл. 19\* и 20\*).
- **Коэффициенты условий работы** — режим предназначен для просмотра и выбора значений коэффициентов условий работы элементов ( $\gamma_c$ ) и соединений ( $\gamma_{c1}$ ,  $\gamma_{ce}$ ,  $\gamma_n$ ) по рекомендациям СНиП (табл. 6\*, 35\*, 44\*, 46 и 48).
- **Материалы для сварки** — с помощью этого режима реализуется функция выбора сварочных материалов для проектируемой конструкции. Выбор реализуется в соответствии с указаниями табл. 55\* СНиП II-23-81\*.
- **Предельные прогибы** — даны таблицы 19, 21, 22 СНиП 2.01.07-85\* "Нагрузки и воздействия" с ограничениями на прогибы элементов конструкций.

Следующие режимы являются функциональными и предназначены для проверки конструктивных решений стальных конструкций и соединений на соответствие требованиям СНиП по прочности, устойчивости и гибкости или же для реализации некоторой части таких проверок, представляющей самостоятельный интерес.



а)



б)

Рис. 5. Режим "Стали":

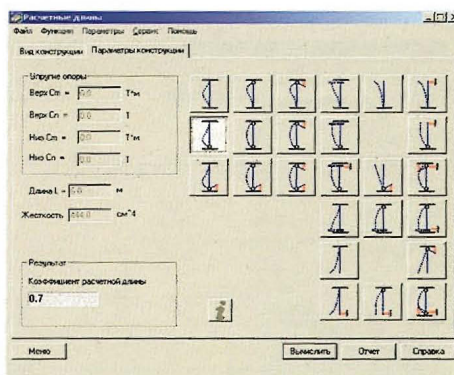
а — исходные данные; б — рекомендации по выбору стали

- **Геометрические характеристики** — режим реализует вычисление всех геометрических характеристик поперечного сечения. Для вычисления крутильной жесткости  $I_t$  и секториальной жесткости  $I_w$  привлекаются формулы Eurocode 3 (ENV 1993-1-1. Eurocode 3: Design of steel structures — Part 1.1: General rules and rules for buildings).
- **Расчетные длины** — здесь реализованы рекомендации из таблиц 11, 12, 13\* и 17,а СНиП (рис. 6); кроме того, имеется возможность воспользоваться рекомендациями Eurocode 3 по определению расчетных длин стоек для рамной конструкции.

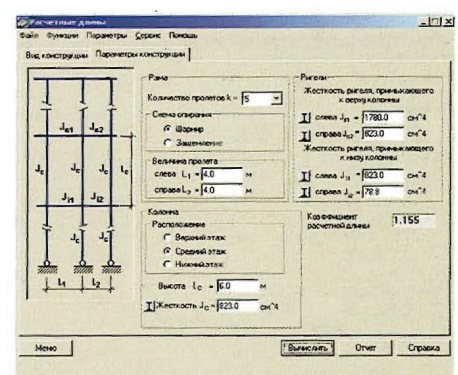
Приведенные выше ссылки на Eurocode 3 нуждаются в пояснении ввиду кажущегося отхода от принципа строгого следования правилам СНиП. Возможно, здесь рассматривается к строительной механике, которая по сути своей интернациональна

и этим отличается от вопросов безопасности, являющихся предметом рассмотрения национальных норм. Поэтому использование зарубежных норм в данном случае возможно.

- **Сопротивление сечений** — в этом основном режиме работы программы определяются коэффициенты использования ограничений для любого из шестнадцати типов поперечных сечений. Проверки выполняются по всем пунктам раздела 5 СНиП, по плоской и пространственной схемам нагружения при действии всего возможного набора усилий. Кроме расчета на вполне определенное нагружение, имеется возможность построить кривые взаимодействия для любых допустимых комбинаций пар усилий.
- **Болтовые соединения** — для определенного числа наиболее часто используемых конструктивных решений болтовых соединений (присоединение уголков к фанкам, соединение на накладках



а)



б)

