

SCAD Group



Т О Н У С

**Формирование тонкостенных
сечений и расчет их
геометрических характеристик**

Руководство пользователя

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ АВТОРОВ.....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
СИСТЕМА КООРДИНАТ.....	6
ВЫЧИСЛЯЕМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	6
ФАЙЛЫ, СОЗДАВАЕМЫЕ ПРОГРАММОЙ.....	6
ОБЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ	7
ПАРАМЕТРЫ НАСТРОЙКИ	7
<i>Единицы измерений</i>	7
<i>Прочие параметры</i>	7
<i>Шкала напряжений</i>	9
МЕНЮ.....	9
СТРОКА СОСТОЯНИЯ	11
ОПЕРАЦИИ.....	11
<i>Новое сечение</i>	11
<i>Загрузить ранее созданное сечение</i>	12
<i>Сохранить сечение</i>	12
<i>Показать координатные оси</i>	13
<i>Показать размерную сетку</i>	13
<i>Показать главные оси инерции</i>	13
<i>Показать центр тяжести сечения</i>	13
<i>Центр изгиба</i>	13
<i>Замкнутые контура</i>	13
<i>Показать без толщин</i>	14
<i>Вычислить характеристики сечения</i>	14
<i>Показать поле нормальных напряжений</i>	15
<i>Увеличение и уменьшение изображения сечения</i>	16
<i>Сформировать отчет</i>	16
ОКНО ПРОГРАММЫ	16
<i>Курсоры</i>	17
ВВОД СЕЧЕНИЯ	18
<i>Размеры сечения</i>	18
<i>Координатная сетка</i>	19
<i>Полоски</i>	19
<i>Удаление полосок</i>	20
<i>Толщины</i>	20
<i>Вершины</i>	20
<i>Удаление вершин</i>	20
<i>Привязка к сетке</i>	20
<i>Отмена</i>	20
<i>Сглаживание углов</i>	21
<i>Перемещение группы выбранных вершин</i>	22

<i>Сдвиг начала координат</i>	22
<i>Таблица вершин</i>	23
<i>Таблица полосок</i>	24
<i>Вызов справки</i>	24
<i>О программе</i>	25
<i>Параметрические сечения</i>	25
<i>Импорт файлов AutoCAD</i>	26
<i>Экспорт данных в STAAD-III</i>	26
ПРИЛОЖЕНИЯ	26
1. ФОРМАТ ФАЙЛА	26
2. РАСШИРЕНИЕ НАБОРА ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СЕЧЕНИЙ	27
3. ПРОГРАММНЫЙ ИНТЕРФЕЙС	30
4. ЭКСПОРТ ДАННЫХ	32
ЛИТЕРАТУРА	32

От авторов

Программа **Тонус** входит в пакет программ, предназначенных для формирования сечений и расчета их геометрических характеристик [1], и может быть использована для анализа сечений тонкостенных стержней, то есть стержней, имеющих вид достаточно длинных цилиндрических оболочек. Как и другие программы пакета, программа функционирует в среде Windows 95/98/NT/2000. Большинство функций управления ее работой аналогичны функциям, приведенным в [1], и поэтому в данном руководстве описываются достаточно кратко.

Программа разработана авторским коллективом **SCAD Group** в составе: Криксунова Э.З., Перельмутера А.В., Перельмутера М.А., Рудь Д.Н..

Предисловие

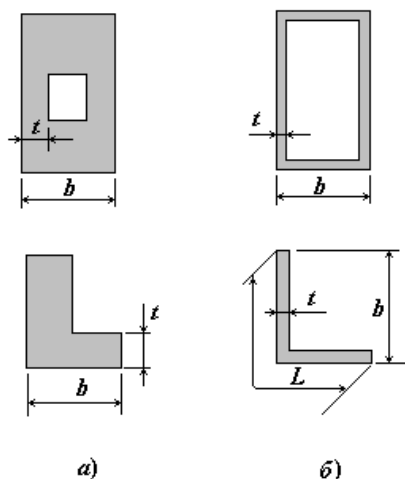


Рис. 1

Тонкостенные стержни входят в состав самых разнообразных инженерных сооружений, относящихся к различным областям техники. В некоторых случаях такая расчетная модель описывает сооружение в целом (например многоэтажное здание с несущими стенами или пролетное строение моста), в других случаях — важные несущие компоненты силового каркаса.

В строительной механике *стержнем* называется тело, у которого максимальный габаритный размер поперечного сечения b_{max} намного меньше его длины l .

В *массивных стержнях* наименьший размер поперечного сечения t_{min} имеет одинаковый с b_{max} порядок величины (рис.1, а). В *тонкостенном стержне* $t_{min} \ll b_{max}$ и, разумеется, $t_{min} \ll L$, где L — длина контурной линии поперечного сечения тонкостенного стержня [2] (рис.1, б). Обычно стержень считают тонкостенным, если выполняются неравенства:

$$t/b < 0,1; \quad b/l < 0,1.$$

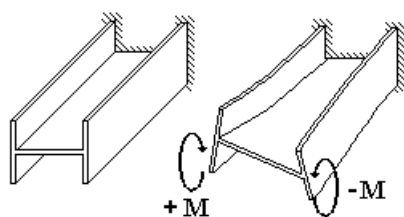
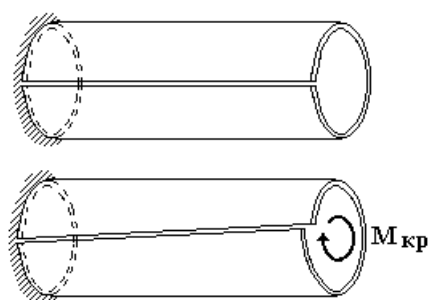


Рис. 2

Основное отличие в поведении тонкостенного стержня под нагрузкой от работы массивного стержня состоит в возможном нарушении гипотезы плоских сечений. Типичным примером может служить свободное кручение стержня открытого профиля (труба с продольным разрезом) или же деформация двутавра, загруженного на торце бимоментом (рис. 2). Отклонение от гипотезы плоских сечений (*депланация*) в большей мере характерна для тонкостенных стержней *открытого профиля* и в меньшей — для тонкостенных стержней *замкнутого профиля*.

Теория расчета стержней подобного вида для случаев открытого и замкнутого профилей развита в работах В.З.Власова [3] и А.А.Уманского [4],[5] (см. также [6]).

Программа **Тонус** позволяет рассматривать произвольные (в том числе открыто-замкнутые) профили; при этом используется вариант единой теории тонкостенных стержней, предложенный Е.А.Бейлиным [7]. В отличие от программ **Конструктор Сечений** и **Консул**, здесь реализован другой подход к формированию модели поперечного сечения. Предполагается, что сечение является тонкостенным и формируется из полосок заданием их толщины и определением положения их срединной линии.

Система координат

Используется правоориентированная декартова система координат (X, Y, Z) . Ось X — продольная ось стержня, направленная из плоскости чертежа на наблюдателя. Ось Z мыслится вертикальной и направленной на чертеже снизу вверх, ось Y — горизонтальная с положительным направлением вправо.

Главные центральные оси сечения обозначаются символами U и V .

Вычисляемые характеристики

Для сконструированного сечения **Тонус** определяет:

- площадь поперечного сечения A ;
- значения моментов инерции I_y и I_z относительно центральных осей, параллельных координатным осям Y и Z ;
- радиусы инерции i_y и i_z относительно тех же осей;
- момент инерции при свободном кручении I_t ;
- координаты центра тяжести;
- значение угла наклона главных центральных осей инерции (угол α между осями U и Y);
- максимальный I_u и минимальный I_v моменты инерции;
- максимальный i_u и минимальный i_v радиусы инерции;
- максимальный W_{u+} и минимальный W_{u-} моменты сопротивления относительно оси U ;
- максимальный W_{v+} и минимальный W_{v-} моменты сопротивления относительно оси V ;
- ядровое расстояние от оси U , отсчитываемое вдоль положительного (a_{u+}) и отрицательного (a_{u-}) направления оси V ;
- ядровое расстояние от оси V , отсчитываемое вдоль положительного (a_{v+}) и отрицательного (a_{v-}) направления оси U ;
- периметры сечения: полный — P , внешний — P_e и внутренний — P_i ;
- условные площади среза ($A_{v,y}$, $A_{v,z}$);
- моменты инерции относительно системы координат, в которой создавалось сечение;
- координаты центра изгиба;
- секториальный момент инерции.

