

ПРОГРАММА «GEOMW» ДЛЯ РАСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

При расчете строительных конструкций на прочность и жесткость необходимо определять геометрические характеристики – площадь сечения, координаты центра тяжести, угол наклона главных центральных осей, главные центральные моменты инерции, моменты сопротивления и радиусы инерции.

Традиционный путь решения задачи состоит в разбиении сечения на отдельные фигуры, для которых площадь, положение центра тяжести, осевые и центробежные моменты инерции вычисляются по готовым формулам или определяются по сортаменту прокатных профилей. Затем вычисляются координаты центра тяжести всего сечения, моменты инерции относительно центральных осей и т. д. Этот алгоритм легко программируется и лежит в основе многих программ расчета геометрических характеристик. В программе «GeomW» предложен другой подход.

Все сечение разбивается на простые фигуры:

- прямоугольник;
- прямоугольный треугольник правый (левый);
- круг;
- полукруг;
- четверть круга;
- двутавр;
- швеллер;
- равнополочный уголок;
- неравнополочный уголок правый (левый).

Для каждой фигуры вводятся характерные размеры:

прямоугольник, треугольник – ширина и высота;

круг, полукруг, четверть круга – радиус;

двутавр, швеллер – номер профиля;

равнополочный уголок – размер полки, толщина полки;

неравнополочный уголок – размеры полки, толщина полки.

Для определения положения фигуры задаются координаты одной точки (точки привязки) в выбранной системе координат. Для всех фигур, кроме круга, вводится угол поворота фигуры вокруг точки привязки относительно исходного состояния, принятого в программе (положительным считается угол поворота по часовой стрелке). Характерные размеры, точки привязки и исходное состояние показаны на рис 1.

Фигуру, не являющуюся прокатным профилем, можно задать в виде отверстия (фигуры с отрицательной площадью). Рекомендуется следующий порядок ввода фигур. Сначала вводятся сплошные фигуры, затем отверстия. В этом случае отображение информации на экране будет правильным.

Если в состав сечения не входят прокатные профили, то единицы измерения вводимых величин могут быть любыми. Вся информация должна быть представлена в одних единицах, в этих же единицах будут выведены и результаты расчета. Для сечений, включающих прокатные профили, все размеры необходимо задавать в сантиметрах.