Рис. 6. Режим "Расчетные длины": а — простые стойки; б — рамы

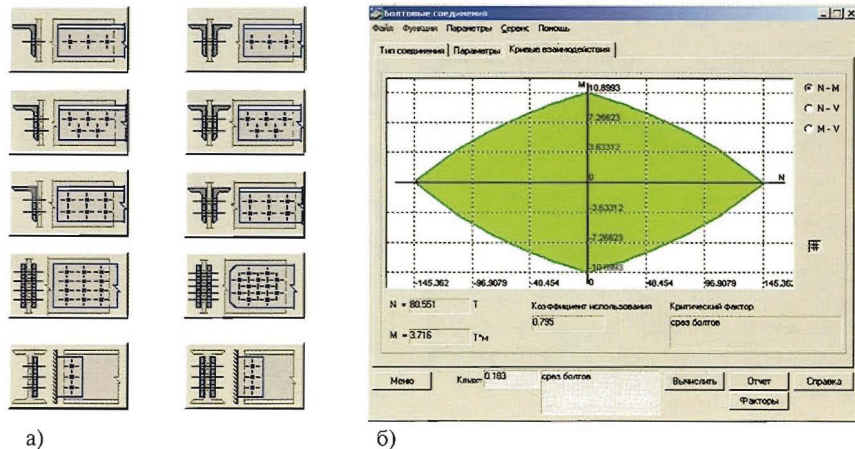


Рис. 7. "Болтовые соединения":  
а — конструкции; б — кривая взаимодействия

и др.) определяются коэффициенты использования ограниченных и строятся кривые взаимодействия для любых допустимых комбинаций пар усилий (рис. 7).

- Фрикционные соединения — аналогичен предыдущему режи-

му, но содержит набор конструктивных решений, характерных для соединений этого типа.

- Сварные соединения — режим предоставляет возможность проверки сварных соединений следующих трех основных типов:

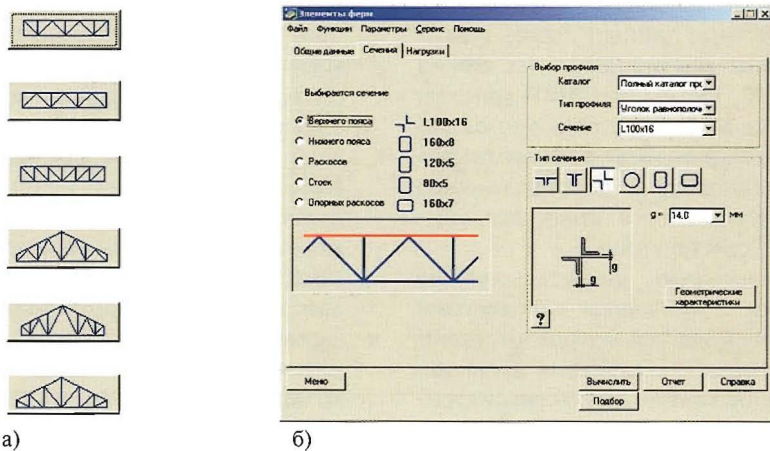


Рис. 8. Режим "Элементы ферм":  
а — типы решеток; б — выбор поперечных сечений

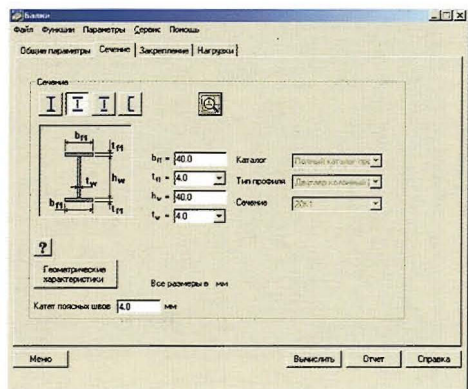


Рис. 9. Сечения балок

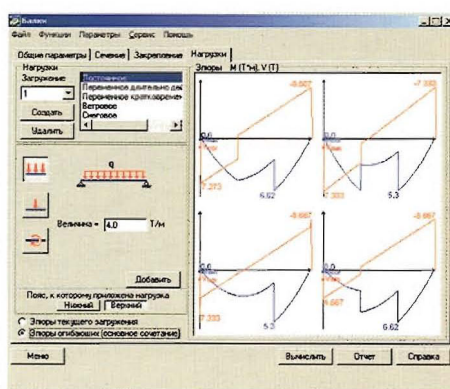


Рис. 10. Огибающие эпюры

присоединения одиночных и спаренных уголков к фасонке, нахлесточные присоединения листов; торцевое присоединение листа, двутавра, швеллера или прямоугольной трубы.

- Элементы ферм — этот режим реализует все необходимые проверки элементов балочных ферм (рис. 8) на прочность и устойчивость. Работа начинается с определения расчетных значений усилий от задаваемых внешних нагрузок для схем конструкций, чаще всего используемых на практике.