Необходимо отметить, что в случае сечений с равными моментами инерции ($I_y = I_z$) угол α является неопределенным и, показываемые на экране оси, являются, в какой-то мере, случайными. Эллипс инерции вырождается в круг инерции ($i_y = i_z = i_u = i_v$), и любая ортогональная пара центральных осей может быть названа главной.


Вычисление геометрических характеристик не является самоцелью. Предполагается, что результаты расчета будут использованы при дальнейшем исследовании напряженно-деформированного состояния, в частности, при задании исходных данных в **любой** программе прочностного расчета. Кроме того, программа может быть использована для определения *жесткостных характеристик зданий и сооружений* и их элементов. Сама программа **Тонус** позволяет получить поля нормальных напряжений, если заданы внутренние усилия в сечении.

Файлы, создаваемые программой

Тонус может создавать, сохранять результаты и читать файлы в формате с расширением **.TNS**, в котором хранится информация о сечении.

Общие элементы управления

Параметры настройки

Тонус содержит функции настройки, с помощью которых назначаются единицы измерения основных величин и правила формирования отчета, настраиваются цветовые шкалы и др. Эти функции сосредоточены в многостраничном диалоговом окне **Параметры**. Окно **Параметры** может быть вызвано из раздела меню **Файл**, а также из инструментальной панели (кнопка **Параметры** — ).

Единицы измерений

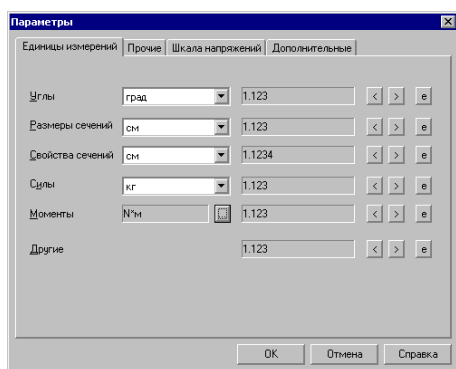






Рис. 3. Страница Единицы измерений диалогового окна **Параметры**

Страница **Единицы измерений** (рис. 3) используется для назначения единиц, в которых описываются угловые (**Углы**) и линейные размеры (**Размеры сечений**), а также результаты расчета характеристик сечения (**Свойства сечений**), **Силы** и **Моменты**. Единицы выбираются из соответствующих выпадающих списков. Для моментов предусмотрена возможность раздельного выбора единиц измерения сил и единиц измерения плеч (кнопка ). Точность представления данных (количество значащих цифр после запятой) назначается с помощью кнопок  и , а установка экспоненциальной формы числа — кнопкой .

При назначении точности представления размеров сечения следует обратить внимание на то, что этот параметр влияет и на результаты операции измерения расстояния между точками сечения.

Прочие параметры

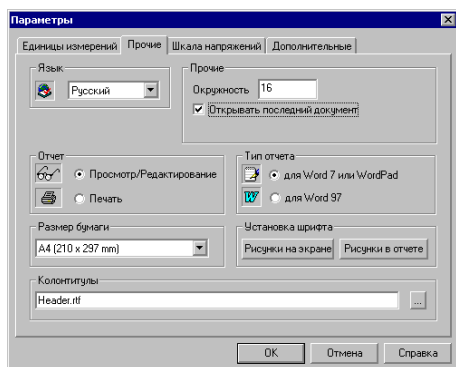


Рис. 4. Страница **Прочие** диалогового окна **Параметры**

На странице **Прочие** (рис. 4) выполняется настройка следующих параметров:

- язык выдачи сообщений;
- режим работы с отчетом (просмотр/редактирование, печать);
- тип отчета (формат **RTF** файла);
- размер бумаги для печати отчета;
- установка стиля и размера шрифтов;
- наименование файла с колонтитулами отчета.

Кроме того, доступны следующие дополнительные опции:

- автоматическое открытие последнего проекта при загрузке программы;
- задание количества узлов на полной окружности при скруглении углов.

Язык выдачи сообщений — определяет язык

представления информации и выбирается из выпадающего списка.

Для работы с отчетным документом в группе **Отчет** может быть выбран режим **Просмотр/Редактирование** или режим **Печать**.

В режиме **Просмотр/Редактирование** нажатие на инструментальной панели кнопки **Отчет** позволяет просмотреть текст отчета на экране и отредактировать его. Для этого вызывается приложение, ассоциированное с форматом **RTF** файла (например, WordPad или MS Word). Естественно, что за исправления, внесенные в текст отчета (особенно, если исправлены результаты расчета), ответственность несет пользователь.

Включение переключателя **Печать** в группе **Отчет** вызывает печать отчета в той форме, в которой он сформирован программой.

В группе **Тип отчета** определяется формат **RTF** файла (MS Word v.7 / WordPad или MS Word 97). Здесь следует отметить, что корректное изображение сечения можно получить только при использовании программы MS Word 97. В MS Word v.7 содержатся ошибки, которые, как правило, не позволяют отобразить такого вида графическую информацию.

Опция **Размер бумаги** позволяет установить формат бумаги, на которой печатается отчет (размер выбирается из выпадающего списка).

Установка стилей и размеров шрифтов при оцифровке рисунков (группа **Установка шрифта**) выполняется раздельно для изображения на экране (кнопка **Рисунки на экране**) и отчета (кнопка **Рисунки в отчете**). При этом открывается стандартное окно Windows, в котором выбирается шрифт, стиль и размер для представления информации (номера опорных узлов, наименование осей и т.п.).

Параметр **Колонтитулы** служит для выбора имени файла (формата **RTF**), в котором хранятся колонтитулы. Причем пользователь может сам создать или модифицировать этот файл.

Если активна опция **Автоматически открывать последний проект**, то при загрузке программы будет одновременно загружаться и последний проект.

Параметр **Окружность** определяет количество узлов, используемых при выполнении операция скругления углов для аппроксимации вписанной окружности ломаной линией. Количество точек на дуге скругления будет пропорционально центральному углу дуги.

Шкала напряжений

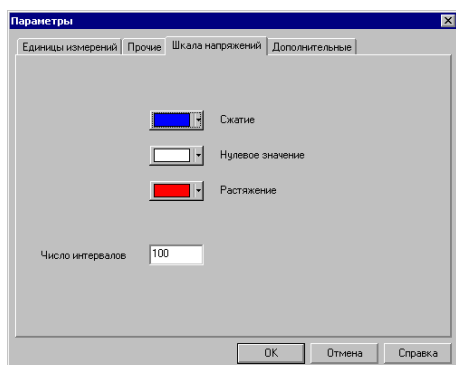


Рис. 5. Страница Шкала напряжений диалогового окна Параметры

На странице **Шкала напряжений** (рис. 5) выполняется выбор цветов для отображения сжатых и растянутых участков сечения при демонстрации полей нормальных напряжений. Кроме того, в зависимости от выбранной величины **Число интервалов**, цветовая шкала будет более или менее «гладкой».

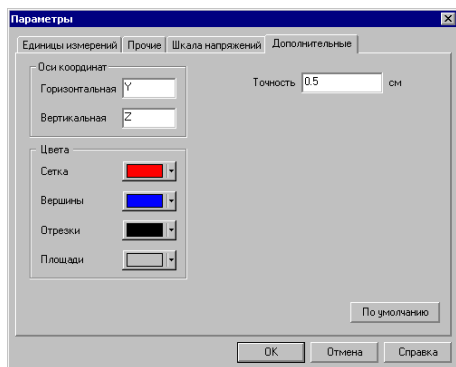


Рис. 6. Страница Дополнительные диалогового окна Параметры

Страница **Дополнительные** (рис. 6) используется при назначении цветов основных элементов изображения на экране:

Сетка — размерная сетка;

Вершины — вершины полосок, образующих стенки сечения;

Полоски — стенки сечения;

Площади — “заливка” стенок сечения.

Кроме того, на этой странице назначается точность оценки совпадающих узлов в процессе формирования сечения (поле ввода **Точность**).

