

УДК 624.04:004.056

**ИТ-ТЕХНОЛОГИИ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В  
ОБЕСПЕЧЕНИИ ЦИФРОВОЙ НАДЁЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ:  
РАСЧЁТ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ И  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖЁСТКОСТИ**Чабан М.К.<sup>1</sup>, студент гр. СМТ-211, II курс,Окуньков Е.Д.<sup>1</sup>, студент гр. СМТ-211, II курсНаучный руководитель: Тимофеева Е.Г.<sup>1</sup>, старший преподаватель<sup>1</sup>Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

В современной профессиональной деятельности инженера определение интегральных характеристик сечений (площади, статических моментов, моментов инерции) и расчет жесткости конструкций полностью интегрированы в ИТ-среду. Использование систем автоматизированного проектирования (САПР) и CAE-систем нового поколения (Computer-Aided Engineering – продвинутые программные комплексы для компьютерного инжиниринга) позволяет мгновенно вычислять параметры для сечений любой сложности, включая переменные и композитные профили.

Внедрение алгоритмов топологической оптимизации и генеративного дизайна требует передачи огромных массивов данных о геометрии и жесткости конструкций через облачные платформы.

Ошибки в определении жесткости на этапе проектирования ведут к недопустимым деформациям или разрушению объектов. В настоящее время эти расчеты являются основой для создания «цифровых двойников» зданий и мостов.

Современное строительство характеризуется жесткими требованиями к материалоемкости конструкции при сохранении или повышении их несущей способности и жесткости. Одним из наиболее эффективных способов снижения массы металлических балок без потери эксплуатационных характеристик является оптимизация формы и размеров поперечного сечения.

Такая оптимизация основывается на понятии осевого момента инерции сечения  $I$ , которая входит в формулы сопротивления материалов для определения напряжений и перемещений при изгибе. Чем больше величина  $I$  при прочих равных условиях, тем меньше прогибы и выше общая жесткость элемента.

Физический смысл величины  $I$  заключается в следующем, чем больше величина момента инерции, тем больше жесткость элемента при изгибе, соответственно для этого элемента возникают меньшие деформации при действии одинаковых нагрузок. Осевой момент инерции сечения – это геометрическая характеристика поперечного сечения стержня, отражающая распределение его площади относительно оси.

Осевой момент инерции плоской фигуры относительно оси  $x$  и оси  $y$  определяется как  $I_x = \int_A y^2 dA$ ;  $I_y = \int_A x^2 dA$ , где  $A$  – площадь поперечного сечения,  $x$ ,  $y$  – координаты элементарной площадки  $dA$ ,  $x^2$ ,  $y^2$  – усиливают влияние удаленных от центра тяжести участков.

Так же для дальнейшего исследования нужна формула жесткости балки:

$$k = \frac{3EI}{L^3} \Rightarrow k \sim I \quad (1)$$

Рассмотрим примеры вычисления моментов инерции поперечного сечения различных геометрических форм, начиная с прямоугольного сечения. Для прямоугольника размерами  $b \times h$ :  $I_x = \int_A y^2 dA = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y^2 dy = \frac{bh^3}{12}$ .

По оси  $y$ :  $I_y = \frac{hb^3}{12}$ .

Осевой момент инерции относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости прямоугольного сечения, находится по формуле:

$$I_z = \iint_A (x^2 + y^2) dx dy = \int_0^b x^2 dx \int_0^h dy + \int_0^b dx \int_0^h y^2 dy = \frac{b^3 \cdot h}{3} + \frac{b \cdot h^3}{3},$$

где  $b$  – ширина сечения,  $h$  – высота сечения.

