

УДК 519.681.3.02

РАСЧЕТЫ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Андрей Алексеевич Хохлов

студент

garlic142@gmail.com

Михаил Сергеевич Колдин

кандидат технических наук, доцент

koldinms@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. В данной статье рассматриваются принципы проектирования с помощью метода конечных элементов и современные программы для его осуществления.

Ключевые слова: расчёты, метод конечных элементов, проектирование, конструирование, программное обеспечение, нагрузки.

Расчеты в проектировании машин являются неотъемлемой частью, благодаря которым определяется техническая характеристика, форма сечений нагруженных деталей, запас прочности и долговечности при всех нагрузках и во всех условиях, вместе с размерами, при которых конструкция должна работать. Конструирование и расчеты неразрывно связаны между собой, так как являются корректировкой и дополнением друг друга [1, 6].

Все технические расчеты тесно взаимосвязаны с экономикой, так как в производстве целесообразно сокращать затраты на проектирование.

Из-за слишком малых сечений отдельные параметры и размеры подбираются конструктором опытным путем. В отдельных случаях, когда конструкция требует максимальной точности, основным способом является выполнение расчетов (таблица 1).

Таблица 1

Разновидности расчётов в проектировании

Виды расчетов	Примеры расчётов
Аэродинамические	Создание движущихся деталей с наименьшим сопротивлением
Динамические	Расчёты, связанные со скоростью и ускорением
Кинематические	Траектория движения, и передаточные отношения цепей
Энергетические	Расчёты для охлаждающих систем и носителей энергии
Экономические	Расчёты, приводящиеся с учётом экономических факторов
Геометрические	Расчёты координат, натягов цепей и ремней
Технологические	Расчёты, связанные с технологией процесса производства деталей
Надежности	Проведение расчётов с целью определение надежности конструкции

Главными считаются геометрические и кинематические расчёты. Их нужно выполнять с большой точностью т.к. они применяются в важных узлах конструкций.

Для более простого произведения расчётов используют упрощенный вариант для того, чтобы процесс расчётов не был таким затратным по времени. В процессе упрощённых расчётов часто идёт уточнение параметров, а факторы, не влияющие на результат, просто не учитываются.

Схема расположения сил и их моментов, а также полная схематизация конструкции сильно влияют на точность методики расчёта. Более точные расчёты уменьшают коэффициент запаса прочности в ответственных элементах системы, но при этом сокращают массу изделия более чем в 2 раза. Определение схемы нагрузки и основных параметров часто бывает затруднительным из-за совокупности нагрузок (рисунок 1). Поэтому перед проведением динамических и прочностных расчетов также устанавливают:

- силу инерции и внешнего воздействия на узлы;
- силу, вызванную нагревом и ускорением;
- силу резания и гравитационные силы притяжения [1].

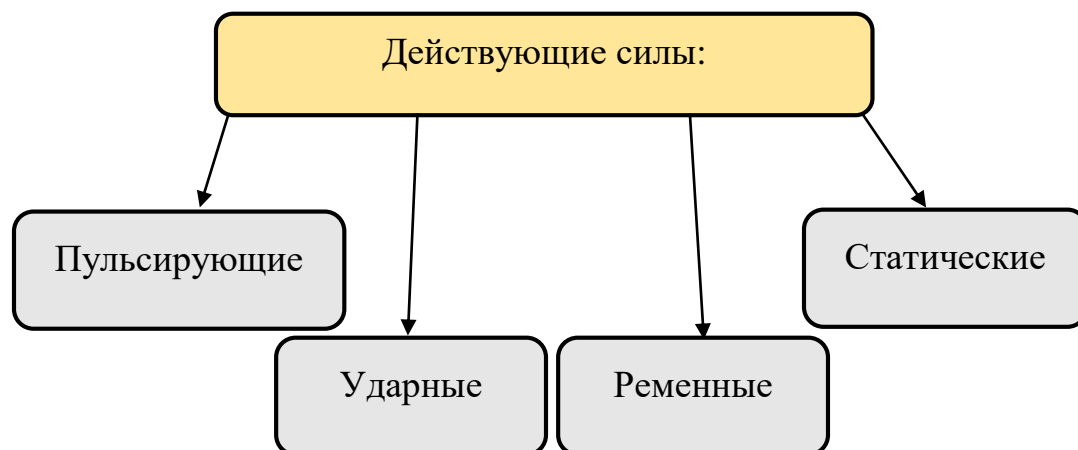


Рисунок 1 - Виды действующих сил

Ошибки в выборе методики расчётов приводят к неправильному распределению сил, их значений, а также к разрушению детали в процессе работы [2, 6].