Меню

Меню расположено в верхней части окна и содержит пять разделов: **Файл**, **Редактировать**, **Вид**, **Сервис** и **Справка**.

Раздел **Файл** включает следующий набор операций:

- **Новый** — создание нового сечения (комбинация «горячих клавиш» — **Ctrl+N**);
- **Открыть** — загрузка ранее созданного сечения (комбинация «горячих клавиш» — **Ctrl+O**);
- **Сохранить** — сохранение на диске сформированного сечения (комбинация «горячих клавиш» — **Ctrl+S**);
- **Сохранить как...** — сохранение сформированного сечения (файла) под новым именем;
- **Заккрыть** — закрыть сечение;
- **Отчет** — формирование отчета с характеристиками сечения;
- **Расчет** — вычисление геометрических характеристик сечения;
- **Поля напряжений** — построение полей нормальных напряжений;
- **Параметры** — настройка параметров работы программы;

- **Параметрические сечения** — создание сечения на основе набора прототипов;
- **Подбор эквивалентного сечения** — вызов программы **СЕЗАМ**, предназначенной для поиска сечения (коробки, двутавра или швеллера), которое наиболее близко аппроксимирует созданное произвольное сечение по геометрическим характеристикам;
- **Экспорт в STAAD-III** — выполняется экспорт данных в программу STAAD-III;
- **Импорт DXF, DWG** — выполняется импорт сечения, созданного средствами системы AutoCAD;
- **Переслать** — активизация режима передачи файла с описанием сечения по электронной почте;

Раздел **Редактировать** включает следующий набор операций:

- **Отменить** — отмена предыдущей операции;
- **Габариты** — задание габаритов сечения;
- **Шаг сетки** — назначение шага размерной сетки;
- **Начало координат** — перенос начала системы координат;
- **Притягивать к сетке** — режим автоматической привязки вводимых вершин к узлам размерной сетки;
- **Полоски** — ввод полосок;
- **Вершины** — ввод вершин путем указания курсором в поле ввода;
- **Удаление полосок** — удаление ранее введенных полосок;
- **Удаление вершин** — удаление ранее введенных вершин;
- **Переместить** — перемещение группы выбранных вершин;
- **Сглаживание углов** — сглаживание выбранного угла дугой окружности заданного радиуса;
- **Толщины** — задание толщины стенкам сечения.

Раздел **Вид** содержит следующие операции:

- **Панели инструментов** — отображение выбранных разделов инструментальной панели;
- **Сетка** — отображение размерной сетки в рабочем поле;
- **Координатные оси** — отображение координатных осей сечения;
- **Показать без толщин** — отображение контура сечения без учета толщины стенок;
- **Центр масс** — отображение положения центра тяжести сечения;
- **Центр изгиба** — отображение положения центра изгиба сечения;
- **Главные оси** — отображение главных осей инерции сечения;
- **Показать замкнутые контура** — выделение цветом замкнутых контуров сечения;
- **Увеличить изображение** — пошаговое увеличение изображения сечения в рабочем поле;
- **Уменьшить изображение** — пошаговое уменьшение изображения сечения в рабочем поле (операция становится доступна только после увеличения изображения сечения);
- **Показать все** — исходное изображение сечения.

Из раздела меню **Сервис** можно вызвать стандартный калькулятор Windows, калькулятор для расчета по формулам и программу преобразования единиц измерения.

Раздел меню **Справка** включает операции доступа к справочной информации.

Строка состояния

Строка состояния (рис. 7) включает три поля: **Габариты сечения**, координаты текущего положения курсора и **Расстояние**. В первом поле отображаются заданные габариты сечения. Во втором поле выводятся координаты курсора. Третье поле используется для вывода расстояния между двумя точками сечения в режиме измерения.

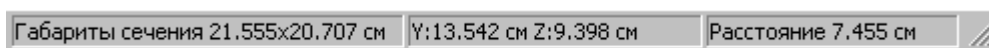


Рис. 7. Строка состояния

Операции

Установка курсора на определенную кнопку на инструментальной панели и нажатие левой клавиши мыши активизирует соответствующую операцию или команду. Здесь и далее для обозначения указанной последовательности действий будет применяться выражение «нажатие кнопки на инструментальной панели».

Новое сечение



Эта операция используется для подготовки программы к созданию нового сечения. В результате ее выполнения рабочее поле приводится в исходное состояние. Если текущее сечение было модифицировано, но не сохранялось, появляется запрос-предупреждение с предложением его сохранить (рис. 8).

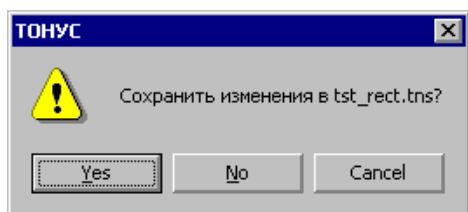


Рис. 8. Окно сообщений

Загрузить ранее созданное сечение



С помощью этой операции выполняется загрузка ранее сформированного сечения. После активизации операции появляется стандартное окно среды Windows со списком файлов, имеющих расширение **.TNS** (рис. 9). Как и в предыдущем случае, выполняется проверка и, при необходимости, выдается запрос-предупреждение о сохранении текущего сечения (рис. 8).

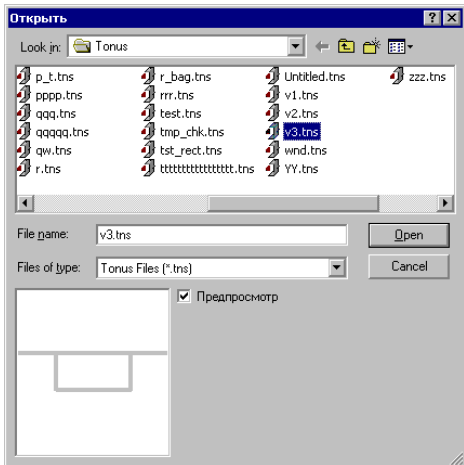


Рис. 9. Диалоговое окно Загрузить сечение

Сохранить сечение



Операция предназначена для сохранения данных о новом сечении в файле. После активизации операции появляется стандартное окно Windows, в котором следует ввести имя файла (рис. 10).

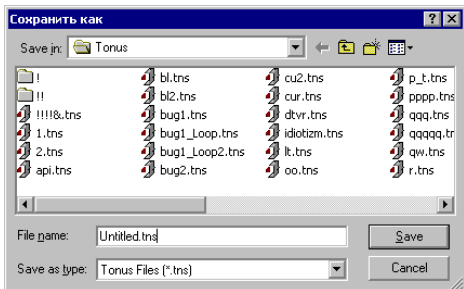


Рис. 10. Диалоговое окно Сохранить сечение

**Показать
координатные оси**

С помощью этой кнопки включают отображение осей основной системы координат конструируемого сечения в рабочем поле.

**Показать размерную
сетку**

Кнопка используется для включения отображения размерной сетки в рабочем поле. **Шаг сетки** назначается при вызове соответствующей операции из раздела меню **Параметры** или нажатием одноименной кнопки на инструментальной панели.

**Показать главные
оси инерции**

Кнопка включает отображение главных осей инерции конструируемого сечения в рабочем поле.

**Показать центр
тяжести сечения**

(красного цвета)

Кнопка включает отображение положения центра тяжести конструируемого сечения в рабочем поле.

Центр изгиба

(синего цвета)

Кнопка включает отображение положения центра изгиба конструируемого сечения в рабочем поле.

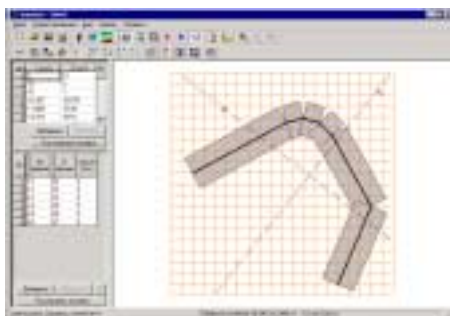
Замкнутые контура

Если эта опция активна, то все замкнутые контура будут отмечены красным цветом. Распознавание таких контуров выполняется автоматически.

