

УДК 620.1-1

ПРОГРАММА-КАЛЬКУЛЯТОР ДЛЯ РАСЧЕТА ЯДРА СЕЧЕНИЯ

Сергеев Михаил Александрович, студент, направление подготовки 24.03.04 Авиастроение, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: mikail.sergg@mail.ru

Суховеев Александр Владимирович, студент, направление подготовки 09.03.04 Программная инженерия, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: sasha.sukhoveev.06@mail.ru

Научный руководитель: **Пояркова Екатерина Васильевна**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой механики материалов, конструкций и машин, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: yarko.e@mail.ru

Аннотация. Расчёт ядра сечения при внерадиальном растяжении-сжатии является ключевым этапом в проектировании различных конструкций. Ядро сечения определяет область, в которой приложение сжимающей силы вызывает только сжимающие напряжения, предотвращая появление растягивающих напряжений, трещин и разрушений.忽視ование этого фактора может привести к неравномерному распределению напряжений и снижению несущей способности конструкции. В статье рассматриваются отрасли промышленности, где такие расчёты особенно важны, включая строительство, мостостроение, горнодобывающую промышленность, морские и речные сооружения, машиностроение и аэрокосмическую промышленность. Также обсуждаются современные программные средства для автоматизации расчётов, такие как Sopromatguru, Sopromat.site, GeoHelp и Calc.ru, и их недостатки. В статье представлена разработанная программа-калькулятор, способная вычислять ядра сечений различной сложности, что значительно облегчает работу инженеров и проектировщиков, повышая качество и надёжность конструкций.

Ключевые слова: ядро сечения, внерадиальное сжатие, строительство, инженерные расчёты, программные средства, надёжность конструкций, геометрические характеристики, автоматизация расчётов, проектирование, напряжения и деформации.

Для цитирования: Сергеев М. А., Суховеев А. В. Программа-калькулятор для расчета ядра сечения // Шаг в науку. – 2025. – № 4. – С. 43–49.

CALCULATOR PROGRAM FOR CALCULATING THE CROSS-SECTION CORE

Sergeev Mikhail Alexandrovich, student, training program 24.03.04 Aircraft Engineering, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: mikail.sergg@mail.ru

Sukhoveev Alexander Vladimirovich, student, training program 09.03.04 Software Engineering, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: sasha.sukhoveev.06@mail.ru

Research advisor: **Poyarkova Ekaterina Vasilyevna**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanics of Materials, Structures, and Machines, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: yarko.e@mail.ru

Abstract. The calculation of the core section under eccentric tension-compression is a crucial step in the design of various structures. The core section defines the area where the application of compressive force results in only compressive stresses, preventing the occurrence of tensile stresses, cracks, and failures. Ignoring this factor can lead to uneven stress distribution and a reduction in the load-bearing capacity of the structure. The article discusses industries where such calculations are particularly important, including construction, bridge construction, mining, marine and

river structures, mechanical engineering, and aerospace engineering. It also examines modern software tools for automating calculations, such as Sopromatguru, Sopromat.site, GeoHelp, and Calc.ru, and their shortcomings. The article presents a developed calculator program capable of computing the cores of sections of varying complexity, significantly facilitating the work of engineers and designers, and enhancing the quality and reliability of structures.

Key words: core section, eccentric compression, construction, engineering calculations, software tools, reliability of structures, geometric characteristics, automation of calculations, design, stresses and deformations.

Cite as: Sergeev, M. A., Sukhoveev, A. V. (2025) [Calculator program for calculating the cross-section core]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 43–49.

Расчёт ядра сечения при внерадиальном растяжении-сжатии является важным этапом проектирования различных конструкций. Ядро сечения представляет собой область внутри сечения, при приложении сжимающей силы, в которой во всем сечении возникают только сжимающие напряжения [9]. Игнорирование этого фактора может привести к нежелательным явлениям, таким как:

- появление растягивающих напряжений в сечении, рассчитанном на сжатие, что может привести к образованию трещин и разрушению;
- неравномерное распределение напряжений, что снижает несущую способность конструкции;
- неустойчивость конструкции при больших эксцентрикитетах нагрузки.

Ниже представлены отрасли промышленности и народного хозяйства, где необходимы расчёты ядра сечения.

