

Формирование сечений



и расчет их геометрических характеристик

При прочностном расчете конструкций различного вида одним из наиболее часто используемых элементов расчетных схем является *стержень*, то есть тело, у которого максимальный габаритный размер поперечного сечения b_{max} намного меньше его длины l . В зависимости от особенностей поперечного сечения различают массивные и тонкостенные стержни. В массивных (сплошных) стержнях наименьший размер поперечного сечения t_{min} имеет одинаковый с b_{max} порядок величины (рис. 1а). В тонкостенном стержне $t_{min} \ll b_{max}$ и, разумеется, $t_{min} \ll L$, где L — длина контурной линии поперечного сечения тонкостенного стержня (рис. 1б). Обычно стержень считают тонкостенным, если выполняются неравенства:

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

Теория расчета сплошных сечений развита еще в классических работах Сен-Венана. Расчет тонкостен-

ных стержней для случаев открытого и замкнутого профиля отражен в работах В. З. Власова, А. А. Уманского и Ю. Г. Джанелидзе. Вариант единой теории тонкостенных стержней (в том числе открыто-замкнутых) предложен Е. А. Бейлиным.

Основное отличие в поведении тонкостенного стержня под нагрузкой от работы массивного стержня состоит в возможном нарушении гипотезы плоских

ЧТОБЫ ОБЛЕГЧИТЬ ЖИЗНЬ ИНЖЕНЕРАМ-ПРОЕКТИРОВЩИКАМ, В СОСТАВ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЙ SCAD OFFICE БЫЛ ВКЛЮЧЕН ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЧЕНИЙ И РАСЧЕТА ИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.

сечений. Типичным примером может служить свободное кручение стержня открытого профиля (труба с продольным разрезом) или же деформация двутавра, нагруженного на торце бимоментом (рис. 2). Отклонение от гипотезы плос-

ских сечений (*депланация*) в большей мере характерна для тонкостенных стержней *открытого профиля* и в меньшей — для стержней с *замкнутым профилем*.

Использование в практике проектирования стержневых элементов с "нестандартными" сечениями приводит к необходимости вычисления их геометрических характеристик (площадь, моменты и радиусы инерции, моменты сопротивления и т.п.). Несмотря на то что эта работа является достаточно простой и рутинной (все вычислительные фор-

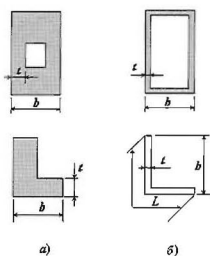


Рис. 1

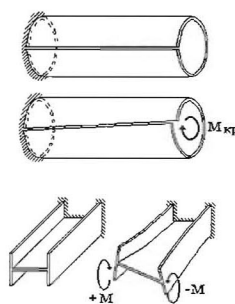


Рис. 2

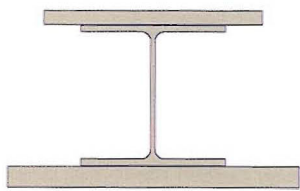


Рис. 3

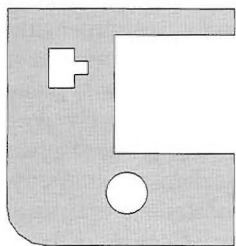


Рис. 4

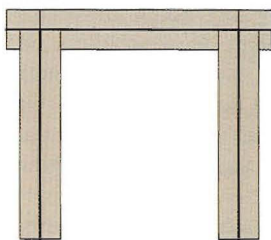


Рис. 5

метрической формы поперечного сечения стержневого элемента:

- 1) путем "сварки" из элементов металлопроката и листов (рис. 3);
- 2) с помощью "свободного" рисования контуров сечения (рис. 4);
- 3) формирование сечения тонкостенного типа в виде набора прямолинейных полосок, каждая из которых имеет постоянную ширину (рис. 5).

Каждый из перечисленных выше способов реализован с помощью "своей" программы пакета — **Конструктор Сечений**, **Консул** и **Тонус** соответственно. Кроме того, в пакет входит программа **Сезам**, обеспечивающая поиск эквивалентного сечения. Все программы интегрированы друг с другом: в частности, имеется возможность взаимного вызова одной программы из другой, а в некоторых случаях и передачи информации из одной программы в другую.

