

Пример 26. Расчет сечения сталежелезобетонного перекрытия с монолитной плитой по стальному профилированному настилу при помощи системы КОНСТРУКТОР СЕЧЕНИЙ

Цели и задачи:

Определить геометрические характеристики сечения, необходимые для задания жесткостей стержневым элементам расчетной модели.

Исходные данные:

Сечение сталежелезобетонного перекрытия с монолитной плитой по стальному профилированному настилу (рис. 26.1):

- железобетонная плита: материал плиты — бетон В 30; арматурные включения: ГОСТ 5781-82, класс — А1, $\varnothing 20$ мм.
- профиль стальной листовой гнутой с трапециевидными гофрами: высота $h=116$ мм, $V_1=187$ мм, $t=1.2$ мм; материал — сталь оцинкованная;
- балка: несимметричный двутавр (верхний пояс — 150×12 ; нижний пояс — 630×10 стенка — 320×16); материал — сталь прокатная.

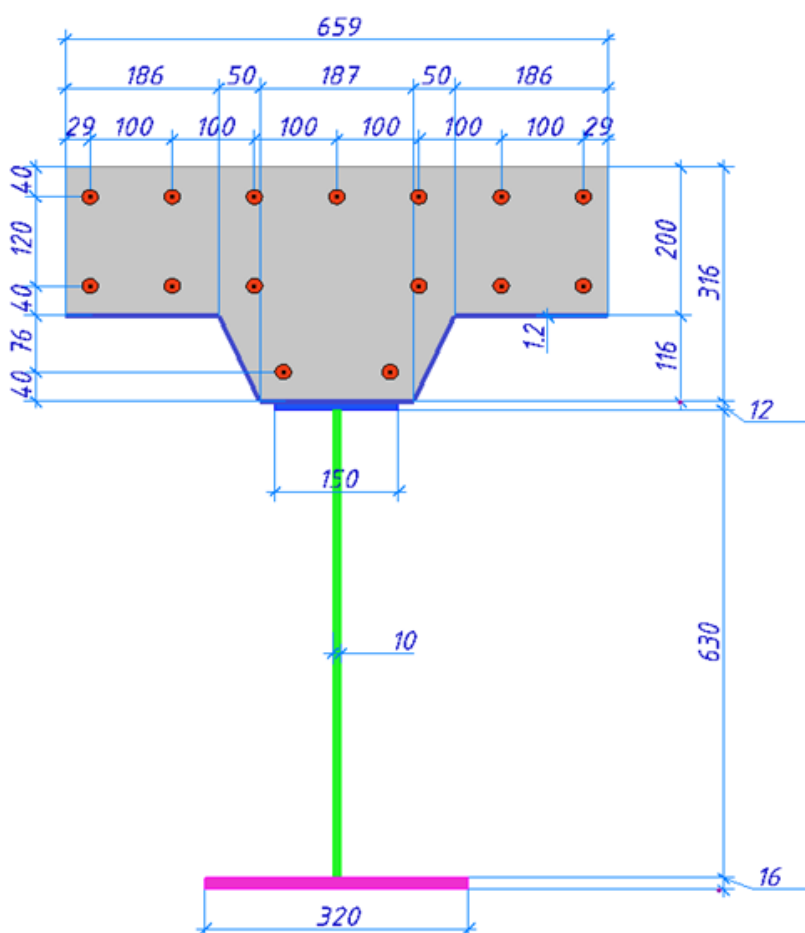


Рис.26.1. Поперечное сечение сталежелезобетонного перекрытия

Для того чтобы начать работу с Конструктором сечений, выполните следующие команды Windows:

Пуск \Rightarrow Программы \Rightarrow LIRA SAPR \Rightarrow ЛИРА-САПР 201x \Rightarrow Конструктор сечений.

Система КОНСТРУКТОР СЕЧЕНИЙ (КС) представляет собой специализированную графическую среду и содержит инструменты для формирования моно и мульти материальных произвольных сечений. Сечения могут быть сплошными, тонкостенными и комбинированными. Допускается включение полосовых элементов и прокатных профилей. Система снабжена процессором для вычисления жесткостных характеристик: изгибных, крутильных, сдвиговых, секториальных. При задании усилий, действующих на сечение, выполняется вычисление напряжений по области сечения – нормальных, касательных, эквивалентных по различным теориям прочности. Интерфейс системы реализован на базе инструментария САПФИР.