1. Строительство:

а) железобетонные конструкции. Расчет колонн, стоек, фундаментов и других элементов, подверженных внерадиальному сжатию, является критически важным для обеспечения прочности и устойчивости зданий и сооружений. Неправильное определение положения нагрузки относительно ядра сечения может привести к разрушению конструкции;

б) металлические конструкции. Расчет колонн, балок и рам, особенно в высотных зданиях и промышленных сооружениях. Внерадиальное сжатие может возникать из-за неидеальной центровки нагрузки, дефектов изготовления или монтажа, а также ветровых нагрузок;

в) деревянные конструкции. Расчет столбов, стоек и других элементов, подверженных внерадиальному сжатию, особенно в бревенчатых и каркасных домах. Учет особенностей древесины, таких как анизотропия и подверженность усадке, делает расчет ядра сечения особенно важным;

г) арки и своды. Правильное распределение нагрузки вдоль ядра сечения обеспечивает устойчивость конструкции и предотвращает разрушение каменных и кирпичных арок и сводов.

Так, например, в работе [4] показано, что при строительстве многоэтажных зданий формирование экс-

центрикитетов в колоннах каркаса может быть следствием недостаточного качества проектных решений или производства строительных работ, что напрямую влияет на функциональную эффективность сжатых колонн. Учет проявления эксцентрикитетов и отклонений осей при расчёте ядра сечения является критически важным для повышения несущей способности колонн и предотвращения потенциальных аварийных ситуаций, требуя разработки специального алгоритма экспертизы фактических параметров напряжённо-деформированного состояния [2; 4].

2. Мостостроение:

а) опоры мостов. Расчет опор мостов, особенно при наличии горизонтальных нагрузок от ветра, транспорта и сейсмических воздействий. Внерадиальное сжатие может возникать из-за смещения оси нагрузки, неровностей дорожного покрытия и других факторов;

б) пролетные строения. Расчет балок и ферм пролетных строений мостов, особенно при переменной нагрузке от транспорта. Учет влияния динамических нагрузок и их возможного эксцентрикитета является необходимым условием для обеспечения безопасности эксплуатации моста [8].

3. Горнодобывающая промышленность:

а) стойки безопасности и кровлезащитные плиты. Эти элементы используются для поддержания кровли и бортов горных выработок. Нагрузка на них может быть распределена неравномерно из-за геологических особенностей или смещения массива горных пород;

б) неравномерное распределение нагрузки от массива. Это конкретизирует причину внерадиального сжатия, связанную с тем, что горное давление не всегда действует строго по центру крепи [1];

в) деформация крепи, снижение эффективности защиты. Описывает дополнительные последствия игнорирования расчета ядра сечения, а именно – снижение эффективности крепи в поддержании выработки.

4. Морские и речные сооружения:

а) сваи и опоры морских платформ. Расчет свай и опор морских платформ, подверженных воздействию ветровых и волновых нагрузок. Учет внерадиального сжатия позволяет спроектировать конструкции, способные выдерживать экстремальные условия эксплуатации;

б) причальные сооружения. Расчет причальных сооружений, подверженных воздействию нагрузок от судов и швартовных устройств. Учет внецентренного сжатия позволяет спроектировать конструкции, способные выдерживать динамические нагрузки и обеспечивать безопасную швартовку.

5. Машиностроение:

а) детали машин и механизмов. Расчет деталей машин и механизмов, подверженных внецентренному сжатию, таких как поршни, шатуны и штоки. Учет влияния эксцентричеситета нагрузки на распределение напряжений и деформаций позволяет повысить надежность и долговечность машин;

б) рамы и корпуса машин. Расчет рам и корпусов машин, особенно при неравномерном распределении массы и приложении внешних сил. Внецентренное сжатие может возникать из-за вибраций, ударов и других динамических воздействий. Например, в ковочных прессах с колонным исполнением станины, эксцентричеситет силы значительно влияет на направляющие колонны, вызывая существенное увеличение изгибных напряжений [5].