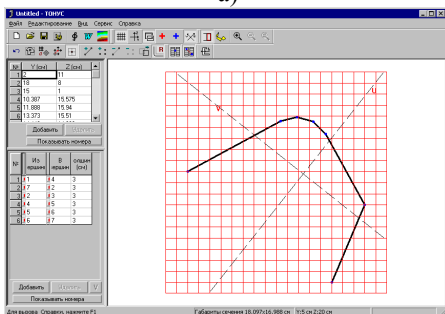
Показать без толщин



В зависимости от состояния этой кнопки в рабочем поле будет отображаться все сечение (кнопка отжата) или только его контур, т.е. срединные линии полосок (рис. 11а и 11б соответственно).



а)



б)

Рис. 11. Отображение сечения в рабочем поле

Вычислить характеристики сечения



После активизации этой операции выполняется расчет геометрических характеристик сечения и появляется диалоговое окно (рис. 12), в котором эти характеристики представлены. Значения характеристик выводятся с назначенной точностью и в установленных для текущего сечения выходных единицах измерения (см. раздел **Единицы измерений**).

Нажатие кнопки **Параметры** —  позволяет изменить единицы измерения.

Параметр	Значение	Единицы
A	139.0	мм ²
α	0.0	град
I_y	14299.999	мм ⁴
I_z	9600.0	мм ⁴
I_t	66.667	мм ⁴
i_y	10.143	мм
i_z	8.311	мм
W_{y+}	1144.0	мм ³
W_{y-}	1144.0	мм ³
W_{z+}	960.0	мм ³
W_{z-}	600.0	мм ³
$W_{pl,y}$	357.255	мм ³
$W_{pl,z}$	0.0	мм ³
I_u	14299.999	мм ⁴
I_v	9600.0	мм ⁴
i_u	10.143	мм
i_v	8.311	мм

Рис. 12. Диалоговое окно Геометрические характеристики

Показать поле нормальных напряжений



После активизации этой опции появляется диалоговое окно **Усилия в сечении** (рис. 13), в котором необходимо указать моменты M_u и M_v , действующие относительно главных осей, и нормальную силу, приложенную в центре масс сечения. После выхода из окна в сечении отображаются изополя распределения нормальных напряжений (рис. 14).

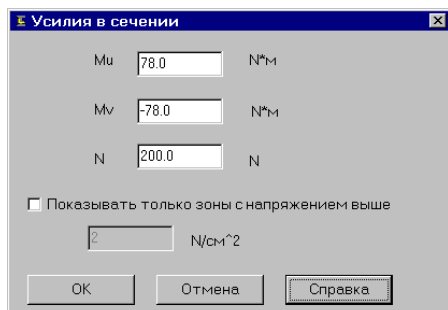


Рис. 13. Диалоговое окно **Усилия в сечении**

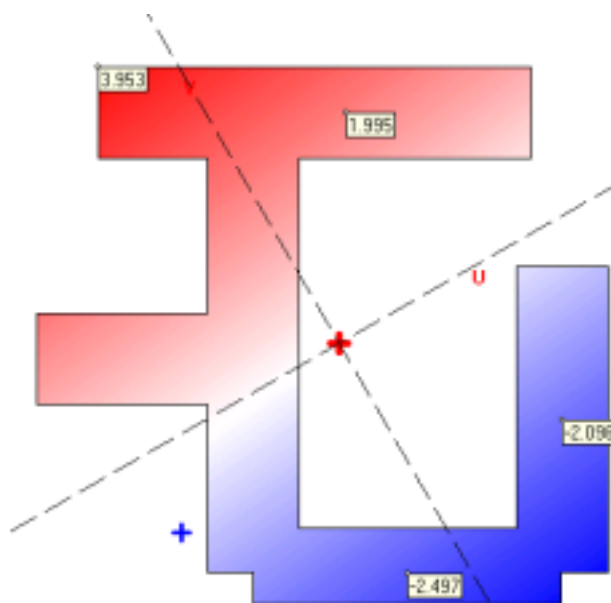


Рис. 14. Поле нормальных напряжений

Если в режиме отображения полей нормальных напряжений необходимо сменить значения усилий в сечении, то следует выполнить следующие действия:

- ☞ нажать правую кнопку мыши (курсор должен находиться в рабочем поле);
- ☞ в появившемся диалоговом окне **Усилия в сечении** (рис. 13) ввести новые значения;
- ☞ выйти из окна, нажав кнопку **ОК**.

Опция **Показывать только зоны с напряжением выше...** используется в тех случаях, когда требуется получить

поля только для тех участков сечения, значения напряжения в которых превышают по абсолютной величине заданное. Для этого необходимо в диалоговом окне активизировать указанную опцию и ввести значение предельной величины напряжения.


При необходимости могут быть показаны значения напряжений в любой точке сечения. Для этого достаточно подвести курсор к интересующей точке и нажать левую кнопку мыши (значения в точках, в которых реализуются минимальные и максимальные значения, показываются всегда).




В данном режиме, по мере перемещения курсора в зоне сечения, в строке состояния отображается значение нормального напряжения в точке, соответствующей положению курсора.

Увеличение и уменьшение изображения сечения



Изображение сечения может быть увеличено. Каждое нажатие кнопки  — **Увеличить изображение** увеличивает линейный масштаб сечения на 10%. Максимальный масштаб соответствует увеличению изображения сечения в два раза. Если масштаб был увеличен, то вдоль правой и нижней границ **Рабочего поля** устанавливаются полосы прокрутки, с помощью которых можно изменить положение сечения в рабочем поле.

Уменьшение изображения выполняется кнопкой  — **Уменьшить изображение**, каждое нажатие которой уменьшает изображение на 10% вплоть до номинального размера изображения в окне.

Сформировать отчет



После активизации этой операции формируется отчет с характеристиками выбранного сечения. Отчет представляет собой файл в формате **RTF** (Rich Text Format). После завершения формирования отчета автоматически вызывается приложение, с которым ассоциирован формат **RTF** (например, MS Word или WordPad). При использовании программы MS Word существенной является его версия (это связано с изменениями формата данных). Версия установленной на компьютере программы задается при назначении параметров настройки (см. раздел **Прочие параметры**).

Окно программы

Окно программы **Тонус** (рис. 15) включает меню, инструментальную панель, рабочее поле (с полосами прокрутки при необходимости), панель таблиц и строку состояния.

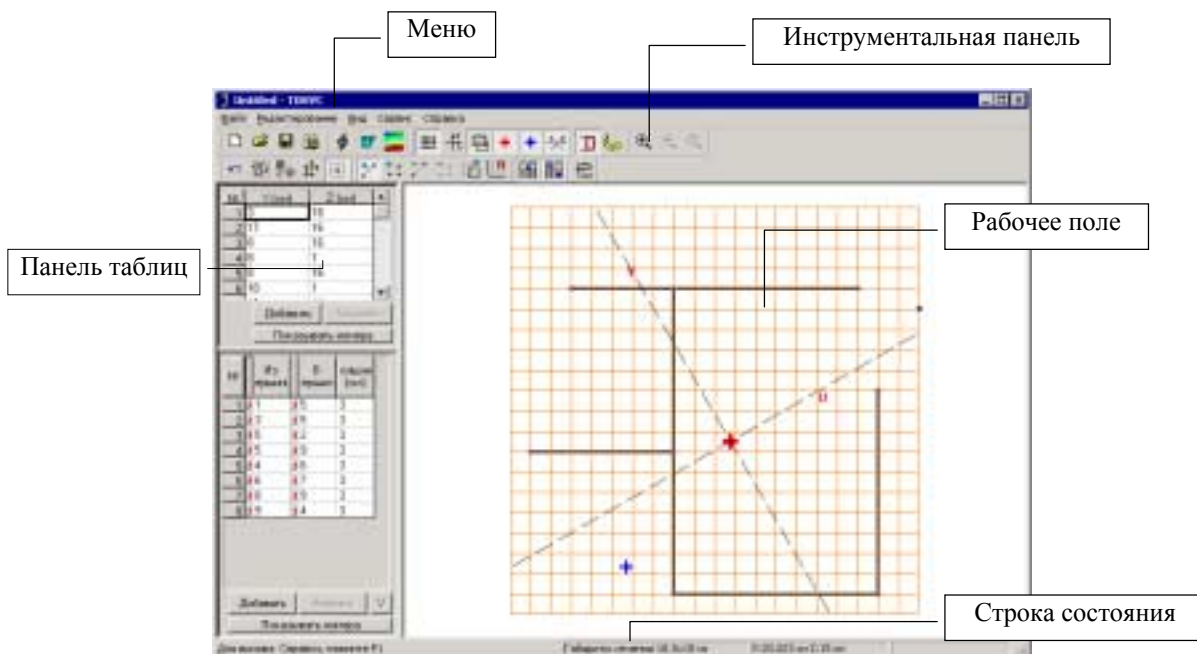





Рис. 15. Общий вид окна программы **Тонус**


Курсоры


Все операции в рабочем поле выполняются с помощью курсора. При выполнении некоторых операций форма курсора меняется. Ниже приводится перечень таких операций и связанные с ними изображения курсоров.