Программы вычисляют следующие геометрические характеристики: площадь поперечного сечения; значения моментов инерции относительно центральных осей, параллельных координатным осям; радиусы инерции относительно тех же

осей; момент инерции при свободном кручении; координаты центра тяжести; значение угла наклона главных центральных осей инерции; максимальный и минимальный моменты инерции; максимальный и минимальный радиусы инерции; максимальный и минимальный моменты сопротивления; ядровые расстояния; периметры сечения (полный, внешний и внутренний); условные площади среза; моменты инерции относительно системы координат, в которой создавалось сечение; координаты центра изгиба; секториальный бимомент. Кроме того, для сечений отображаются направление главных осей инерции, положение центра масс, а в программах **Консул** и **Тонус** — положение центра изгиба. Результаты расчета можно получить в виде файла в формате MS Word.

Конструктор Сечений

При использовании программы **Конструктор Сечений** можно выбрать из базы данных элемент металлопроката (рис. 6) или лист, развернуть его сечение на заданный угол (рис. 7) или зеркально отобразить и присоединить элемент к сечению, используя один из перечисленных ниже способов (см. рис. 8):

- установить одну из характерных точек элемента в точку с заданными координатами;
- совместить одну из характерных точек элемента с характерной точкой сечения;
- совместить одну из характерных линий элемента с одной из линий сечения.

мулы изложены на первых страницах любого учебника по сопротивлению материалов), ее выполнение часто приводит к ошибкам. Чтобы облегчить жизнь инженерам-проектировщикам, в состав интегрированной системы прочностного анализа конструкций **SCAD Office** был включен пакет программ для формирования сечений и расчета их геометрических характеристик. Результаты расчета могут использоваться при исследовании напряженно-деформированного состояния конструкций — в частности, при задании жесткостных характеристик элементов в различных программах прочностного расчета (например, программа **SCAD** позволяет импортировать файлы с геометрическими характеристиками, созданные с помощью программ пакета), а также для определения жесткостных характеристик зданий и сооружений целиком.

Можно представить по крайней мере три способа формирования гео-

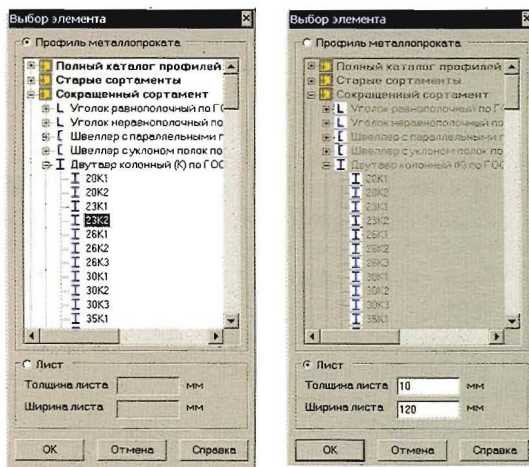


Рис. 6. Выбор стандартного элемента

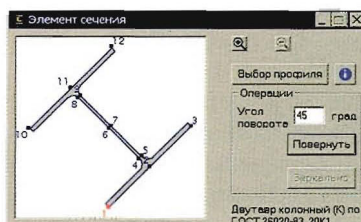


Рис. 7. Поворот стандартного элемента

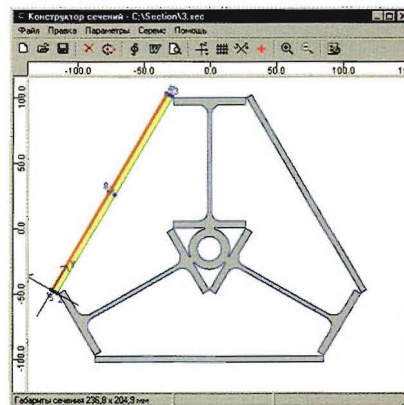


Рис. 8. Сечение, созданное Конструктором

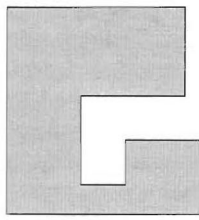


Рис. 9. Задание внешнего контура

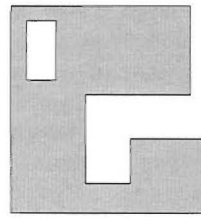


Рис. 10. Задание внутреннего контура

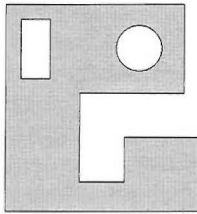


Рис. 11. Задание круглого отверстия

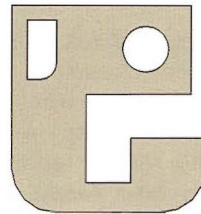


Рис. 12. Сечение со сглаженными углами

В подавляющем большинстве случаев этих способов достаточно для "сварки" сечения любой сложности (рис. 8).