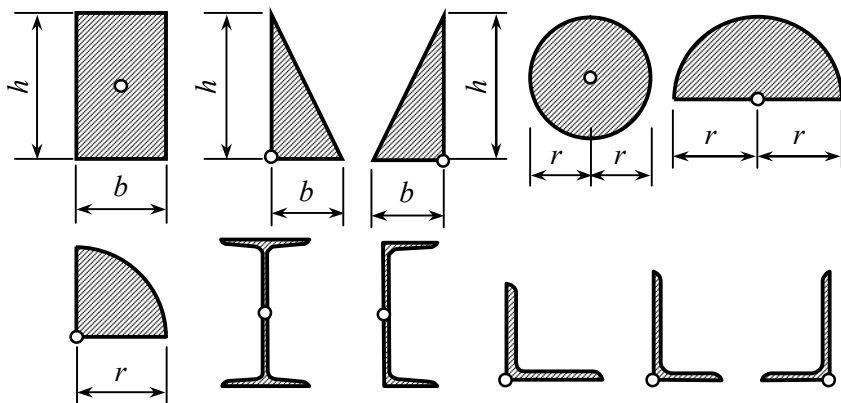


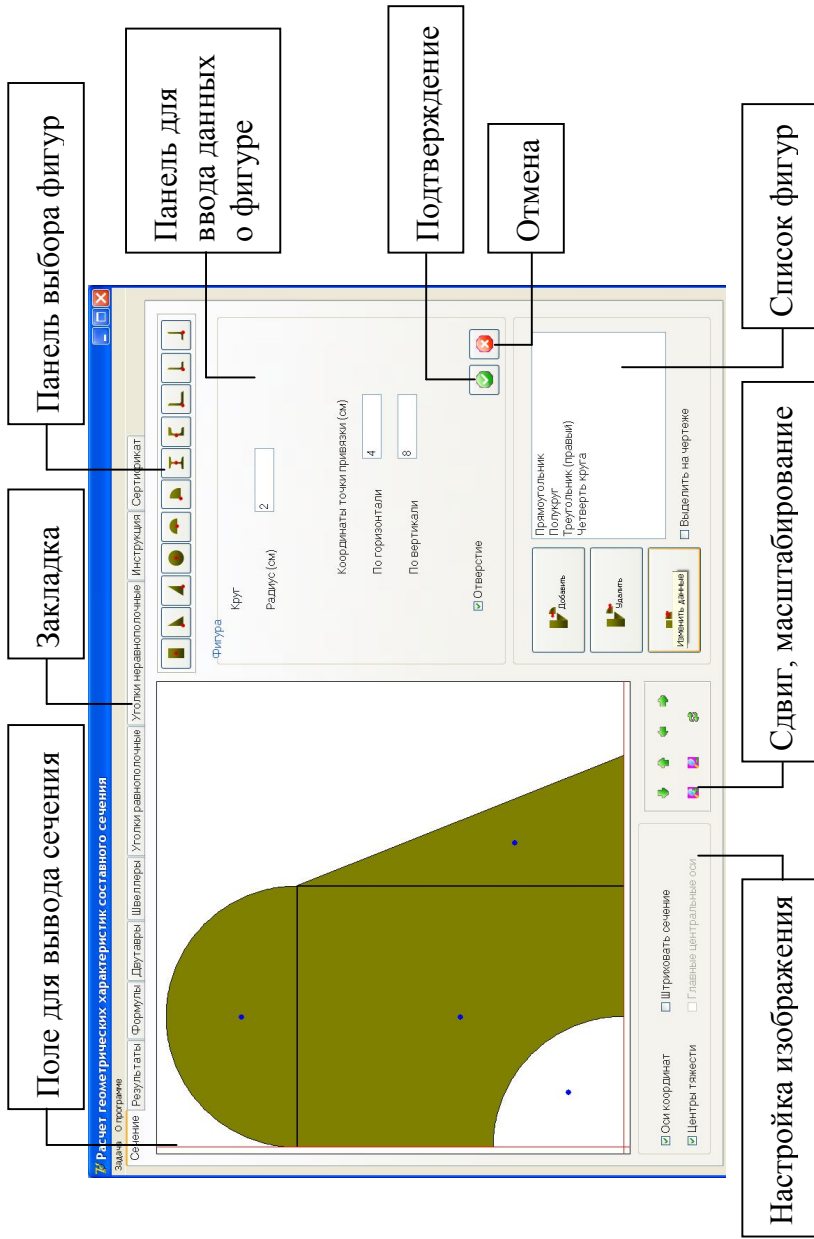
Рис. 1. Простые фигуры, из которых формируется сечение

Контрольные величины:

- площадь сечения;
- координаты центра тяжести;
- осевые и центробежный моменты инерции;
- положение главных центральных осей;
- главные центральные моменты инерции;
- радиусы инерции сечения.

Для поиска ошибок в ручном расчете следует вывести геометрические характеристики по фигурам (площадь, координаты центра тяжести, осевые и центробежный моменты инерции относительно собственных центральных осей).

Окно программы на этапе создания сечения показано на рис. 2, справочная информация, предоставляемая программой, (формулы для простых фигур, сортамент прокатных профилей и т. д.) представлена на рис 3.



Пример 1. Рассчитаем сечение, состоящее из пяти простых фигур (рис. 4, а): прямоугольник, полукруг, прямоугольный треугольник, четверть круга, круг. Две последние фигуры задаются в виде отверстия.

Выберем систему координат, как показано на рис. 4, б. Определим характерные размеры фигур, координаты точек привязки и углы поворота.

Первая фигура – прямоугольник. Ширина $b_1 = 8$ см, высота $h_1 = 10$ см, координаты точки привязки $z_1 = 4$ см, $y_1 = 5$ см, угол поворота $\alpha_1 = 0^\circ$.

Вторая фигура – полукруг ($r_2 = 4$ см; $z_2 = 4$ см; $y_2 = 10$ см; $\alpha_2 = 0^\circ$).

Третья фигура – прямоугольный треугольник правый ($b_3 = 4$ см; $h_3 = 10$ см; $z_3 = 8$ см; $y_3 = 0$ см; $\alpha_3 = 0^\circ$).

Четвертая фигура – четверть круга ($r_4 = 4$ см; $z_4 = y_4 = 0$ см; $\alpha_4 = 0^\circ$).