 — ввод полосок;


 — удаление полосок;


 — сглаживание (скругление) углов;


 — групповое удаление полосок;


 — перенос вершин;

 — отображение значений напряжений в произвольных точках сечения;

 — ввод вершины;

 — удаление вершины;

 — групповое удаление вершин;







 — измерение расстояния между двумя точками в пределах заданных габаритов сечения.

С помощью курсора можно определить расстояние между двумя произвольными точками сечения или рабочего поля. Для этого следует отключить активную операцию (отжать точку), подвести курсор к первой точке и нажать левую кнопку мыши. Не отпуская кнопки, переместить курсор во вторую точку. В правой части строки состояния будет указано расстояние между точками (точность указания зависит от

установленного количества значащих цифр на странице **Единицы измерений** окна **Параметры**). Координаты текущего положения курсора выводятся во втором поле строки состояния.

Ввод сечения

При вводе сечения рекомендуется следующая последовательность действий:

- ↪ задать размеры (габарит) сечения — ;
- ↪ назначить параметры координатной сетки — ;
- ↪ назначить толщину полосок — ;
- ↪ ввести вершины —  и полоски — ;
- ↪ сгладить углы (если это необходимо) — .

Задание вершин и полосок может выполняться как в режиме графического ввода, так и в табличном виде. При вводе новой вершины ее координаты проверяются на совпадение с координатами ранее введенных вершин. Совпадающими считаются вершины, расстояние между которыми меньше или равно величине, заданной в поле **Точность** на странице **Дополнительные** окна **Параметры**. Если вершины совпадают, то новая вершина удаляется, а полоска получает в качестве вершины ранее введенную.

При вводе полосок или переносе вершин может оказаться, что полоски пересекаются. В этом случае и пересекаемая, и пересекающая полоски автоматически разбиваются, порождая вершину в точке пересечения. И в этом случае оценка факта пересечения выполняется с учетом заданного значения точности.

Размеры сечения

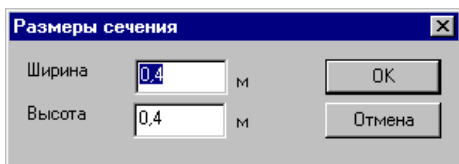


Рис. 16. Диалоговое окно **Размеры сечения**



Ввод сечения выполняется на координатной сетке, габариты которой ограничены размерами сечения. Задание размеров сечения выполняется в одноименном диалоговом окне (рис. 16) в единицах измерения, указанных на соответствующей странице диалогового окна **Параметры**.

Прямоугольник, ограничивающий габариты сечения (рис. 17), отображается в рабочем поле. Значения размеров сечения выводятся в первом поле **Строки состояния**. Пока ни один элемент сечения не введен в строке состояния, указаны заданные габариты. По мере ввода сечения в ней будут отображаться текущие значения габаритов сечения.

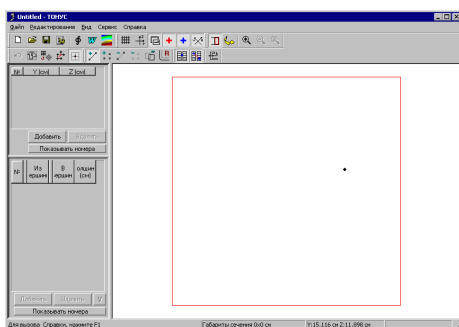


Рис.17. Отображение габаритов сечения в рабочем поле

Координатная сетка

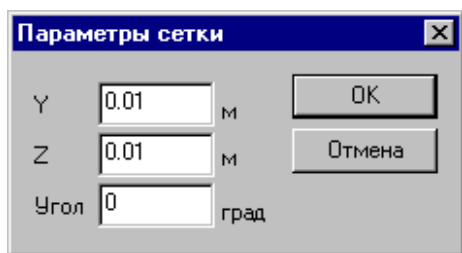


Рис. 18. Диалоговое окно **Параметры сетки**

Ввод параметров координатной сетки выполняется в диалоговом окне **Параметры сетки** (рис. 18), которое появляется после инициализации соответствующей функции. В полях ввода этого окна задаются шаг сетки по горизонтали (вдоль оси **Y**) и по вертикали (вдоль оси **Z**), а также угол наклона сетки в градусах относительно горизонтальной оси. Вращение сетки производится вокруг начала системы координат.

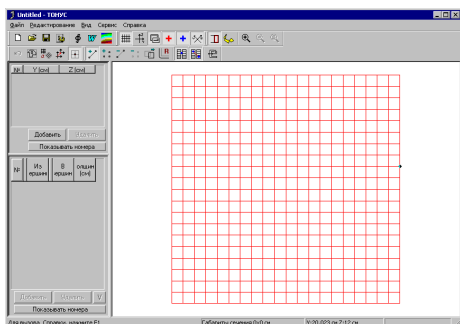



Рис. 19. Отображение сетки в рабочем поле


Следует отметить, что шаг сетки и угол ее наклона могут неоднократно меняться в процессе ввода внутренних контуров сечения или корректировки внешнего контура. Это позволяет настраивать сетку в соответствии с размерами или положением в сечении элементов контура.

На экране сетка появляется после ввода параметров (рис. 19). Отображение сетки включается/выключается кнопкой **Сетка** —  на инструментальной панели.

Полоски



Полоски вводятся в виде отрезков ломанной линии.

Если активна опция **Привязка к сетке** — , то вершины отрезков при вводе автоматически привязываются к ближайшему узлу координатной сетки. Процесс ввода заключается в установке курсора в нужную точку рабочего поля (внутри заданного габарита) и фиксации новой вершины нажатием левой кнопки мыши. Для прерывания процесса ввода следует нажать правую кнопку мыши.

Слева от рабочего поля можно получить отображение таблиц с координатами вершин и параметрами полосок (кнопки **Таблица вершин** и **Таблица полосок**). Если эти таблицы активны, то ввод очередной полоски будет автоматически сопровождаться добавлением в таблицы новых объектов.

Удаление полосок



Если эта опция активна, то любая из полосок, составляющих стенки сечения, может быть удалена. Для этого достаточно подвести к ней курсор и нажать левую кнопку мыши. Полоска будет автоматически удалена и из таблицы полосок.

Толщины

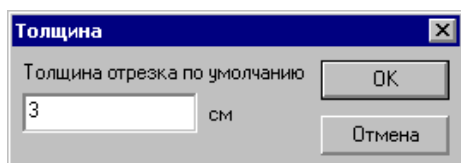



Рис. 20. Диалоговое окно **Толщина**



После активизации этой опции появляется диалоговое окно **Толщина** (рис. 20), в поле ввода которого указывается значение толщины стенки сечения. Указанное значение будет автоматически назначаться всем вводимым полоскам.

Вершины



С помощью этой операции можно ввести вершины, не вводя полоски. Для ввода достаточно поместить курсор в нужную точку и нажать левую кнопку мыши. Если активна опция **Привязка к сетке** — , то вершины автоматически привязываются к ближайшему узлу координатной сетки. Новые вершины будут добавлены в таблицу вершин.

Удаление вершин



Если эта операция активна, то для удаления вершины достаточно подвести к ней курсор и нажать левую кнопку мыши. Одновременно с вершиной будут удалены и все, примыкающие к ней, полоски. Вершины и полоски будут автоматически удалены и из соответствующих таблиц.

Привязка к сетке



Если активна эта опция, то в процессе ввода вершины будут автоматически привязываться к ближайшему к курсору узлу сетки.