Конструктор Сечений предназначен в основном для использования в задачах расчета строительных металлоконструкций. Поскольку СНиП П-23-81* "Стальные конструкции. Нормы проектирования" не оговаривает расчет элементов конструкций на кручение, авторы значительно сократили объем исходной информации при создании сечения. Например, не требуется задавать способ соединения отдельных частей (сварка или простое примыкание).

Следствием такого упрощения является ограниченный набор вычисляемых геометрических характеристик, поскольку для вычисления некоторых из них — например, положения центра изгиба или секториальных характеристик — требуется решить дифференциальное уравнение Лапласа на области сечения с краевыми условиями на границе. Последние, в свою очередь, зависят от того, является ли тот или иной участок границы частью внешнего контура или принадлежит внутреннему отверстию. Поскольку для сечений, созданных с помощью **Конструктора**, во многих случаях неясно, что является границей (внешней или внутренней) контура, то, в частности, момент инерции при свободном кручении приближенно определен как сумма моментов инерции свободного кручения профилей, со-

ставляющих сечение. То есть считается, что при кручении отдельные элементы сечения работают независимо.

Геометрические характеристики всегда вычисляются как для сплошностенчатого сечения — податливость соединительных решеток и/или планок не учитывается.

Консул В программе **Консул** модель поперечного сечения стержня создается с помощью рисования на координатной сетке. При этом вводится внешний контур сечения (рис. 9) и внутренние контуры (отверстия) (рис. 10). Внутренние контуры могут быть заданы как многоугольники или как круглые отверстия (рис. 11). При необходимости можно использовать операции сглаживания углов заданным радиусом (рис. 12), копирования и т.п.

В программе предусмотрен набор параметрических сечений и язык для описания (создания) этих сечений пользователем. Кроме того, есть возможность импортировать описание сечения из системы AutoCAD в форматах DWG- или DXF-файла. Набор готовых параме-

трических сечений включает сечения следующих видов:

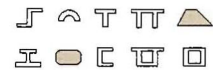


Рис. 13. Параметрические сечения

Тонус

Программа **Тонус** реализует другой подход к формированию модели поперечного сечения. Здесь предполагается, что сечение является тонкостенным и состоит из прямолинейных полосок, каждая из которых имеет постоянную ширину.

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

Создание модели сечения в программе **Тонус** сводится к достаточно простой операции ввода срединных линий полосок, из которых состоит сечение, и определения их толщин. При этом информация может вводиться как графически (с помощью "мыши"), так и в форме таблицы, где задаются координаты вершин и

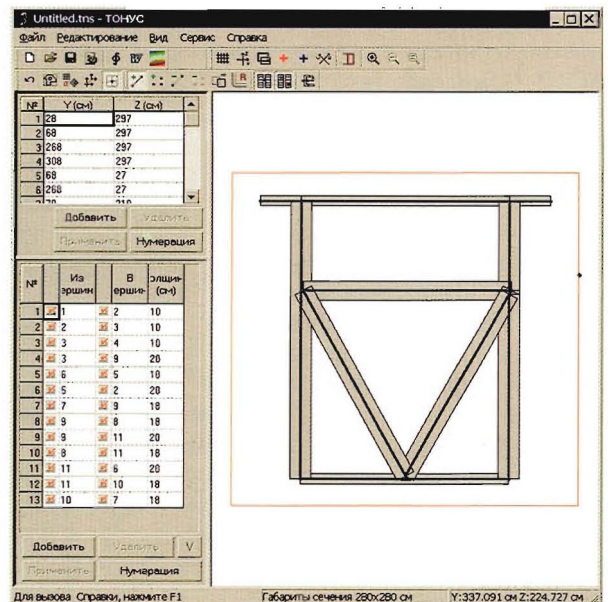


Рис. 14. Пример тонкостенного сечения, созданного в программе Тонус

набор полосок (каждая полоска описывается парой вершин и толщиной).

Программа автоматически определяет замкнутые циклы и корректно учитывает их наличие при расчете кривильных и секториальных характеристик сечения.

Предусмотрена возможность импорта описания сечения из системы AutoCAD в форматах DWG- или DXF-файла и — так же, как в программе Консул, — использования набора параметрических сечений.