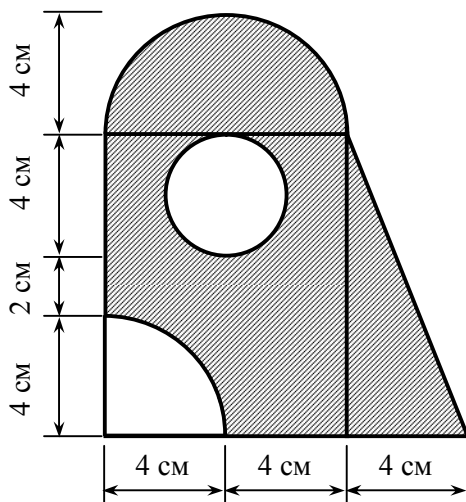
Пятая фигура – круг ($r_5 = 2$ см; $z_5 = 4$ см; $y_5 = 8$ см).

Геометрические характеристики отдельных фигур и всего сечения, сведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер фигуры	A , см ²	z_i , см	y_i , см	J_{zi} , см ⁴	J_{yi} , см ⁴	J_{zyi} , см ⁴	a_i , см	b_i , см
1	80,0	4,0	5,0	666,7	426,7	0,0	-1,387	-1,356
2	25,120	4,0	11,696	28,160	100,61	0,0	5,309	-1,356
3	20,0	9,333	3,333	111,1	17,78	-22,22	-3,054	3,977
4	-12,56	1,696	1,696	-14,05	-14,05	4,224	-4,691	-3,660
5	-12,56	4,0	8,0	-12,56	-12,56	0,0	1,613	-1,356
$A = 100,0$ см ² ; $z_C = 5,356$ см; $y_C = 6,387$ см; $J_{zC} = 1518,7$ см ⁴ ; $J_{yC} = 836,8$ см ⁴ ; $J_{zCyC} = -479,5$ см ⁴ ; $\text{tg}(2\alpha) = 1,406$; $\alpha = 27,3^\circ$; $J_{\max} = 1766,1$ см ⁴ ; $J_{\min} = 589,4$ см ⁴ ; $i_{\max} = 4,202$ см; $i_{\min} = 2,428$ см.								

a



б

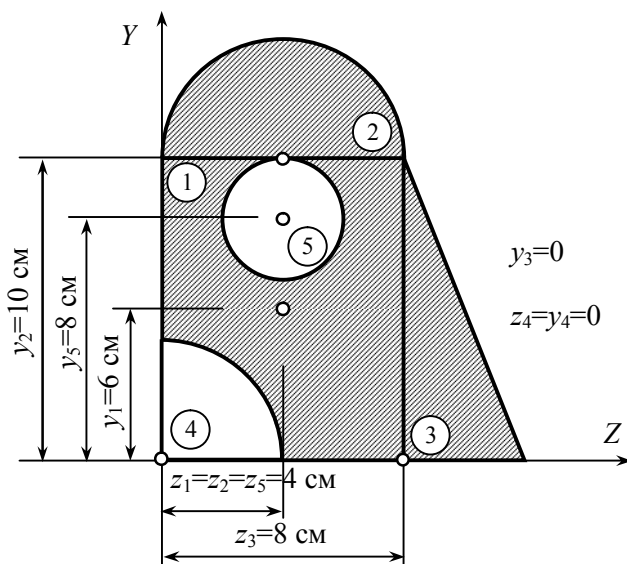
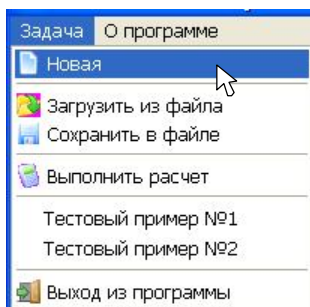


Рис. 4. Поперечное сечение (*a*) с разбивкой на фигуры (*б*) для примера 1

Порядок работы с программой следующий.