6. Аэрокосмическая промышленность:

а) лонжероны и балки крыла являются основными несущими элементами крыла самолета. Подвержены сложным аэродинамическим нагрузкам, которые часто приводят к внецентренному сжатию;

б) неравномерное распределение подъемной силы. Конкретизирует причину внецентренного сжатия, связанную с распределением аэродинамических сил по поверхности крыла;

в) снижение несущей способности крыла, флаттер. Описывает дополнительные последствия игнорирования расчета ядра сечения, включая потерю несущей способности крыла и возникновение флаттера (опасной вибрации).

Знание положения ядра сечения позволяет либо оптимизировать конструкцию, обеспечивая её устойчивость и надёжность, либо варьировать полюсом (местом приложения нагрузки).

Расчёт ядра сечения является актуальной задачей во многих отраслях промышленности, где требуется обеспечить устойчивость и надёжность инженерных конструкций. Применение ручных методов расчёта в таких случаях сопряжено с высокой трудоёмкостью и риском ошибок, особенно при анализе сложных профилей и нагруженных элементов.

В связи с этим всё более широкое распространение получают программные средства, предназначенные для автоматизации вычислений геометрических характеристик сечений. На современном рынке представлены как бесплатные, так и коммерческие решения, позволяющие ускорить расчёты и повысить их

точность. Ниже приведён обзор наиболее популярных программ для расчётов геометрических характеристик плоских сечений, доступных пользователям.

Sopromatguru [3] – конструктор сечений, дающий возможность конструировать пользовательские составные сечения как из прокатных профилей (дугтавр, швеллер, тавр, квадратная труба и др.), выбранных из сортамента, так и произвольные параметрические сечения. Онлайн-сервис позволяет формировать подробный отчет о ходе расчета таких геометрических характеристик как: площадь сечения, координаты центра тяжести, статические моменты, моменты инерции и моменты сопротивления.

Sopromat.site [10] – сайт, представляющий инструменты для расчета геометрических характеристик сложных поперечных сечений. Пользователи могут выбирать сечение из различных профилей, таких как дугтавр, швеллер, уголки, полосы, круг, полукруг, треугольники и другие. Для каждого профиля имеется возможность задавать параметры в виде размеров и углов поворота. По результатам расчета формируется иллюстрированный отчет с подробным решением, включая площадь сечения, координаты центра тяжести, статические моменты, моменты инерции и моменты сопротивления. Однако данный сайт имеет ряд весьма существенных недостатков:

- ограниченный набор профилей, что делает невозможным его использование для более сложных или нестандартных конструкций;
- отсутствие возможности импорта собственных профилей или экспорта результатов в другие форматы для дальнейшего анализа;
- отсутствие оптимизированного интерфейса для использования на мобильных устройствах, что ограничивает доступность.

GeoHelp [7] – приложение, позволяющее вычислять геометрические параметры плоских сечений и тел, такие как площадь, положение центра тяжести, боковая поверхность, объем и другие. В программном продукте поддерживаются различные формы сечений, включая кольцевой сектор, круг, полукруг, параллелограмм, треугольник и другие. Также имеется возможность сохранения результатов в текстовый файл или печать, наличие встроенного строкового калькулятора. Вместе с тем, приложение GeoHelp также имеет несколько существенных недостатков:

- устаревший пользовательский интерфейс, что может затруднить его использование для новых пользователей. Отсутствует возможность изменить масштаб, отсутствует визуализация конкретного сечения и его характеристик;
- отсутствие поддержки более сложных или специализированных сечений.

Calc.ru [11] – сайт-сборник калькуляторов различных типов. Среди прочих имеются калькуляторы для строительных расчётов, однако в основном они носят более бытовой характер. К таким калькуляторам можно отнести: расчёт бруса (по заданным габаритам помещения), калькулятор ступеней лестницы, калькулятор фундамента и другие. Данный сайт можно использовать в качестве вспомогательного, для примерных расчётов, однако для расчёта ответственных неравномерно нагруженных деталей со сложным сечением калькулятор не подойдёт.

При анализе вышеизложенного было принято решение о создании программы-калькулятора, предназначенный для автоматизации процесса расчета ядра сечения внерадиально сжатых конструкций.

Как известно из курса дисциплины сопротивления материалов, для расчёта ядра сечения необходимо знать основные геометрические характеристики плоского сечения, такие как центр тяжести фигуры, её площадь, моменты и квадратные радиусы инерции.

Эти геометрические параметры определяют, как сечение будет реагировать на внешние нагрузки.