Отмена



Нажатие на кнопку **Отмена** вызывает отмену предыдущей операции. Максимальная глубина истории не ограничена.

Сглаживание углов

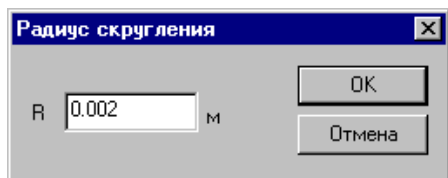


Рис. 21. Диалоговое окно **Радиус скругления**

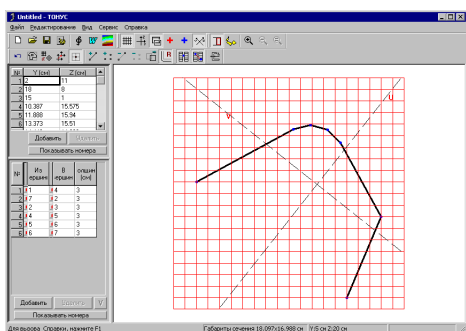


Сглаживание углов выполняется путем вписывания в угол дуги окружности заданного радиуса. После активизации операции следует указать курсором на точку перелома контура, и после появления курсора операции сглаживания —

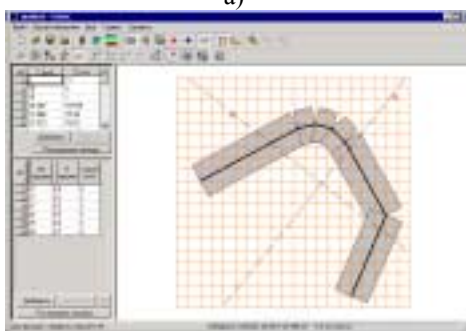


нажать левую кнопку мыши. В появившемся диалоговом окне **Радиус скругления** (рис. 21) задать радиус и нажать кнопку **ОК**. На рис. 22а показано сечение в виде контура со сглаженными углами, а на рис. 22б — то же сечение, но при активной опции **Показывать толщины**.

Количество точек (вершин) на дуге окружности задается на странице **Прочие** диалогового окна **Параметры**.



а)



б)

Рис. 22. Пример сечения со сглаженными углами

Перемещение группы выбранных вершин



С помощью этой операции выполняется перемещение группы вершин, выбранных с помощью прямоугольной рамки. Для ее выполнения следует:

- ☞ активизировать операцию;
- ☞ захватить прямоугольной рамкой перемещаемые вершины;
- ☞ переместить курсор внутрь рамки и после смены вида курсора сдвинуть рамку вместе с захваченными ею вершинами в новое положение.

Новое положение вершин фиксируется нажатием левой кнопки мыши.



Если в результате переноса вершин оказалось, что полосы пересекаются, то в точках их пересечения появляются новые вершины и выполняется разбиение полосок.

Сдвиг начала координат

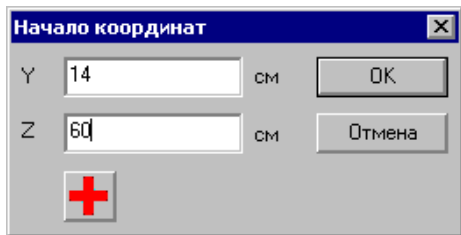


Рис. 23. Диалоговое окно **Начало координат**

Эта операция позволяет выполнить перенос начала координат в точку с заданными координатами или в центр масс сечения (рис. 23). Поскольку программа вычисляет моменты инерции не только относительно главных осей, но и относительно системы координат пользователя, то перенос начала координат может быть полезен при анализе геометрических характеристик сечения. Кроме того, вращение сетки происходит вокруг начала координат, поэтому сдвиг начала координат может быть полезен и при задании контура.

Для переноса начала координат в центр масс используется кнопка с изображением красного перекрестья.

Таблица вершин



Для ввода и удаления, а также уточнения координат существующих вершин можно воспользоваться таблицей, которая расположена на панели таблиц и появляется после нажатия соответствующей кнопки в инструментальной панели. Для управления режимом табличного редактирования используется ряд кнопок, расположенных под таблицей.

Наполнение таблицы может выполняться как автоматически, в процессе графического ввода вершин и полосок, так и путем задания координат новых вершин непосредственно в таблице. В последнем случае перед вводом очередной вершины следует нажать кнопку **Добавить**, в результате чего появится новая строка, в столбцах которой записываются координаты вершины. Удаление отмеченных вершин (строк) выполняется с помощью кнопки **Удалить**. Для отметки одной или нескольких подряд идущих строк следует установить курсор на номер строки и, не отпуская левой кнопки мыши, протянуть курсор до последней удаляемой строки.

Отображение в рабочем поле результатов редактирования таблицы будет выполнено только после нажатия кнопки **Применить**.

Для нумерации полосок на схеме сечения используется кнопка **Нумерация**.


Таблица полосок



Аналогично таблице вершин устроена и таблица полосок. В каждой строке таблицы записывается информация об одной полоске. В состав этой информации входят номера вершин начала и конца полоски, рядом с которыми установлены маркеры признака примыкания, и толщина полоски.

Наполнение таблицы может выполняться как автоматически, в процессе графического ввода полосок, так и путем их описания непосредственно в таблице. В последнем случае перед вводом очередной полоски следует нажать кнопку **Добавить**, в результате чего появится новая строка, в столбцах которой записывается необходимая информация. Если полоска жестко соединена в вершине с другими полосками, то маркер примыкания включен (при графическом вводе полосок маркеры включаются автоматически). Отключенный маркер примыкания означает, что связь между рассматриваемой полоской и другими полосками, приходящими в эту вершину, отсутствует.

По умолчанию толщина всех вводимых полосок назначается равной величине, заданной с помощью опции

Толщины — . Толщину можно менять в процессе ввода полосок или в таблице. Для назначения толщины текущей полоски (ячейка со значением толщины выбрана) другим полоскам используется кнопка **V**, после нажатия которой значение из выбранной ячейки будет записано во все ячейки до конца таблицы.

Удаление отмеченных полосок (строк) выполняется с помощью кнопки **Удалить**. Для отметки одной или нескольких, подряд идущих строк, следует установить курсор на номер строки и, не отпуская левой кнопки мыши, протянуть курсор до последней удаляемой строки.

Отображение в рабочем поле результатов редактирования таблицы будет выполнено только после нажатия кнопки **Применить**.

Для нумерации узлов на схеме сечения используется кнопка **Нумерация**.

Вызов справки



Нажатие кнопки **Справка** активизирует стандартную функцию Windows для получения справки из базы, созданной разработчиками программы.

О программе

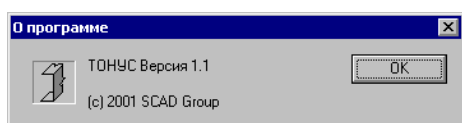


Рис. 24. Информационное окно
О программе



После нажатия этой кнопки вызывается информационное окно **О программе** (рис. 24), в котором приводится информация о версии и разработчике программы.

Параметрические сечения

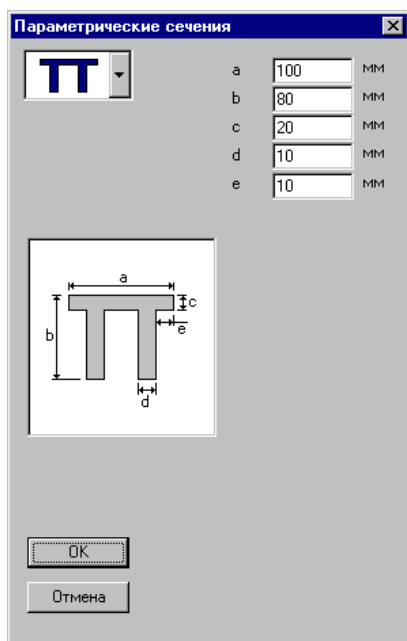


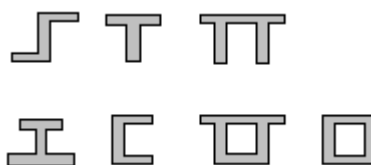
Рис. 25. Диалоговое окно
Параметрические сечения

Для формирования сечения можно воспользоваться типовым набором параметрических сечений. Вызов операции **Параметрические сечения** выполняется из одноименного раздела меню **Файл**. При этом появляется диалоговое окно (рис. 25), которое включает список типовых параметрических сечений, отображение модели выбранного сечения с указанием условных обозначений параметров и набор полей для ввода параметров.