Для этого режима имеется вариант работы с подбором сечений из сортамента. При подборе последовательно перебираются элементы сортамента уголков, скомпонованные в парные сечения (если  $K > 1$  — в сторону увеличения сечения, а в противном случае — в сторону уменьшения), до тех пор, пока для каждой группы элементов не будет найдено наиболее легкое сечение, удовлетворяющее требованиям СНиП.

- Балки — режим аналогичен предыдущему, но ориентирован на рассмотрение однопролетных балок с различными условиями опирания (шарнирные, с защемлениями, консольные) и сечениями в виде двутавра или швеллера (рис. 9).
- Неразрезные балки — режим аналогичен режиму "Балки" и позволяет рассматривать многопролетные балки (до пяти пролетов), которые могут иметь консоли по концам.

Строятся эпюры моментов и поперечных сил, реализуется построение огибающих (рис. 10) в соответствии с требованиями СНиП II-01-07-85 ("Нагрузки и воздействия"). Выполняются все проверки прочности и устойчивости, включая проверки устойчивости плоской формы изгиба. Для балок из прокатных двутавров и швеллеров имеется возможность реализовать подбор сечений по такому же способу, как для элементов ферм.

- Стойки — аналогичный предыдущему режим, ориентированный на рассмотрение колонн и стоек различного поперечного сечения.
- Местная устойчивость — этот ре-

жим реализует проверку местной устойчивости стенок и поясных листов изгибаемых и сжатых элементов для двутавровых стержней без ребер или с поперечными ребрами жесткости.

- Опорные плиты — рассматриваются части плиты базы колонны при различных вариантах их окаймления ребрами; имеется возможность подобрать необходимую толщину плиты.
- Огибающие — для балок с различными условиями опирания строятся огибающие эпюры моментов

и поперечных сил при действии постоянных и временных нагрузок (рис. 10) в соответствии с требованиями СНиП II-01-07-85 ("Нагрузки и воздействия").

## Настройка программы и сервис

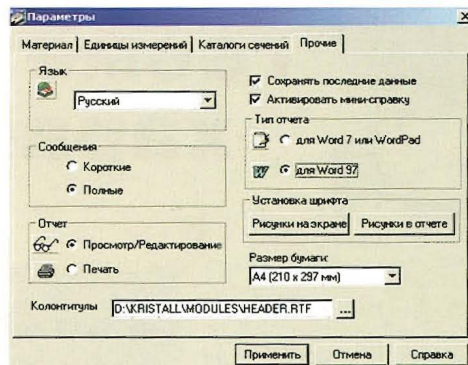
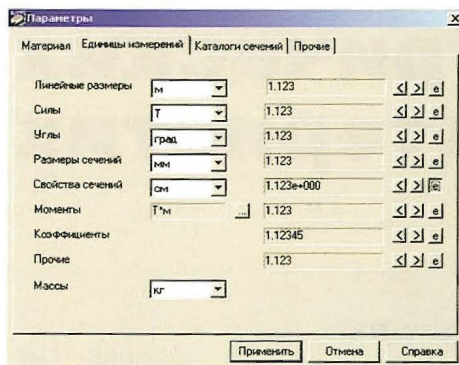
Пользователю предоставлена возможность настроить программу "Кристалл", выбирая различные параметры (рис. 11), например:

- единицы измерений;
- используемые каталоги металлопроката (по ныне действующим

стандартам, по сокращенному сортаменту, по стандартам 30-50-х годов и т.п.);

- язык общения, на котором будут представлены все тексты в управляющих окнах, оформлены результаты работы и др.;
- формат представления данных (количество значащих цифр при представлении данных в форме с десятичной точкой или экспоненциальном представлении);
- стиль оформления результатов.

Имеется возможность просмотреть текст создаваемого отчета на экране и отредактировать его. Для этого используется приложение, ассоциированное с форматом RTF-файла (например, WordPad или MS Word).



а)

б)

Рис. 11. Выбор параметров: а — единицы измерения; б — стиль общения и печать

*Эдуард Криксунов,  
Михаил Микитаренко  
Анатолий Перельмутер  
Михаил Перельмутер  
SCAD Soft  
Тел. (044) 243-8351  
E-mail: scad@scadgroup.com  
Internet:  
<http://www.scadgroup.com>*

# СПДС Graphics

**Consistent  
Software**

- Содержит интеллектуальные инструменты архитектурно-строительной графики
- Строго соответствует ГОСТам
- Работает в среде AutoCAD 2000
- Выполняет самые рутинные операции по оформлению чертежей
- Полезен для всех разделов строительного проектирования
- Идеально прост в изучении

**Consistent Software®**