- ❑ Систему **Конструктор сечений** также можно запустить из других систем:
 - Для переключения из САПФИР-КОНСТРУКЦИИ в режим создания нового составного сечения щелкните по кнопке - **Новое сечение** (панель **Инструменты построения** на вкладке **Создание**).
 - Для переключения из ВИЗОР-САПР в режим создания нового составного сечения щелкните по кнопке - **Конструктор сечений** (панель **Жесткости и связи** на вкладке **Создание и редактирование**).



Этап 1. Создание нового проекта и настройка его свойств

- ❑ Для создания нового проекта откройте меню приложения и выберите пункт **Новый** (кнопка на панели инструментов).



Задание имени проекта

- ❑ Для сохранения информации о проекте откройте меню приложения и выберите пункт **Сохранить как**.
- ❑ В появившемся диалоговом окне **Сохранить как** задайте:
 - имя файла – **пример 26**;
 - папку, в которую будет сохранен этот проект.
- ❑ Щелкните по кнопке **Сохранить**.



Этап 2. Создание контура составного сечения в системе КОНСТРУКТОР СЕЧЕНИЙ

- ❑ Щелкните по кнопке - **Сечение** (панель **Инструменты сечения** на вкладке **Конструктор сечений**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения контура сечения.
- ❑ В диалоговом окне **Свойства построения: Контур сечения** щелкните напротив строки **Материал**.
- ❑ В открывшемся диалоговом окне **Материалы** (рис.26.2) выберите из списка материал **Бетон В30**.
- ❑ После этого щелкните по кнопке **ОК** (после закрытия списка строка **Бетон В30** демонстрируется напротив параметра **Материал** как текущий выбранный материал).
- ❑ В диалоговом окне **Свойства** также задайте следующее:
 - ❑ **Шаг триангуляции - 20**.
 - ❑ После этого щелкните по кнопке - **Применить к объекту**.

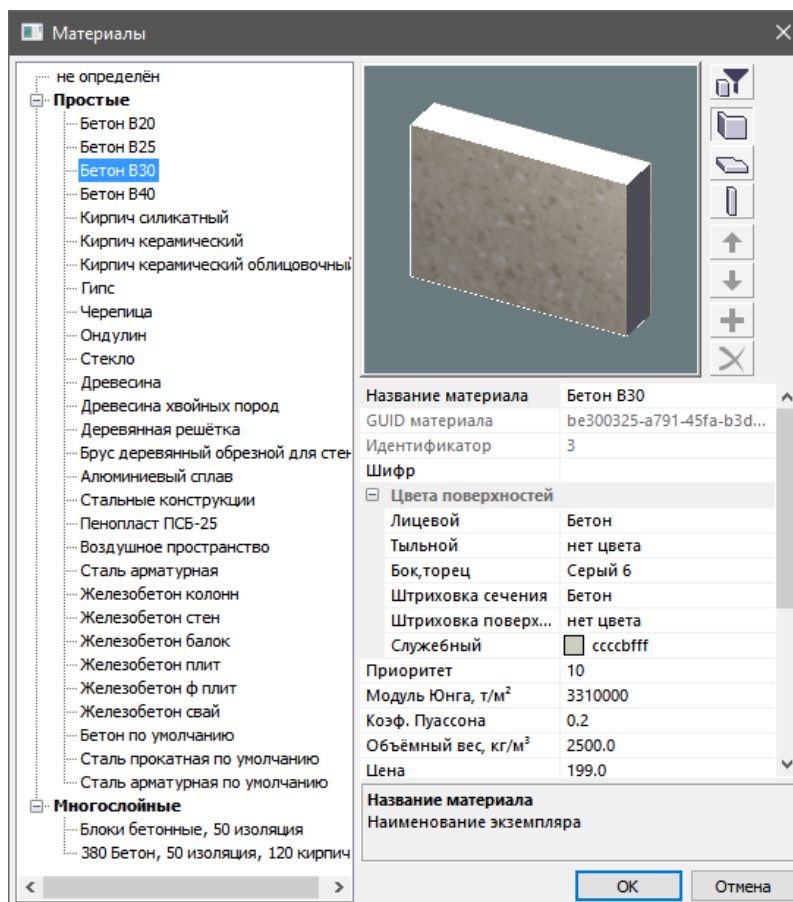
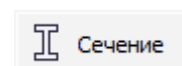