Для ввода сечения следует выполнить следующие действия:

- ☞ выбрать из выпадающего списка необходимое сечение;
- ☞ заполнить поля ввода в соответствии с моделью;
- ☞ нажать кнопку **ОК**.

После выполнения последнего действия диалоговое окно закрывается, и в рабочем поле окна программы **Тонус** отображается созданное сечение (рис. 26). В программе предусмотрен следующий набор параметрических сечений:



С помощью языка описания параметрических сечений можно разработать собственные параметрические прототипы. Описание языка приведено в Приложении 3.

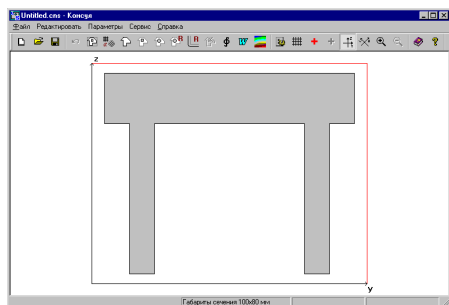


Рис. 26. Результирующее сечение

Импорт файлов AutoCAD

Описание сечения может быть импортировано из системы AutoCAD в форматах DWG или DXF файла. Поддерживаются следующие виды графических примитивов:

- 3DFACE
- SOLID
- TRACE
- LINE
- POLYLINE
- LWPOLYLINE
- ELLIPSE
- CIRCLE
- ARC

При импорте проверяется условие принадлежности всех вершин сечения одной плоскости. При несоблюдении этого условия импорт прерывается и выдается сообщение об ошибке.

Экспорт данных в STAAD-III

С помощью этой операции выполняется экспорт данных в программу STAAD-III.

Назначения остальных кнопок на инструментальной панели описаны в разделе **Общие элементы управления** (стр.11–23).

Приложения

1. Формат файла

TNS-файлы являются текстовыми файлами. Сечение описывается набором вершин и отрезков.

В первой строке задаются два числа с габаритами сечения. В следующей строке находится целое число n с количеством вершин. После чего следует n строк с координатами вершин. Каждая такая строка состоит из двух чисел с плавающей запятой, разделенных пробелами. Далее следует строка с целым числом m , которое определяет количество отрезков. После этой строки должно быть m строк с описанием каждого отрезка. Строка, описывающая отрезок, состоит из пяти чисел. Первые два числа — целые и представляют собой соответственно номера начальной и конечной вершин (нумерация вершин производится от нуля). Вторая пара целых чисел (каждое из которых может быть 0 или 1) определяет соединен ли соответствующий конец отрезка с вершиной. Последнее число в строке представляет собой толщину отрезка.

Все размеры задаются в метрах. Разделителем между двумя числами строки служит пробел. В качестве разделителя десятичной точки служит символ точки.

Пример: Сечение, изображенное на рис. П1.1, описывается в формате TNS следующим образом:



Рис. П1.1

```

100.0 100.0
9
25.0 75.0
35.0 75.0
45.0 75.0
55.0 75.0
65.0 75.0
55.0 65.0
45.0 65.0
35.0 65.0
45.0 75.0
9
0 1 0 1 1.0
1 2 1 1 1.0
2 3 1 1 1.0
3 4 1 0 1.0
3 5 1 1 1.0
5 6 1 1 1.0
6 7 1 1 1.0
7 1 1 1 1.0
8 2 1 1 1.0
    
```

2. Расширение набора параметрических сечений

Квалифицированный пользователь имеет возможность расширить набор параметрических сечений, добавив свои собственные прототипы.

Для этого необходимо:

- ↪ изменить файл **TnsParamSec.ini**;
- ↪ подготовить два рисунка в формате **BMP** (Windows Bitmap);
- ↪ подготовить файл формата **DTC** с описанием нового параметрического сечения.

Файл **TnsParamSec.ini** содержит список параметрических сечений и имеет следующий формат:

```

[LIST]
quantity= <количество типов параметрических сечений>
.....
Name<i>=<имя файла с описанием i-го типа>
.....
    
```

Пример:

```

[LIST]
quantity=8
Name1=Hollow.dtc
Name2=Channel.DTC
Name3=CP.DTC
Name4=I.DTC
Name5=T.DTC
Name6=TT.DTC
Name7=Z.DTC
Name8=Cross.dtc
    
```

Файлы с описанием параметрических сечений имеют расширение **.DTC** и представляют собой текстовые файлы следующей структуры:

Каждая строка, которая начинается с символов **//**, считается строкой комментариев, носит литературно-описательный характер и не принимает активного участия в работе программы (везде далее, говоря об *i*-й строке, мы имеем ввиду номер строки без учета строк комментариев).

Строка 1 содержит имя **ВМР**-файла с малым рисунком сечения, который появляется в списке выбора типа параметрического сечения. Рекомендуемый размер этого рисунка — 64×32 пикселя.

Строка 2 содержит имя **ВМР**-файла с рисунком сечения и обозначением параметров. Рекомендуемый размер этого рисунка — 140×148 пикселей.

Строка 3 — количество параметров *n*.

Далее следует *n* строк с описанием параметров. Каждая строка содержит три поля, разделенные пробелами:

1. Число 0 или 1 (0 в том случае, если параметр может принимать нулевое значение и 1 — в противном случае). Предполагается, что все параметры могут принимать только неотрицательные значения.
2. Число 0, если параметр представляет линейный размер, и 1 — если параметр задается в единицах измерения угла.
3. <Имя параметра> (длиной до 4-х символов).

В следующей строке должно быть записано количество ограничений *m* на соотношение между параметрами, после чего — *m* строк с описанием ограничений. Ограничения должны быть представлены в виде неравенств типа $X \leq Y$. Каждая строка с ограничением состоит из трех полей, разделенных точкой с запятой (;):

1. <Нижняя граница неравенства>;
2. <Верхняя граница неравенства>;
3. <Текст сообщения> при нарушении данного ограничения (при выводе сообщения программа формирует его следующим образом: «Нарушено ограничение: <текст>»).

Нижняя и верхняя границы могут быть записаны как в виде констант, так и в виде формул. В качестве переменных в формулах участвуют параметры (строчные символы латинского алфавита). Правила наименования параметров следующие:

a — <параметр 1>

b — <параметр 2>

и т.д. в порядке следования букв латинского алфавита.

Формулы могут содержать:

- арифметические операции, задаваемые символами +, −, *, /, ^ (возведение в степень), например, $2.5*2.5*2.5$ записывается как 2.5^3 ;
- круглые скобки;
- элементарные функции.

При записи формул можно использовать следующие функции:

floor	—	наибольшее целое число, не превышающее заданное;
tan	—	тангенс;
sin	—	синус;
cos	—	косинус;
asin	—	арксинус;

acos	—	арккосинус;
atan	—	арктангенс;
exp	—	экспонента;
ceil	—	наименьшее целое число, превышающее заданное;
tanh	—	тангенс гиперболический;
sinh	—	синус гиперболический;
cosh	—	косинус гиперболический;
log	—	натуральный логарифм;
log10	—	десятичный логарифм;
abs	—	абсолютное значение;
sqrt	—	корень квадратный.

Аргументы тригонометрических функций (**sin**, **cos**, **tan**) и результаты обратных тригонометрических функций (**asin**, **acos**, **atan**) задаются/получаются в градусах.

Допускается использование только круглых скобок при произвольной глубине вложенности.

Далее в файле описания параметрического сечения следует информация о вершинах и отрезках сечения в формате, аналогичном формату TNS-файла, но для каждой строки с описанием вершины вместо чисел должны стоять формулы для вычисления этих значений, в зависимости от параметров. Формулы должны заканчиваться символом «;» (точка с запятой). В конце строки символ «;» можно опустить.