Для простых геометрических форм поперечного сечения типа прямоугольника или круга, ядро сечения можно без затруднений установить аналитически. Например, для прямоугольного сечения ядро представляет собой ромб с диагоналями в 3 раза меньшими, чем стороны прямоугольника. Для кругового сечения ядро сечения – круг, диаметр которого в 4 раза меньше диаметра сечения [6].

Для сложных сечений, таких как многоугольники или сечения с вырезами, используются численные методы. Один из наиболее распространённых методов – метод конечных элементов (МКЭ), который позволяет разбить сечение на множество малых элементов и рассчитать их взаимодействие. Однако данный метод не всегда рационально использовать.

Построение сечения для произвольного многоугольника рациональнее производить путём вычисления нейтральных линий, так как конечные элементы,

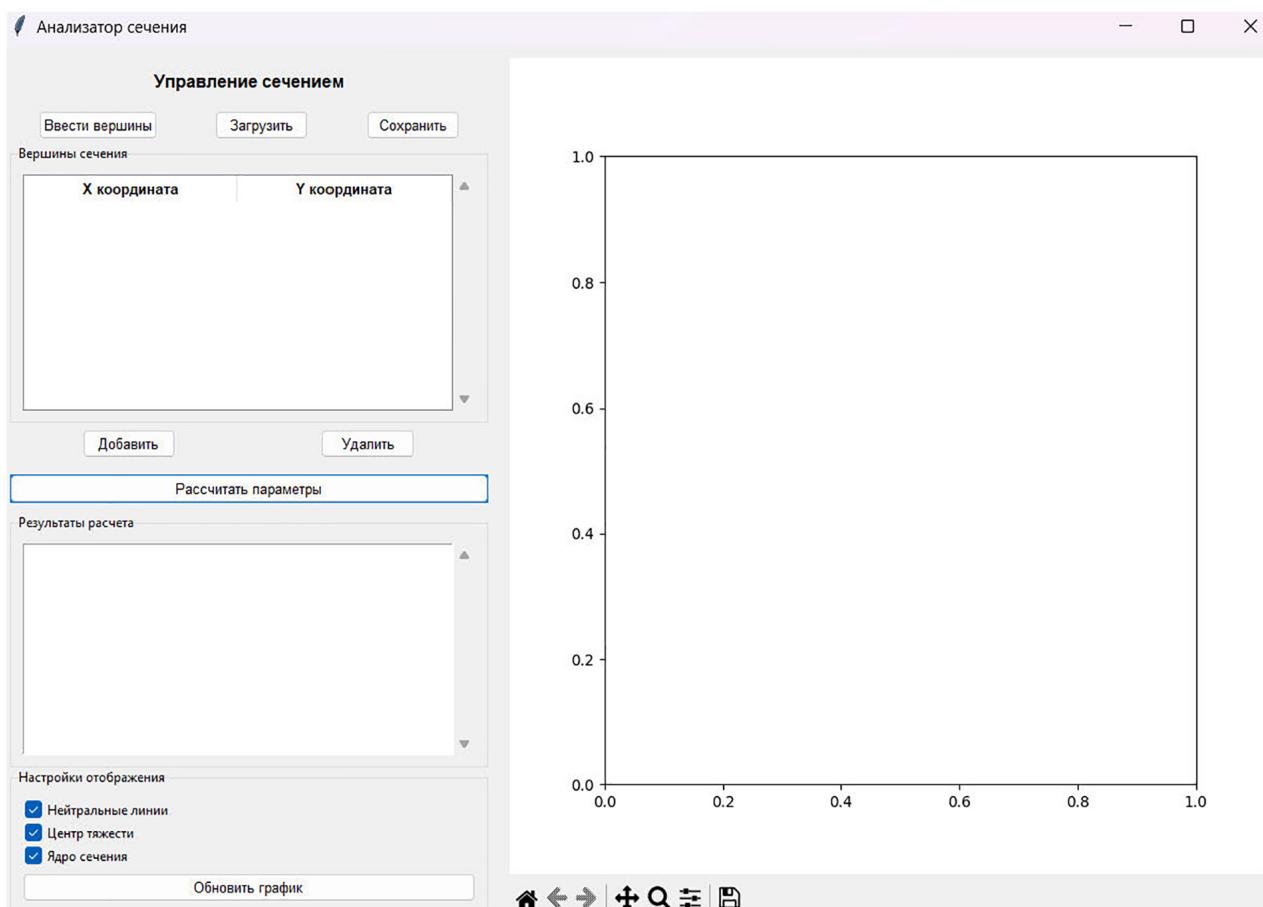


Рисунок 1. Стартовый интерфейс
Источник: разработано авторами

на которые разбито сечение, сами могут представлять многоугольники, особенно вблизи контура. Для того, чтобы упростить МКЭ потребуется разбиение сечения на все меньшие и меньшие элементы, что потребует большего количества операций. А для достижения точного результата придётся прибегнуть к интегральному исчислению и использованию бесконечно малых.

Построение нейтральных линий, в свою очередь, даёт точное сечение в весьма малое количество операций, равное количеству вершин многоугольника. Каждой вершине соответствует некоторая нейтральная линия, при переходе которой напряжения изменяют свой знак. Таким образом, путём построения всех нейтральных линий можно получить область, в которую можно прикладывать нагрузки, которые не вызовут напряжений разных знаков. То есть получится ядро сечения.

Разработанная авторами настоящей статьи про-

грамма способна вычислять не только ядра простых сечений, но и сложных. Ниже описана работа программы, её взаимодействие с пользователем.

На рисунке 1 представлен стартовый интерфейс программы. В правой части экрана находится рабочая область, в которой будут строиться сечение и его ядро. Имеются кнопки изменения масштаба и перемещения просматриваемой зоны. В левой верхней части экрана расположена область ввода вершин. Их можно ввести вручную, а также импортировать из текстового файла формата .txt, или открыть уже ранее рассчитанное сечение в файле формата .json.

После введения координат вершин исследуемого сечения следует нажать кнопку «Рассчитать параметры», после чего справа появятся элементы, которые выбраны в флашках ниже (ядро, нейтральные линии и центр тяжести).

На рисунках 2 и 3 приведены примеры расчётов простого и сложного сечений.