1. Создаем новую задачу



2. Добавляем фигуру



3. Выбираем фигуру – прямоугольник



4. Вводим исходные данные для прямоугольника

Фигура

Прямоугольник

Высота (см)

Ширина (см)

Координаты точки привязки (см)

По горизонтали

По вертикали

Угол поворота (град)

☐ Отверстие

☒ ☐

5. Выбираем фигуру – полукруг



6. Вводим исходные данные для полукруга

Фигура

Полукруг

Радиус (см)

Координаты точки привязки (см)

По горизонтали

По вертикали

☐ Отверстие

7. Выбираем фигуру – треугольник (правый)



8. Вводим исходные данные для треугольника

Фигура

Треугольник (правый)

Высота (см)

Ширина (см)

Координаты точки привязки (см)

По горизонтали

По вертикали

☐ Отверстие

9. Выбираем фигуру – четверть круга



10. Вводим исходные данные для четверти круга

Фигура

Четверть круга

Радиус (см)

Координаты точки привязки (см)

По горизонтали

По вертикали

☒ Отверстие

☒ ☐



12. Вводим исходные данные для круга

Фигура

Круг

Радиус (см)

Координаты точки привязки (см)

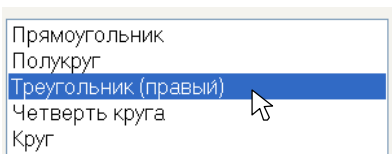
По горизонтали

По вертикали

☒ Отверстие

☒ ☐

Для просмотра исходных данных, редактирования или удаления фигуры выбираем ее из списка



Данные для выбранной фигуры выводятся в режиме просмотра (редактирование недоступно)

Фигура

Треугольник (правый)

Высота (см)

Ширина (см)

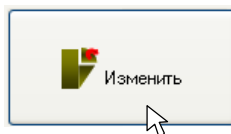
Координаты точки привязки (см)

По горизонтали

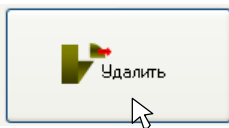
По вертикали

☐ Отверстие

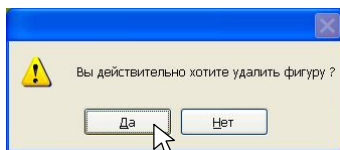
При необходимости редактирования исходных данных



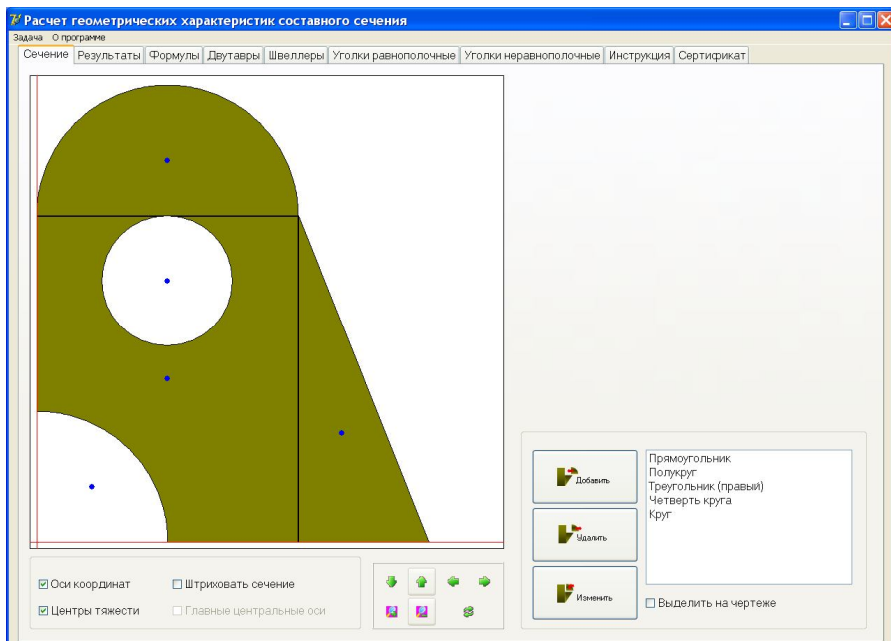
Для удаления фигуры из сечения



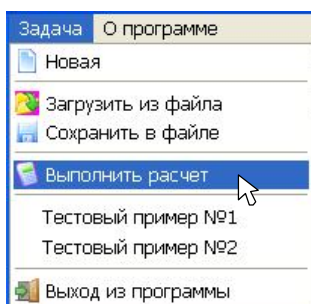
Подтверждение операции удаления фигуры



Вид сечения после ввода всех фигур



13. Выполняем расчет



14. Переходим на закладку «Результаты» и проверяем результаты для всего сечения

Расчет геометрических характеристик с

Задача О программе

Сечение Результаты Формулы Деутавры

Результаты расчета для всего сечения

Площадь сечения (см²) 100.000

Координаты центра тяжести (см)