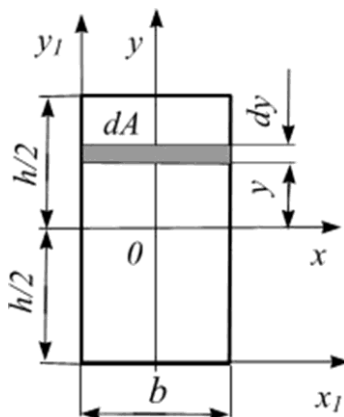


Рис. 1. Прямоугольное сечение

Ключевое наблюдение: жесткость растет пропорционально кубу высоты. Если увеличить высоту  $h$  в 2 раза – момент инерции вырастет в 8 раз, а значит, и жесткость тоже в 8 раз. Вытягивание сечения по высоте дает огромный выигрыш в жесткости при минимальном увеличении материала.

Далее рассмотрим круглое сечение. Переходим в полярную систему координат. Вычислим полярный момент инерции круга относительно его центра. С помощью симметрии получаем осевые моменты инерции круга.

$$I_\rho = \int_A \rho^2 dA = 2\pi \int_0^R \rho^3 d\rho = \frac{\pi R^4}{2},$$

где  $R$  – это радиус круга.

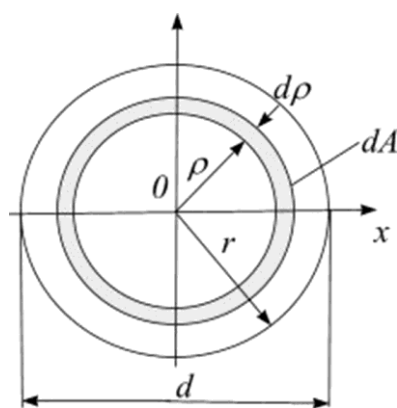


Рис. 2. Круглое сечение

Вывод: переход к полярным координатам упрощает вычисления для симметричных сечений. Снова видим  $R^4$  – даже небольшое увеличение диаметра дает мощный прирост жесткости. Это важно для труб, колонн, опор.

Расчет двутаврового сечения выполняется методом разбиения на простые фигуры с последующим применением теоремы о параллельном переносе осей:  $I = I_0 + Ad^2$ .

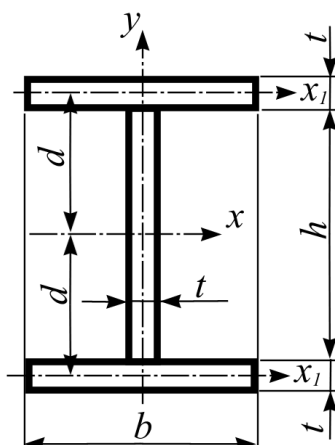


Рис. 3. Двутавровое сечение

Для стандартного двутавра №10 (ГОСТ 8239-89) табличное значение  $I_x = 1,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$  при площади сечения  $A = 12,0 \text{ см}^2$ .

Рассмотрим момент инерции поперечного сечения и жесткость на примере консольной балки прямоугольного сечения длиной  $L = 4 \text{ м}$ , нагруженная на свободном конце сосредоточенной силой  $P = 1000 \text{ Н}$ , с глухой заделкой на левом конце. Материал – сталь,  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ .

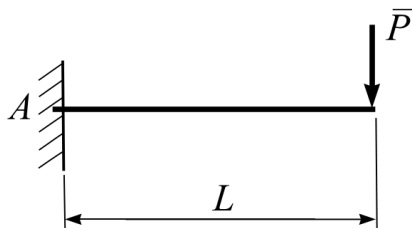


Рис. 4. Консольная балка с глухой заделкой

Формула прогиба консоли:  $y = \frac{PL^2}{3EI} \Rightarrow y \sim \frac{1}{I}$ . Получилось, что  $I_x = 1,067 \cdot 10^{-3} \text{ м}^4$ , а значит из формулы (1), получаем  $EI = 200 \cdot 10^9 \cdot 1,067 \cdot 10^{-3} = 213,4 \text{ ГН} \cdot \text{м}^2$ . Вывод: увеличение высоты  $h$  в 2 раза увеличивает  $I_x$  в 8 раз, т.е. жесткость балки возрастает пропорционально высоте сечения.