Рис.26.2. Диалоговое окно **Материалы**

- ❑ Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** (рис.26.3) щелчком по кнопке в строке свойств инструмента **Контур сечения**.
- ❑ В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:



- в списке типов сечений выберите тип **Тавр(S2)**;
 - задайте параметр **b=187 мм**;
 - задайте параметр **h=316 мм**;
 - задайте параметр **b1=660 мм**;
 - задайте параметр **h1=200 мм**.
- После этого щелкните по кнопке **ОК**.
- Расположите сечение в графической области.
- Нажмите клавишу **Esc** на клавиатуре, чтобы завершить построение сечения.

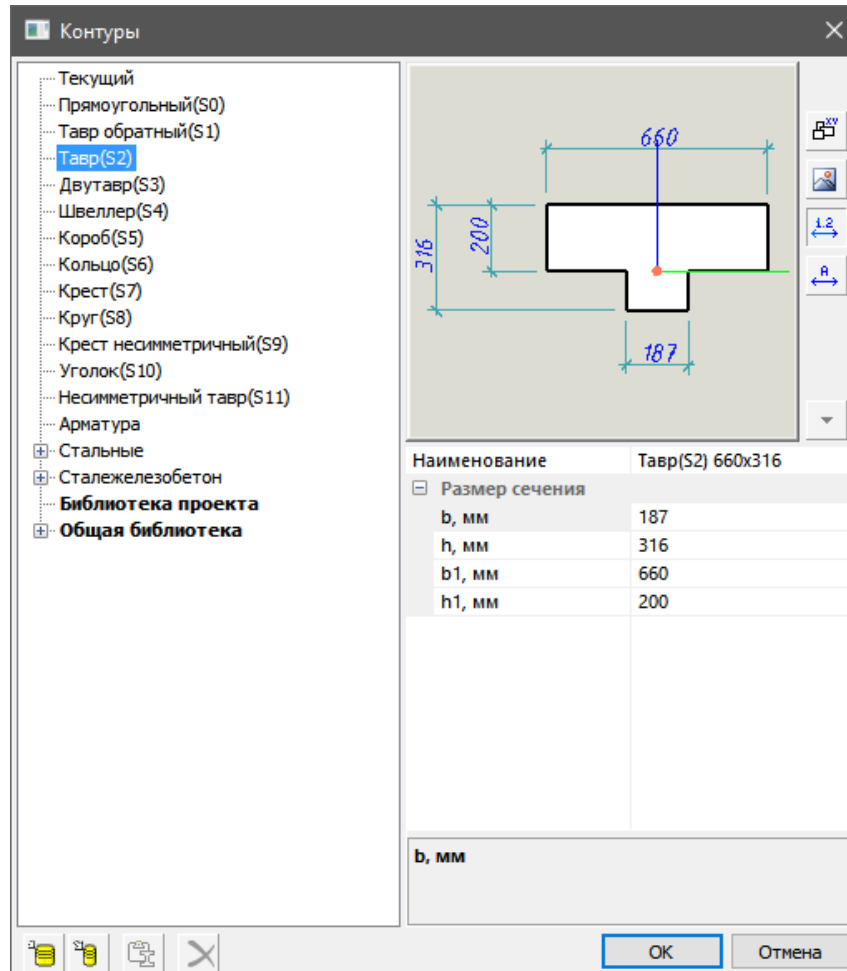


Рис.26.3. Диалоговое окно Параметры сечения

Редактирование контура сечения железобетонной плиты

- Установите локальную систему координат в точку **3** через команду контекстного меню **ЛСК в точку** (рис. 26.4).