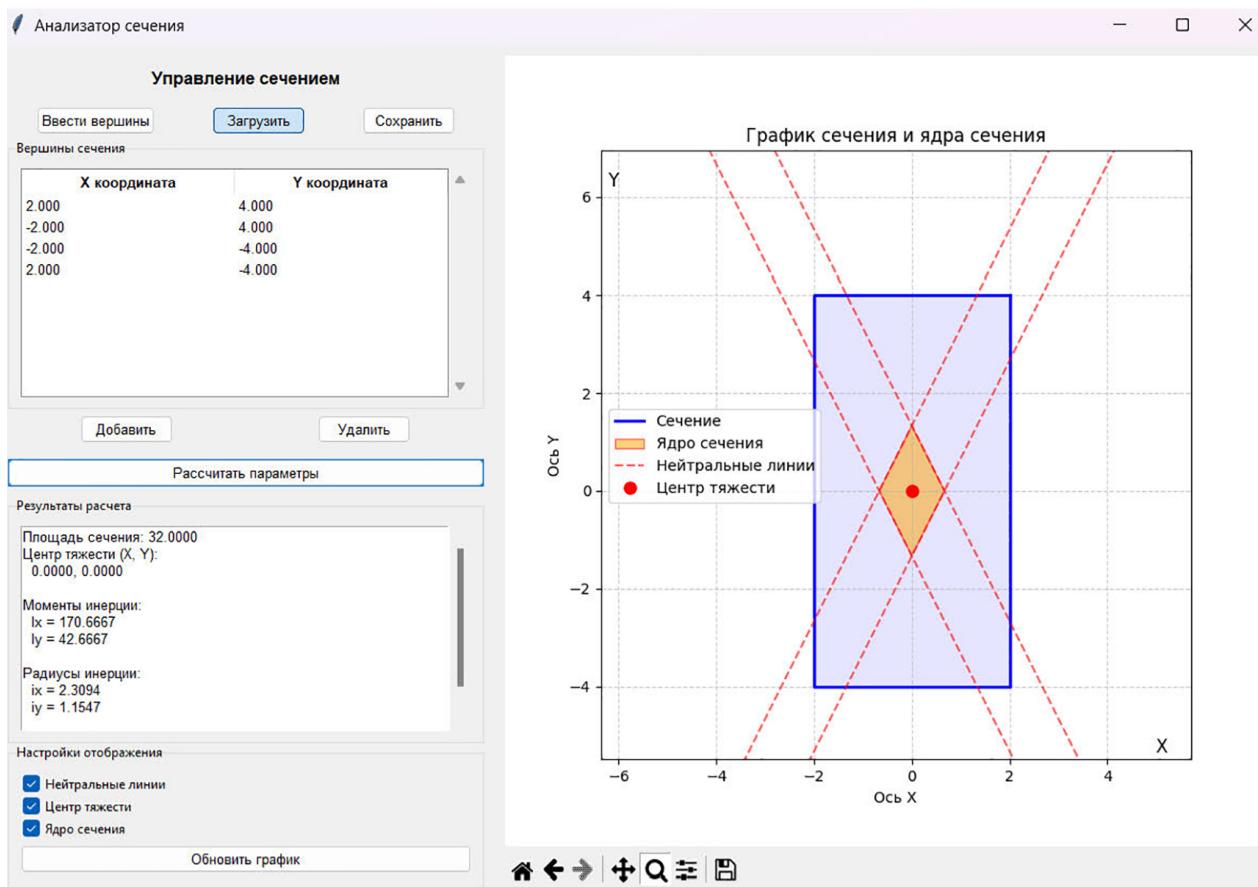


Рисунок 2. Расчёт простого сечения
Источник: разработано авторами

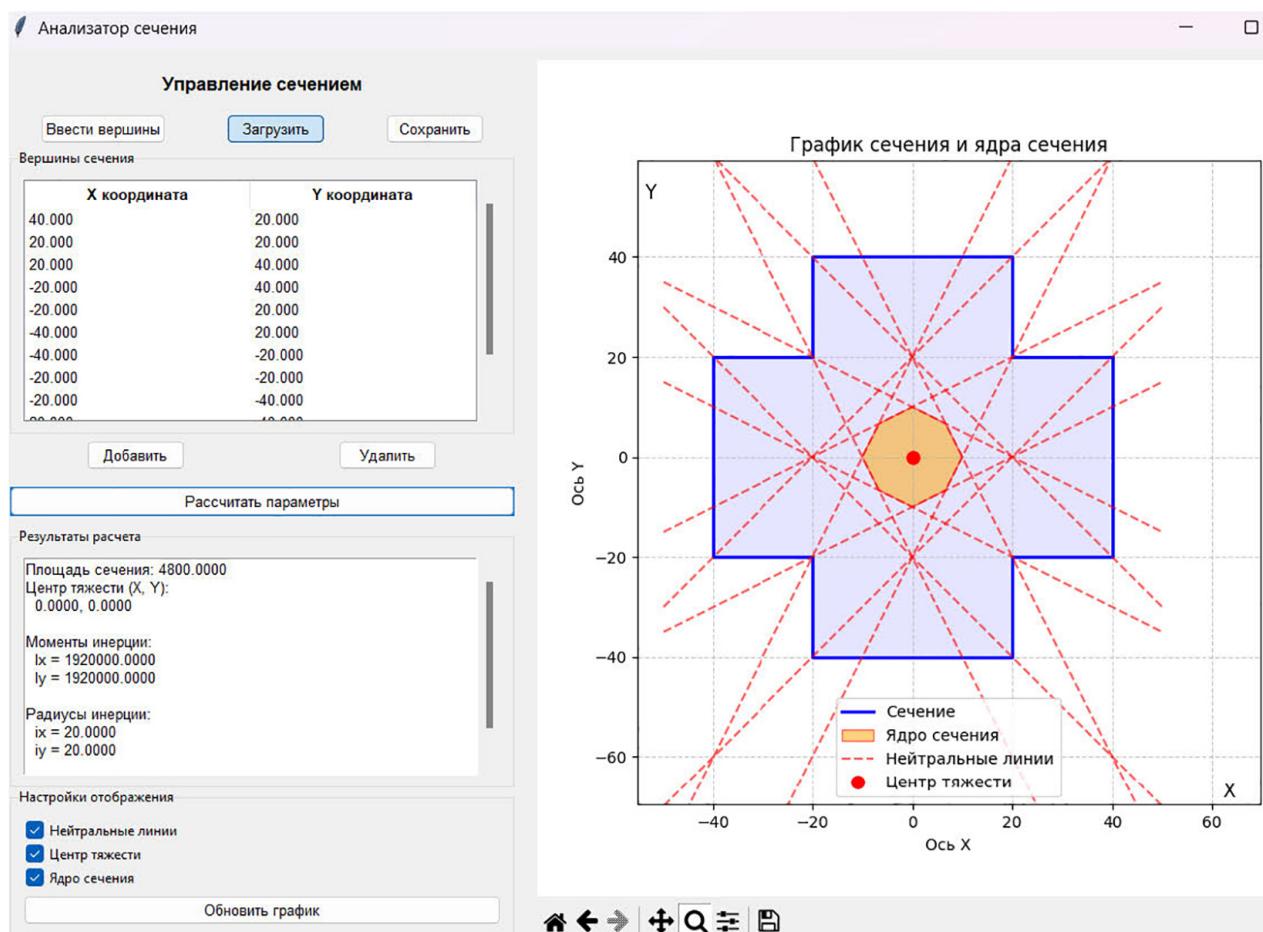


Рисунок 3. Расчёт сложного сечения

Источник: разработано авторами

Таким образом, программа-калькулятор для расчёта ядра сечения представляет собой полезный и удобный инструмент инженерных расчётов, применимый в самых различных областях.

Изначально разработанная в Оренбургском государственном университете программа для упрощения расчётов ядра сложного сечения при выполнении студентами расчёто-графических заданий по дисциплине «Сопротивление материалов», со временем превратилась в полноценный программный продукт, востребованный среди профессионалов.

Она автоматически определяет геометрические характеристики сечения, что делает её гибким и многофункциональным решением.

Благодаря своей функциональности программа значительно облегчает работу инженеров и проектировщиков, сокращая время выполнения расчётов и снижая вероятность ошибок.

Внедрение подобных программных решений в процесс проектирования способствует повышению качества, надёжности и эффективности разрабатываемых конструкций.