Z_c 5.356 Y_c 6.387

Моменты инерции относительно центральных осей (см⁴)

J_{zc} 1518.675 J_{yc} 836.766

J_{zyc} 479.450

Tg(2α) 1.4062

Угол наклона осей 27.300

Главные центральные моменты инерции сечения (см⁴)

J_{max} 1766.050

J_{min} 589.394

Радиусы инерции сечения (см)

i_{max} 4.202 i_{min} 2.428

Проверить

☐ Вывести результаты по фигурам

Неверные данные
выделяются цветом

Для поиска ошибок выбираем опцию «вывести результаты по фигурам» и проверяем все расчетные величины по каждой фигуре в отдельности

Результаты по фигурам

Номер фигуры 2

Полукруг

Площадь (см²) 25.120

Координаты центра тяжести (см)

Z(i) 4.000 Y(i) 11.696

Расстояние между осями, см

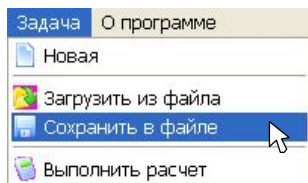
a(i) 5.309 b(i) -1.356

Моменты инерции относительно собственных центральных осей (см⁴)

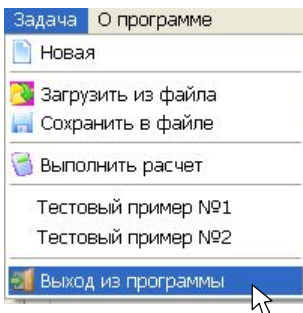
J_{z(i)} 28.160 J_{y(i)} 100.608

J_{zy(i)} 0.000

15. При необходимости сохраняем данные в файле



16. Завершаем работу



Пример 2. Поперечное сечение состоит из трех фигур (рис. 5, а):

- прямоугольник с размерами $40 \times 1,0$ см;
- двутавр № 24;
- неравнополочный уголок $200 \times 125 \times 12$.

Выберем систему координат, как показано на рис. 5, б, и определим координаты точек привязки и углы поворота фигур.

Первая фигура – прямоугольник ($b_1 = 1$ см; $h_1 = 40$ см; $z_1 = y_1 = 0$ см; $\alpha_1 = 0^\circ$).

Вторая фигура – двутавр. Номер профиля 30, координаты точки привязки $z_2 = 13,25$ см, $y_2 = 15,5$ см, угол поворота $\alpha_2 = 0^\circ$.

Третья фигура – неравнополочный уголок $200 \times 125 \times 12$. Развернем уголок вокруг точки привязки до совпадения с базовым положением (неравнополочный уголок левый, рис. 1.5, в). Координаты точки привязки $z_3 = -20$ см, $y_3 = -0,5$ см, угол поворота $\alpha_3 = 180^\circ$.

Геометрические характеристики отдельных фигур и всего сечения сведены в табл. 2.

Результаты расчета показаны на рис. 6.

Таблица 2

Номер фигуры	A , см ²	z_i , см	y_i , см	J_{zi} , см ⁴	J_{yi} , см ⁴	J_{zyi} , см ⁴	a_i , см	b_i , см
1	40,0	0,0	0,0	3,333	5333,3	0,0	-3,650	0,277
2	46,5	13,25	15,5	7080,0	337,0	0,0	11,85	13,527
3	37,89	-17,17	-7,04	1568,2	481,9	503,0	-10,69	-16,89
$A = 124,4$ см ² ; $z_C = -0,277$ см; $y_C = 3,650$ см; $J_{zC} = 20043,9$ см ⁴ ; $J_{yC} = 25476,7$ см ⁴ ; $J_{zCyC} = 14758,7$ см ⁴ ; $\text{tg}(2\alpha) = 5,433$; $\alpha = 39,8^\circ$; $J_{\max} = 37766,9$ см ⁴ ; $J_{\min} = 7753,8$ см ⁴ ; $i_{\max} = 17,425$ см; $i_{\min} = 7,895$ см.								