Рисунок CPS.bmp

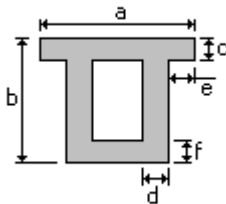


Рисунок CPL.bmp

Пример (для файла CP.dec):

```
// Channel and plate
// images (small and large)
CPS.bmp
CPL.bmp
// quantity, unit types, and names of parameters
6
1 0 a
1 0 b
1 0 c
1 0 d
1 0 e
1 0 f
// verification - quantity of inequalities
//           for each line first token is lower bound
2
f+c;b; f+c < b
2*(e+d);a; 2(e+d) < a
// overall dimension
a+a/5;b+b/5
// nodes (quantity; 2 coordinates)
6
a/10;b+b/10
a/10+e+d/2;b+b/10
a/10+a-e-d/2;b+b/10
a/10+a;b+b/10
a/10+e+d/2;b/10
a/10+a-e-d/2;b/10
6
0;1;1;c
1;2;1;c
2;3;1;c
2;5;1;d
5;4;1;f
4;1;1;d
```

3. Программный интерфейс

Файлы, созданные программой **Тонус** (TNS-файл) могут быть использованы в других программах, например, в программах анализа напряженно-деформированного состояния зданий и сооружений для задания жесткостных характеристик стержневым элементам. Для этого достаточно воспользоваться динамически загружаемыми библиотеками, которые поставляются в составе пакета.

Приложение, которое использует файл **Тонуса**, должно прочитать этот файл (с расширением **.TNS**) в оперативную память. Далее приложение может использовать две функции, реализованные в динамически загружаемых библиотеках **Grn2D.DLL**, **UniTools.DLL**, **TnsApi.DLL**.

1. Рисование сечения

```
BOOL TnsDraw(
```

```

const char* buf,          // указатель на буфер с информацией, прочитанной из
                          // TNS-файла
int size,                // размер TNS-файла
HDC hDC,                 // контекст устройства отображения
const RECT * Rect);     // указатель на прямоугольник рисования

```

2. Вычисление геометрических характеристик

```

BOOL TnsCalc (
const char* buf,        // указатель на буфер с информацией, прочитанной из
                       // TNS-файла

int size,              // размер TNS-файла
double Mu,            // коэффициент Пуассона
struct GeoPropertiesEx *geo, // указатель на структуру с вычисленными
                          // геометрическими характеристиками (см. ниже)
BOOL Full); // признак вычисления всех геометрических характеристик (Full = TRUE) или
            // только моментов инерции и положения центра масс (Full=FALSE)

struct GeoPropertiesEx
{
double A;              // площадь сечения
double Avy;           // условные площади среза
double Avz;
double alpha;        // угол наклона главных осей инерции
double Iy;           // момент инерции относительно центральной оси Y1 параллельной оси Y
double Iz;           // момент инерции относительно центральной оси Z1 параллельной оси Z
double It;           // момент инерции при свободном кручении
double Iw;           // бимомент
double iy;           // радиус инерции относительно оси Y1
double iz;           // радиус инерции относительно оси Z1
double Ys;           // резерв
double Zs;           // резерв
double Wyplus;       // максимальный момент сопротивления относительно оси U
double Wyminus;     // минимальный момент сопротивления относительно оси U
double Wzplus;       // максимальный момент сопротивления относительно оси V
double Wzminus;     // минимальный момент сопротивления относительно оси V
double Wply;         // пластический момент сопротивления относительно оси U
double Wplz;         // пластический момент сопротивления относительно оси V
double Iu;           // максимальный момент инерции
double Iv;           // минимальный момент инерции
double iu;           // максимальный радиус инерции
double iv;           // минимальный радиус инерции
double ayplus;       // ядерные расстояния
double ayminus;
double azplus;
double azminus;
double xM;           // y координата центра масс
double yM;           // z координата центра масс
double Iyz;         // резерв
double Sw;           // секториальный статический момент
double Yb;           // y координата центра изгиба
double Zb;           // z координата центра изгиба
double P;           // периметр
double Pi;          // внутренний периметр
double Pe;          // внешний периметр
double I1;          // момент инерции в глобальной системе координат относительно оси Y
double I2;          // момент инерции в глобальной системе координат относительно оси Z
double I12;         // центробежный момент инерции в глобальной системе координат
double Ip;          // полярный момент инерции
double ip;          // полярный радиус инерции
double Wp;          // полярный радиус сопротивления
};

```

4. Экспорт данных

Экспорт геометрических характеристик сечения в вычислительный комплекс SCAD осуществляется путем чтения данных из файлов формата TNS в режиме задания жесткостных характеристик стержневым элементам. В программах пакета предусмотрена также возможность экспорта данных в программу STAAD-III¹.

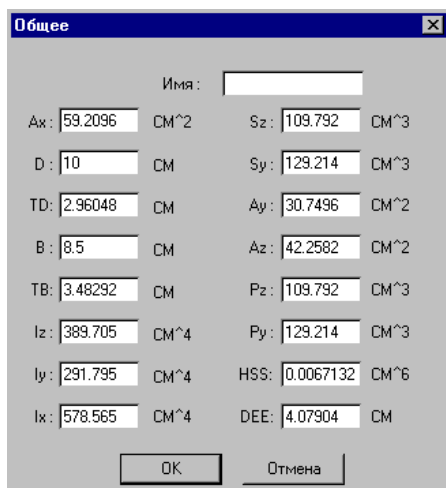


Рис. Пб.1. Диалоговое окно
Общее

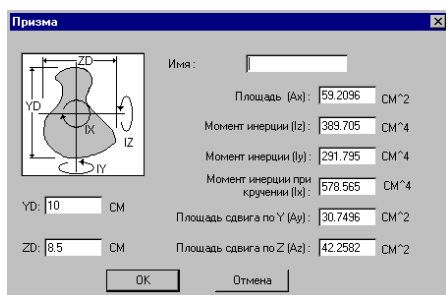


Рис. Пб.2. Диалоговое окно
Призма

Для экспорта данных из программы Тонус следует активизировать операцию **Экспорт в STAAD** в разделе меню **Файл** и выбрать тип, в соответствии с которым будут экспортированы данные (**Общее** или **Призма**). В диалоговом окне **Открытие таблицы пользователя** указать директорию и имя таблицы, в которую заносятся параметры сечения (тип таблицы должен соответствовать типу сечения). Если таблица с указанным именем отсутствует, то создается новая. После выбора имени таблицы (кнопка **Open**) появляется диалоговое окно (рис. Пб.1) для типа данных **Общее** или (рис. Пб.2) — для типа **Призма**.

В поле **Имя сечения** необходимо ввести уникальное имя, с которым сечение заносится в таблицу. Вычисленные геометрические характеристики, приведенные в окне, могут быть изменены. Экспорт данных выполняется после нажатия кнопки **ОК** в диалоговом окне.

Замечание:

В случае, когда точное определение условных площадей сдвига не представляется возможным, при экспорте данных в STAAD предполагается, что имеет место гипотеза равномерного распределения касательных напряжений по сечению и условные площади принимаются равными площади сечения.

Литература

- [1] В.Карпиловский, Э.Криксунов, А.Перельмутер, М.Перельмутер Формирование сечений и расчет их геометрических характеристик — К.: Изд-во КОМПАС, 2000.—76 с.
- [2] Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела: Сопротивление материалов с элементами теории сплошных сред и строительной механики. Т. 2.— М.: Наука, 1978.— 616 с.

¹ STAAD-III for Windows: Reference Manual.— Research Engineers (Europe), Ltd, 1996

- [3] Власов В.З. Избранные труды, Т. 2.— М.: Изд-во АН СССР, 1963.
- [4] Уманский А.А. Изгиб и кручение тонкостенных авиационных конструкций.— М. Оборониздат: 1939.— 112 с.
- [5] Уманский А.А. Расчет тонкостенных криволинейных балок // Труды научно-технической конференции ВВА им. Жуковского, вып. 2, 1944.
- [6] Джанелидзе Г.Ю., Пановко Я.Г. Статика упругих тонкостенных стержней. — М.: ОГИЗ, 1948.— 208 с.
- [7] Бейлин Е.А. Вариант единой теории кручения тонкостенных стержней открытого, замкнутого и частично замкнутого профилей // Исследования по механике строительных конструкций и материалов. Межвузовский тематический сборник трудов / ЛИСИ, 1991.— С. 57–74.