Проведем выбор оптимальной формы поперечного сечения. В качестве рассматриваемых типов профилей были приняты следующие варианты: прямоугольника, круга и двутавра №10. Исходными параметрами для анализа приняты ранее вычисленные момент инерции, площадь поперечного сечения  $A$ , а также оценка затрат материала и относительная масса (за базовый показатель в 100 % было принято прямоугольное сечение). Результаты расчетов показали, что применение двутаврового профиля позволяет обеспечить требуемую жесткость при снижении массы конструкции практически в 16 раз.

Исходя из проведенного анализа, выявлено, что метод интегрального исчисления выступает не только инструментом вычисления геометрических параметров, но и фундаментальным основанием для рационализации форм несущих элементов. Переход от сплошных (круглых или прямоугольных) сечений к стандартным двутавровым профилям сокращает металлоемкость от 10 до 17 раз без ущерба для прочностных и деформационных характеристик. Подобный подход имеет высокую практическую ценность для конструирования элементов транспортной инфраструктуры: мостовых пролетов, тоннельных ригелей и схожих металлоконструкций.

На фоне общей цифровизации расчетно-проектировочных процедур на первый план выходят специфические уязвимости информационной среды, диктующие необходимость внедрения строгих протоколов информационной защиты инженерных данных. Ключевые векторы угроз включают:

1. Вероятность целенаправленной модификации вычислительных алгоритмов (в частности, искажение значений моментов инерции или модулей упругости) посредством внедрения вредоносного кода в инженерные сети, что провоцирует скрытое занижение коэффициентов запаса прочности проектируемых объектов.

2. Риск компрометации интеллектуальной собственности. Инновационные конструктивные решения и уникальные геометрические формы с оптимизированной жесткостью представляют собой коммерческую тайну, сохранность которой требует применения современных средств предотвращения утечек и шифрования последнего поколения.

3. Наличие недеklarированных возможностей («закладок») в программных библиотеках численного интегрирования. Нейтрализация данного риска предполагает утверждение в качестве обязательного стандарта использование исключительно доверенных программных сред.

В подобных условиях профессиональная подготовка технических специалистов невозможна без тесной интеграции глубоких знаний механики и цифровой грамотности. Необходимость масштабного внедрения IT-решений в высшей школе, как фактора повышения качества образования, подробно обосновывается в трудах Е. Г. Тимофеевой [4, 5]. При этом выработка

профессиональных компетенций обучающихся внутри защищенной информационно-образовательной среды [6] дает возможность будущим инженерам не только безошибочно рассчитывать жесткость сооружений, но и обеспечивать киберустойчивость всего процесса проектирования.

Следовательно, в современной парадигме строительного инжиниринга жесткость конструкции перестает быть исключительно физической величиной, трансформируясь в комплексный показатель, напрямую зависящий от надежности IT-инфраструктуры. Именно информационная безопасность выступает финальным гарантом корректности вычисленных интегральных характеристик, обеспечивая тем самым реальную безопасность и надежность возводимых объектов в условиях цифровой эпохи.

### Список литературы

1. Александров А.В. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2004. 560 с.
2. ГОСТ 8239-89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент.
3. Ахметзянов М.Х. Сопротивление материалов: учебник для студентов, обучающихся по направлению Строительство. М.: Высш. шк., 2007. 333 с.
4. Тимофеева Е.Г. К вопросу о повышении качества образования с внедрением информационных технологий в высшей школе. В сборнике: Современная наука: проблемы и перспективы развития. Сборник статей VII Международная научно-практическая конференция. В 2-х частях. Под редакцией А.Э. Еремеева. – Омск, 2023. – С. 147-149.
5. Тимофеева Е.Г. Инновационное и технологическое развитие в высших учебных заведениях // Тенденции развития науки и образования. 2021. №80-5. С. 149-151.
6. Тимофеева Е.Г. К вопросу о формировании компетенций обучающихся в информационно-образовательной среде //Тенденции развития науки и образования. 2020. №66-4. С. 93-95