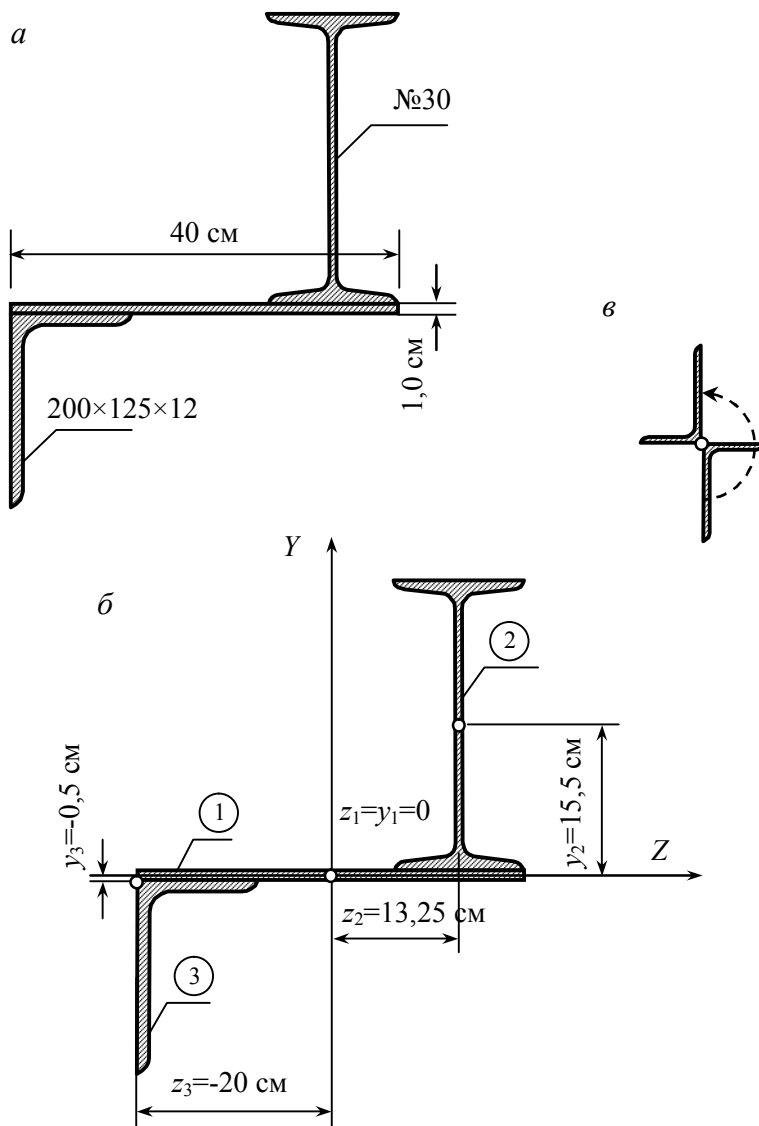
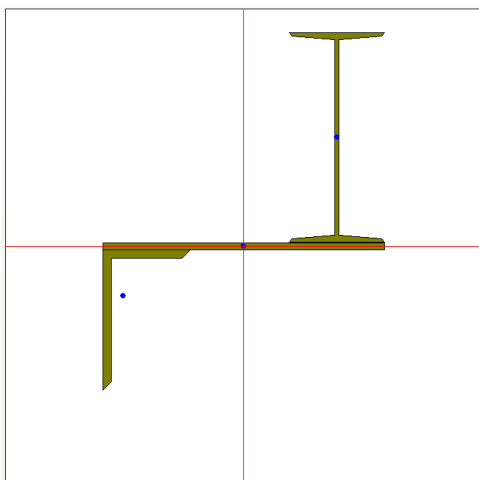


Рис. 5. Поперечное сечение (*a*) с разбивкой на фигуры (*б*) для примера 2;
схема для определения угла поворота неравнополочного уголка (*в*)



Результаты по фигурам

Номер фигуры

Прямоугольник

Площадь (см²)

Координаты центра тяжести (см)

Z(i) Y(i)

Расстояние между осями, см

a(i) b(i)

Моменты инерции относительно
собственных центральных осей (см⁴)

Jz(i) Jy(i)

Jzy(i)

Результаты расчета для всего сечения

Площадь сечения (см²)

Координаты центра тяжести (см)

Zc Yc

Моменты инерции относительно
центральных осей (см⁴)

Jzc Jyc

Jzyc

Tg(2alfa)

Угол наклона осей

Главные центральные моменты
инерции сечения (см⁴)

Jmax

Jmin

Радиусы инерции сечения (см)

imax imin

☐ Вывести результаты по фигурам

Рис. 6. Результаты расчета поперечного сечения (пример 2)

Пример 3. Поперечное сечение балки (рис. 7) с размерами, выраженными через параметр a .

