

Математическое моделирование в строительстве

*Цой Ксения Юрьевна, студент 1-го курса
кафедры «Строительные конструкции имени доктора
технических наук, профессора Т. М. Пецольда»
Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научный руководитель – Коваленок Н.В., старший преподаватель)*

Строительство – это один из ключевых секторов экономики, играющий значительную роль в социальном и культурном развитии общества. При строительстве зданий и сооружений используют различные методы и технологии. Рассмотрим более подробно математическое моделирование, применяемое при проектировании зданий.

Строительство – сложный и постоянно изменяющийся процесс. В строительстве задействовано большое количество участников: заказчик, подрядная организация, инвесторы, проектные организации, банки, производители строительной продукции и контролирующие органы власти. Все субъекты взаимосвязаны на каждом этапе создания строительного объекта. Так Соболев В.В. утверждает «Важнейшим условием повышения эффективности организационно-технологического проектирования-выступает использование в теоретических исследованиях и практики проектирования методов математического моделирования надежности организационно-технологического проектирования» [1].

Для обеспечения большей точности прогнозирования событий необходимо учитывать широкий спектр факторов, «особое внимание необходимо уделить оценке вероятности события, функции и параметрам распределения, зависимостям величин от обычных и случайных причин, определению границ регулирования, проверке статистических гипотез. Для решения поставленных задач необходимо применять экономико-математическое моделирование» [2].

Математическое моделирование было применено при «проектировании самого большого в России металлического купола диаметром 127 и высотой 42 м. Анализ мировых аналогов- позволили предложить более легкую схему (1600 т) Кайвита, отличающуюся равномерно распределенной несущей способностью элементов. Суммарная экономия составила 1000 т стали, что эквивалентно сумме 60 млн руб.» [3].

Математические модели, создаваемые проектировщиками, описывают поведение зданий и сооружений под воздействием различных нагрузок (ветер,

снег, землетрясения и т.д.). Эти модели часто основываются на системе алгебраических уравнений. Например: рамная конструкция, где для каждой балки можно записать уравнение равновесия, которое будет включать системы вертикальных и горизонтальных сил, а также сумму моментов выглядит следующим образом.

Сформулируем математическую модель для произвольной балки рамной конструкции и спрогнозируем её поведения под воздействием внешних нагрузок, таких как ветер, снег и землетрясения.

1. Уравнения равновесия для каждой балки

Для каждой балки можно записать уравнения равновесия:

1.1. Сумма сил в горизонтальном направлении:

$$\sum F_x = 0$$

(балка должна быть в равновесии относительно горизонтальных сил)

1.2. Сумма сил в вертикальном направлении:

$$\sum F_y = 0$$

(балка должна быть в равновесии относительно вертикальных сил)

1.3. Равновесие моментов относительно произвольной точки:

$$\sum M = 0,$$

где

F_x и F_y — горизонтальные и вертикальные компоненты сил;

M — момент сил относительно заданной точки.

2. Деформации и уравнения совместности

В дополнение к уравнениям равновесия учитываются уравнения совместности перемещений для узлов:

$$\delta_i = \sum_j k_{ij} * F_j$$

где

δ_i — перемещение узла;

k_{ij} — коэффициенты жёсткости;

F_j — внешняя нагрузка.

3. Учет динамических нагрузок (землетрясения)

При учёте землетрясений используется метод спектрального анализа или моделирование как системы с массами и жёсткостями:

$$M_u + C_u + K_u = F(t)$$

где:

M — матрица масс;

C — матрица колебания;

K — матрица жёсткости;

u — вектор перемещений;

$F(t)$ — внешняя динамическая нагрузка (землетрясение)

4. Метод конечных элементов

Для численного анализа поведения конструкции можно использовать метод конечных элементов (МКЭ), где система записывается в виде:

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

что позволяет численно определить реакции конструкции на заданные нагрузки.

Эта модель позволяет рассчитать поведение сооружения под воздействием внешних нагрузок, определить критические напряжения и оценить надежность конструкции.

Таким образом, математическое моделирование в строительстве позволяет анализировать и прогнозировать поведение конструкций под воздействием различных факторов. Обеспечивает точность расчетов, повышает безопасность сооружений, оптимизирует использование материалов и сокращает затраты.

Литература:

1. Соболев, В. В. Математическое моделирование и методы оптимизации в проектировании организации строительства / В. В. Соболев // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2011. – №1. – с. 106-109.
2. Акри, Е. П. Обеспечение качества работ в строительстве через экономико-математическое моделирование / Е. П. Акри, Е. В. Князькина, Н. В. Власова // Вестник ГУУ. – 2018. – №12. – с. 49-54.
3. Болдырев, Ю. Я. Современные технологии математического моделирования для инженерного анализа и проектирования в строительстве / Ю. Я. Болдырев, Д. В. Климшин, С. В. Романов, А. С. Шанина // Информатика, телекоммуникации и управление. – 2010. – №4 (103). – с. 106-112.