Литература

1. Буялич Г. Д. Влияние эксцентрикитета приложения нагрузки и параметров погружного контура на устойчивость основания крепи // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2004. – № 2(39). – С. 42–44.
2. Веретенников В. И., Бармотин А. А. О влиянии размеров и формы сечения элементов на диаграмму деформирования бетона при внецентренном сжатии // Бетон и железобетон. – 2000. – № 5. – С. 27–30.
3. Конструктор сечений Sopromatguru. – URL: <https://sopromatguru.ru/section/> (дата обращения: 15.05.2025).

4. Ластовка А. В., Мурзинцев А. К. Исследование предпосылок влияния эксцентрикитетов и отклонений осей на показатели напряженного-деформированного состояния железобетонных колонн в каркасах многоэтажных зданий // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2023. – Т. 13, № 1(44). – С. 39–47. – <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-39-47>.
5. Новиков В. И., Кадошников В. И., Куликова Е. В. Исследование условий эксплуатации колонных ковочных прессов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2011. – № 4(36). – С. 62–64.
6. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Нauкова думка, 1988. – 736 с.
7. Приложение для определения параметров плоских сечений GeoHelp. – URL: <https://dwg.ru/dnl/5477> (дата обращения: 15.05.2025).
8. Прямые трубобетонные балки с асимметричным предварительно напряженным бетонным ядром для пролетных строений малых мостов / О. Ю. Моисеев [и др.] // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2016. – № 3(42). – С. 39–41.
9. Расчет при внецентренном сжатии. Построение ядра сечения. – URL: <https://prosopromat.ru/zadachi/zadachi-na-slozhnoe-soprotivlenie/raschet-pri-vnecentrennom-szhatii-postroenie-yadra-secheniya.html> (дата обращения: 10.05.2025).
10. Сайт с инструментами для расчета геометрических характеристик сложных поперечных сечений Sopromat.site. – URL: <https://sopromat.site/csec/> (дата обращения: 15.05.2025).
11. Сайт-сборник калькуляторов различных типов Calc.ru. – URL: <https://www.calc.ru/> (дата обращения: 15.05.2025).

Статья поступила в редакцию: 28.05.2025; принята в печать: 13.10.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.