Для оперативного позиционирования локатора, используемого для ввода точек при построениях и редактировании элементов модели предусмотрены следующие команды:

F3 — поместить локатор в ближайшую точку модели. Позиционирование локатора происходит в точку модели, расположенную в пространстве ближе других к текущей позиции локатора.

F4 — поместить локатор в начало координат. Локатор помещается в начало локальной системы координат (если ЛСК видна в графической области).

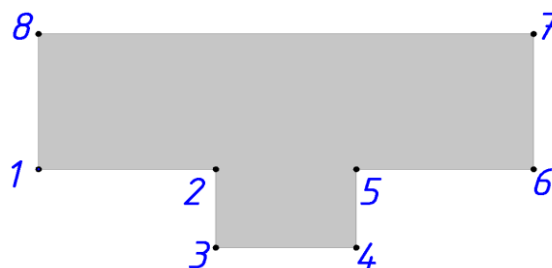


Рис.26.4. Контур сечения плиты

- Выделите контур сечения.
- Щелкните по кнопке - **Перенос вершины** (панель **Корректировка** на вкладке **Конструктор сечений**).
- Нажмите и удерживая нажатой кнопку мыши потяните влево точку **2**.
- Нажмите клавишу **X** на клавиатуре. В окне координат активируется поле ввода координаты **X**. Задайте величину координаты **-50мм** (рис.26.5). Проконтролируйте, чтобы координата **Y** была **116**.
- Нажмите клавишу **Enter** на клавиатуре для подтверждения ввода.
- Нажмите и удерживая нажатой кнопку мыши потяните вправо точку **5**.
- Нажмите клавишу **X** на клавиатуре. В окне координат активируется поле ввода координаты **X**. Задайте величину координаты **237мм**. Проконтролируйте, чтобы координата **Y** была **116**.
- Нажмите клавишу **Enter** на клавиатуре для подтверждения ввода.
- Нажмите клавишу **Esc** на клавиатуре, чтобы снять выделение с контура плиты.

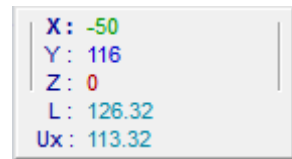


Рис.26.5. Окно координат

Для ввода координат с клавиатуры используйте следующие горячие клавиши:

X – активация поля для ввода координаты *X*;

Y – активация поля для ввода координаты *Y*;



Z – активация поля для ввода координаты *Z*;

L – ввод значения длины (отступа от последней созданной точки);

U – активация поля для ввода значения угла от оси *X*;

Стрелки вверх/вниз - переключение между полями редактирования в окне координат.

Задание точечного включения

- Выполните щелчок по кнопке - **Включение** (панель **Инструменты сечения** на вкладке **Конструктор сечений**).
- В строке свойств инструмента **Включение** задайте следующее:
 - способ построения  – **Точка**
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента **Включение**.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
 - в списке типов сечений выберите тип **Арматура**;
- В строке свойств инструмента **Арматура** щелкните напротив строки **Размер сечения**.
- В открывшемся диалоговом окне **Выбрать арматуру** задайте следующее:
 - **Стандарт** – ГОСТ 5781-82;
 - **Класс** – А1;
 - **Диаметр** – 20;
 - **Тип** – гладкая.
- После этого щелкните по кнопке - **Принять**.
- В диалоговом окне **Контуры** щелкните по кнопке **ОК**.
- Введите координаты расположения арматурных включений:
 - Первое арматурное включение - (**X=29, Y= 40**);
 - Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения.
 - Второе арматурное включение - (**X=157, Y= 40**);
 - Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения.
- Установите локальную систему координат в точку **1** через команду контекстного меню **ЛСК в точку** (см. рис. 26.4).
- Введите координаты расположения арматурных включений:
 - Третье арматурное включение - (**X=29, Y= 40**);
 - Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения.
 - Четвертое арматурное включение - (**X=29, Y= 160**);
 - Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения.
- Нажмите клавишу **Esc** на клавиатуре, чтобы выйти из задания арматурных включений.
- Выделите 3-е и 4-е арматурное включение, удерживая нажатой клавишу **Shift** на клавиатуре.
- Вызовите диалоговое окно **Перемещение объектов** (рис.26.6) щелчком по кнопке - **Перенос по координатам** в раскрывающемся списке **Перенести** (панель **Корректировка** на вкладке **Редактирование**).
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующее:
- приращение X, мм** – 100;