Сезам

Произвольное сечение, в лучшем случае, можно проверить на прочность по формулам, приведенным в учебнике по сопротивлению материалов. Но когда речь идет об учете упругопластической стадии работы, а также проверках по нормам устойчивости плоской формы изгиба, выпучивания из силовой плоскости или о других, то оказывается, что все нормативные документы ориен-

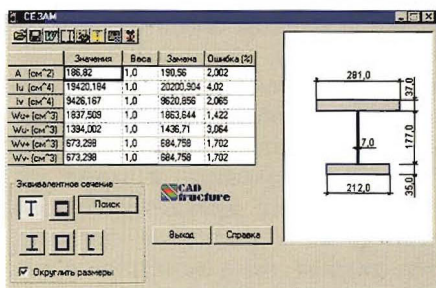


Рис. 15. Окно программы Сезам

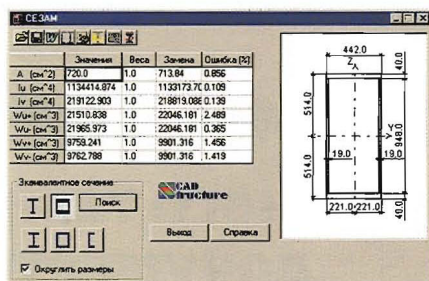


Рис. 17. Диалоговое окно Сечение с результатами подбора

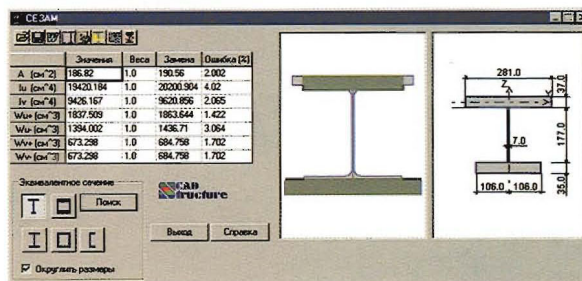


Рис. 18. Диалоговое окно Сечение с результатами подбора (в левом окне показаны исходное и эквивалентное сечения)

тированы на формы поперечных сечений только определенных (и весьма ограниченного количества) типов. Инженеры обычно используют такой подход — прочность проверяется для реального поперечного сечения, а все прочие проверки выполняются для "похожего" сечения, геометрические характеристики которого специально подбираются из соображений эквивалентности.

Эквивалентность понимается здесь как близость геометрических характеристик поперечного сечения (площадь, моменты инерции, моменты сопротивления и др.). Иногда в процессе приведения учитывают некоторые дополнительные соображения, уточняющие само понятие эквивалентности. Например, если предстоит проверка устойчивости, добиваются только близости моментов инерции.

Программа Сезам предназначена для поиска сечения (в данной версии — коробки, двутавра или швеллера), которое наиболее близко аппроксимирует заданное пользователем произвольное сечение по геометрическим характеристикам. Исходное сечение может быть задано:

- как файл, полученный в результате работы программ Конструктор Сечений, Консул или Тонус;
- как набор геометрических характеристик;
- как составное сечение из предлагаемого в программе набора прототипов (например, два швеллера, два двутавра и т.д.) (рис. 16). При любом методе задания сечения в программе используются для расчета только следующие геометрические характеристики:
- площадь;
- главные моменты инерции;

- моменты сопротивления.

Предусмотрена возможность задания весовых коэффициентов для каждой из характеристик (по умолчанию все веса равны 1). Коэффициенты позволяют придать больший или меньший вес (важность) той или иной геометрической характеристике — в частности, задав какой-то коэффициент равным нулю, можно отказаться от аппроксимации соответствующей характеристики.

Результаты подбора

Программа находит и отображает в окне эквивалентное сечение в соответствии с заданным прототипом (двутавр, равнополочный двутавр, коробка, прямоугольная труба или швеллер) и заданными весовыми коэффициентами (рис. 17). Одновременно в таблице приводятся геометрические характеристики эквивалентного сечения и расхождение значений исходного и результирующего сечений (в процентах) по каждой из геометрической характеристик. Если исходное сечение было загружено из файла, созданного программами Консул или Конструктор Сечений, в окне одновременно отображаются исходное и эквивалентное сечения (рис. 18), что позволяет качественно оценить их соответствие.



Рис. 16. Стандартные прототипы

Эдуард Криксунов
 Виктор Карпиловский
 Анатолий Перельмутер
 Михаил Перельмутер
 Дмитрий Рудь
 SCAD Soft
 Тел.: (044) 243-8351
 E-mail: scad@scadgroup.com
 Internet: http://www.scadgroup.com