Для расчета примем параметр a за единицу. Разделим сечение на три фигуры:

– прямоугольник ($b_1 = 7$; $h_1 = 10$; $z_1 = 3,5$; $y_1 = 5$; $\alpha_1 = 0^\circ$);

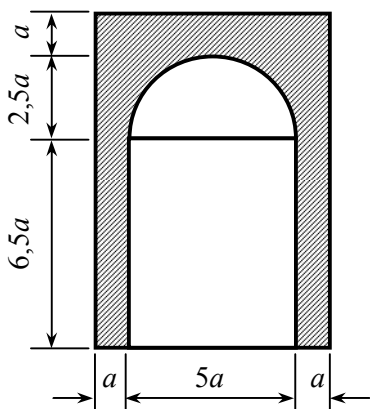
– прямоугольник ($b_2 = 5$; $h_2 = 6,5$; $z_2 = 3,5$; $y_2 = 3,25$;

$\alpha_2 = 0^\circ$, отверстие);

– полуокруг ($r_3 = 2,5$; $z_3 = 3,5$; $y_3 = 6,5$; $\alpha_3 = 0^\circ$, отверстие).

Результаты расчета показаны на рис. 8.

a



b

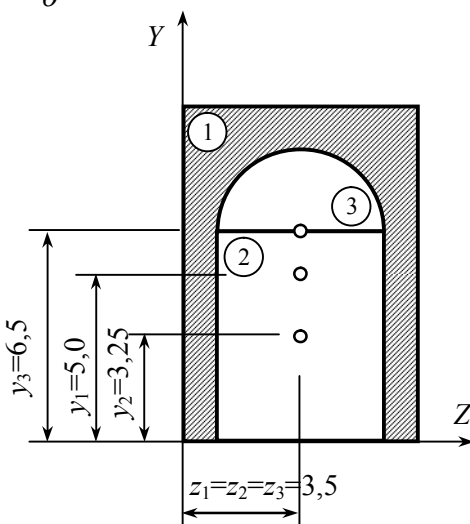


Рис. 7. Поперечное сечение (а) с разбивкой по фигурам (б) для примера 3

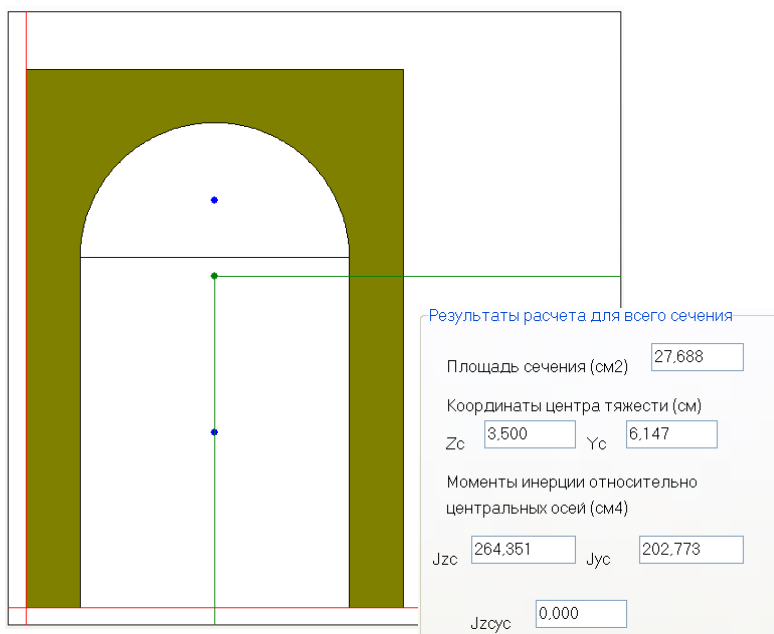


Рис. 8. Вид сечения и результаты расчета (пример 3)

По результатам решения записываем геометрические характеристики сечения:

координата центра тяжести $y_c = 6,147a$;

момент инерции $J_{zc} = 264,35a^4$;

момент сопротивления $W_z = \frac{264,35a^4}{6,147a} = 43,0a^3$.

Построенное программой изображение можно масштабировать, сдвигать по вертикали и горизонтали, заливать сплошным цветом или заштриховывать. Предусмотрена возможность вернуться к исходным параметрам.