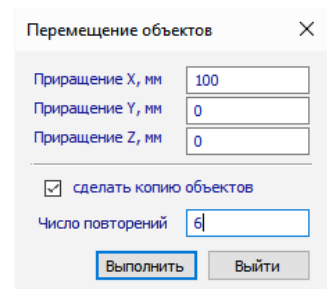
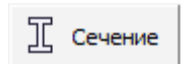


Рис.26.6. Диалоговое окно Перемещение объектов

- установите флажок – сделать копию объектов;
 - **Число повторений** – 6.
- После этого щелкните по кнопке **Выполнить**.
- Нажмите клавишу **Esc** на клавиатуре, чтобы снять выделение с перемещенных арматурных включений.
- Удалите 5-е арматурное включение (рис. 26.7), для этого выделите его курсором и нажмите клавишу Delete на клавиатуре.

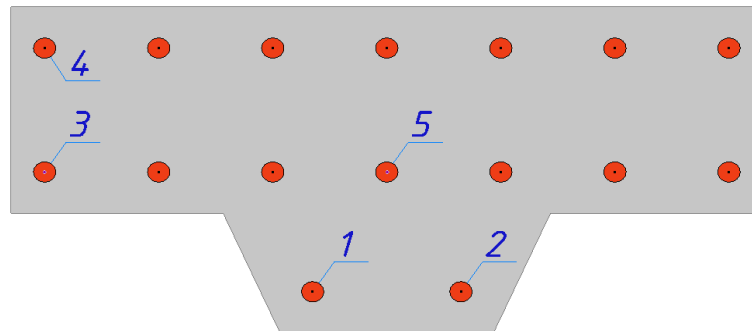





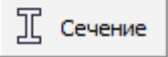


Рис.26.7. Контур сечения с арматурными включениями

Создание профилированного листа

- Выполните щелчок по кнопке - **Полоса** (панель **Инструменты сечения** на вкладке **Конструктор сечений**). 
- В диалоговом окне **Свойства построения: Полоса** задайте следующее:
- **Вес линии – Жирная 09;**
 - **Толщина, мм – 1.2.**
- После этого щелкните по кнопке - **Применить**. 
- В строке свойств инструмента **Полоса** задайте следующее:
- **способ построения - Отрезок;**
 - **снимите флажок Замыкать.** 
- Выполните построение профилированного листа, проводя линию от начальной точки № 1 до точки № 2 (см. рис. 26.4), затем последовательно укажите точки №3,4,5,6 (при построении в режиме "цепочка" конечная точка предыдущего сегмента используется в качестве начальной точки следующего).
- Нажмите клавишу **Enter** для подтверждения.
- Нажмите клавишу **Esc** на клавиатуре, чтобы выйти из построения полосы.

Создание несимметричного двутавра

- Щелкните по кнопке - **Сечение** (панель **Инструменты сечения** на вкладке **Конструктор сечений**). В диалоговом окне свойств отобразятся свойства построения контура сечения. 
- В диалоговом окне **Свойства** задайте следующее:
- Шаг триангуляции - 4.**
- После этого щелкните по кнопке - **Применить к объекту**. 
- Вызовите диалоговое окно **Параметры сечения** щелчком по кнопке  в строке свойств инструмента **Контур сечения**.
- В открывшемся диалоговом окне задайте следующие параметры:
- В списке типов сечений выберите тип **Стальные –Несимметричный двутавр;**
- В строке свойств инструмента **Несимметричный двутавр** щелкните напротив строки **Состав сечения**.
- В открывшемся диалоговом окне **Стальное сечение** (рис. 26.8). Выберите верхний пояс двутавра, задайте следующее:
- в раскрывающемся списке **Профиль** сначала выберите сортамент - **Прокат листовой горячекатаный толщиной 2.5...25 мм <LIST2-25.profiles.srt>;**
 - после этого в следующем списке выберите размеры листового проката - **150 x 12;**
 - в раскрывающемся списке **Сталь – Сталь по СП 16.13330. 2011, лист и фасон <SpListProf.steels.srt>;**
 - в следующем списке выберите класс стали - **C245.**
- для стенки:
- **Лист 630 x 10.**
- для нижнего пояса:
- **Лист 320 x 16.**
- После этого щелкните по кнопке **ОК**
- В диалоговом окне **Контур** щелкните по кнопке **ОК**.

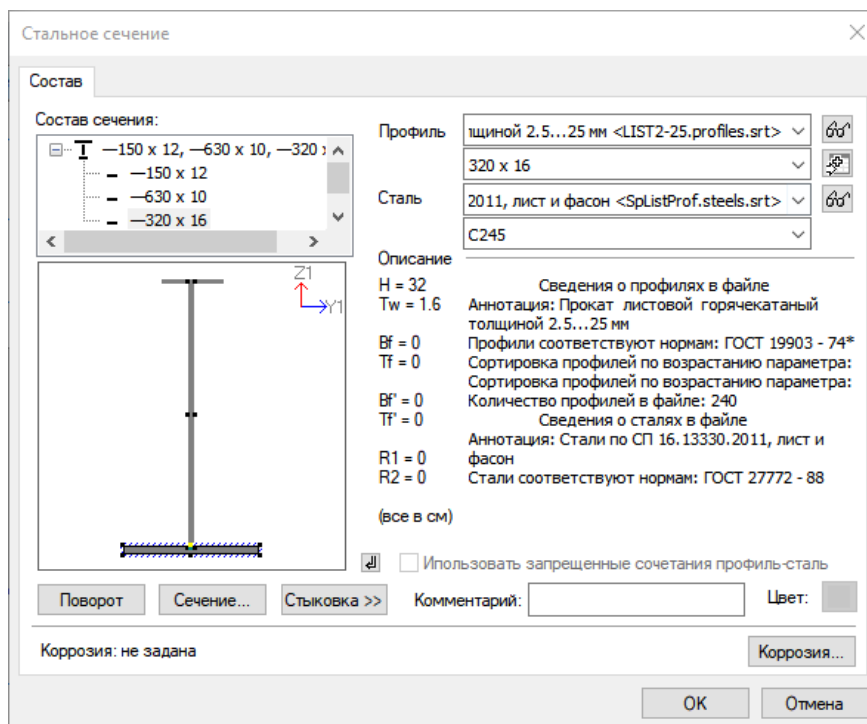



Рис.26.8. Диалоговое окно Стальное сечение

При необходимости, РС-САПР (Редактируемый сортамент) позволяет просматривать и редактировать существующие сортаменты металлопроката и создавать новые сортаменты.

- В строке свойств инструмента **Контур сечения** задайте следующее:
 - нажмите и удерживайте нажатой кнопку - **Привязка** до появления раскрывающегося списка;
 - выберите из раскрывающегося списка привязки сечения  - **Верху по центру**.
- Установите сечение несимметричного двутавра, между точками 3 и 4 (см. рис.26.5).



Вслед за 3D локатором перемещается каркасное изображение несимметричного двутавра. Используйте 3D локатор для задания желаемой позиции. Для центра грани сечения отображается треугольный розовый маркер привязки. Зафиксируйте позицию сечения посредством одинарного щелчка левой кнопкой мыши.

- Нажмите клавишу **Esc** на клавиатуре, чтобы выйти из построения несимметричного двутавра.
- На этом этапе формирование геометрии заканчивается. И можно выполнить расчет характеристик сечения.

Этап 3. Расчет сечения

- Задайте шаг триангуляции для последующего расчета, для этого щелкните по кнопке - **Настройки расчета** (панель **Расчет** на вкладке **Конструктор сечений**).
- После этого щелкните по кнопке **OK**.



Если в элементе сечения не указан другой шаг триангуляции, его контур будет разбит для расчета с шагом установленным по умолчанию.

- Щелкните по кнопке - **Расчет** (панель **Расчет** на вкладке **Конструктор сечений**).



Этап 4. Просмотр и анализ характеристик сечения

- Щелкните по кнопке - **Развернуть сечение** (панель **Результаты** на вкладке **Конструктор сечений**).
- Чтобы просмотреть таблицу характеристик сечения, а также справочную информацию по компонентам созданного сечения, щелкните по кнопке - **Характеристики** (панель **Результаты** на вкладке **Конструктор сечений**) (рис. 26.9).
- После полного расчета есть возможность показать/спрятать триангуляционную сеть сечения. Для этого щелкните по кнопке - **Показать сеть** (панель **Результаты** на вкладке **Конструктор сечений**).
- Для того чтобы показать/спрятать главные оси сечения, эллипс инерции, ядро сечения и положения центров сдвига, кручения и пересечения нейтральных осей, щелкните по кнопке - **Оси и ядро сечения** (панель **Результаты** на вкладке **Конструктор сечений**).



Обозначение	Значение	Единицы	Наименование
Геометрические характеристики всего сечения			
Xo	0	мм	Координата x центра тяжести в текущей системе координат
Yo	0	мм	Координата y центра тяжести в текущей системе координат
φ	0.01	°	Поворот главной оси сечения Y1 относительно оси x текущей системы координат
Ry	314.07	мм	Радиус инерции относительно главной оси Y1
Rz	152.81	мм	Радиус инерции относительно главной оси Z1
Pext	3809.45	мм	Периметр внешних контуров
Pint	0	мм	Периметр внутренних контуров
Ro	3.064	т/м ³	Усредненная плотность сечения
g	0.546	тс/м	Усредненный погонный вес
Y-	70.72	мм	Ядровое расстояние в отрицательном направлении главной оси Y1
Y+	70.78	мм	Ядровое расстояние в положительном направлении главной оси Y1
Z-	318.84	мм	Ядровое расстояние в отрицательном направлении главной оси Z1
Z+	148.39	мм	Ядровое расстояние в положительном направлении главной оси Z1
Крутильные характеристики			
Yt	14.37	мм	Координата Y1 центра кручения в системе координат главных осей Y1oZ1
Zt	129.26	мм	Координата Z1 центра кручения в системе координат главных осей Y1oZ1
Сдвиговые характеристики			
Ys	13.88	мм	Координата Y1 центра сдвига в системе координат главных осей Y1oZ1
Zs	136.36	мм	Координата Z1 центра сдвига в системе координат главных осей Y1oZ1
Жесткостные характеристики			
EA	917860.91994	тс	Осевая жесткость
EIu	90538.707684	тс·м ²	Изгибная жесткость относительно центральной оси U
EIV	21432.208907	тс·м ²	Изгибная жесткость относительно центральной оси V
EIuv	-17.230482	тс·м ²	Центробежная жесткость относительно центральных осей UV
EIy	90538.711980	тс·м ²	Изгибная жесткость относительно главной оси оси Y1
EIz	21432.204611	тс·м ²	Изгибная жесткость относительно главной оси оси Z1
ESy	114310.84382	тс·м	Произведение статического момент полусечения на его модуль упругости относительно главной оси Y1
ESz	54273.889506	тс·м	Произведение статического момент полусечения на его модуль упругости относительно главной оси Z1
GJt	3985.867120	тс·м ²	Жесткость на кручение - произведение модуля сдвига на крутильный момент инерции

Рис.26.9. Диалоговое окно Характеристики сечения

Этап 5. Создание файла для ПК ЛИРА-САПР

- Щелкните по кнопке - **Сохранить файл** (панель **Результаты** на вкладке **Конструктор сечений**).
- В диалоговом окне **Сохранение**, при выбранном типе файлов **Конструктор сечений (*.KCC)**, заданном имени файла **Пример 26** и выбранной папке, в которую будет сохранен файл, щелкните по кнопке **Сохранить**.

Созданное произвольное многоматериальное поперечное сечение стержня можно экспортировать в ВИЗОР-САПР и присвоить его соответствующему элементу. Имеется также возможность импортировать в Конструктор сечений усилия, полученные после расчета. Это позволяет получить картину распределения напряжений по сечению – нормальных, касательных, главных и эквивалентных.