Для создания легкой и прочной конструкции с высоким техническим показателем конструктору необходимо начинать расчёты с самых первых

этапов проектирования. Начинать следует с лёгких расчётов, а не производить сложные технические вычисления т.к. на первичных этапах показатели расчетов могут изменяться и отличаться от конечных значений.

Если расчёты зависят от места проектирования, то выделяют два типа:

- проектный;
- проверочный.

Проектные расчёты разрабатываются по упрощенной схеме и нужны для установления размерных точек и составляющих легкой конфигурации.

Проектный расчёт проводят на основе следующих этапов: упрощают схему с распределением сил и их моментов; находят числовые параметры; подбирают материалы с подходящими физическими и технологическими свойствами в зависимости от ценовой категории; вычисляют размеры заготовок и сравнивают их показатели с ГОСТом; вытачивают детали и проводят их сборку и тестирование в выбранной конструкции. Если необходимо, конфигурацию детали меняют и расчет повторяют.

Целесообразно и экономично выбрать готовую форму или заготовку, затем провести расчёт прочности и определить запас в сечениях, а затем сверить их с допустимыми значениями.

Этапы проведения расчёта проверки:

1. подбор материала с необходимыми характеристиками;
2. подбор размеров и формы приближенных к конечным результатам;
3. расчёт нагрузок и напряжений;
4. сопоставление со стандартами.

При несоответствии критериям прочности измерение проводят заново.

Приемы увеличения прочности изделий:

1. создание ребер жесткости;
2. оптимальное расположение опор;
3. сокращение массы заготовки;
4. изготовление более энергоёмкой формы;
5. замена изгиба и кручения растяжением сжатием;

6. использование предохраняющих деталей;
7. добавление в состав конструкции ограничителей скорости;
8. соблюдение баланса вращающихся деталей [2].

Когда не удается подсчитать напряжение в опасном сечении (литейные и сварочные напряжения) расчетные размеры делают с запасом.

Метод конечных элементов (МКЭ) - это расчёты при выполнении задач в научно-технической сфере, возможности которого позволяют решать трудные задачи и при этом экономить время. Это один из главных методов проектирования [3]. Суть этого метода заключается в разбиении на несколько конечных элементов, а благодаря простой геометрии с помощью функций формы их легко рассчитывать. Из-за деления единого целого на конечные элементы произошло и название данного метода.

Термин МКЭ описывает численный метод решения дифференциальных уравнений. Именно на этом и основываются различные математические и физические дисциплины.

В настоящее время МКЭ используется при проектном расчёте балок конструкции и прочность поверхности. Иными словами, строительные конструкции разбиваются на более простые, например, балки и колонны (стержневые) и плиты со стенами (пластинчатые).

Усилие, перемещение или напряжение - это неизвестная величина в конечном элементе. Она обозначается как аналитическое выражение [3].

Эти конечные элементы имеют общие узловые точки, в которых они связаны между собой, и в совокупности составляют форму всего здания или сооружения (рисунок 2) [4].



Рисунок 2 - Шарнирная балка, длиной 6 метров, поделена на 4 участка, длиной 1,5 метра

Данный метод позволяет наглядно понять схему работы конструкции, ее перемещения и определить усилия в конструкции под действием тех или иных

нагрузок (рисунок 3).

1 -10.2 -9.55 -8.91 -8.27 -7.63 -6.99 -6.35 -5.71 -5.06
Изополюса перемещений по Z(G)
Единицы измерения - мм

42

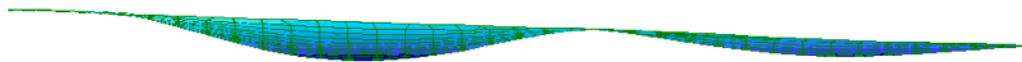
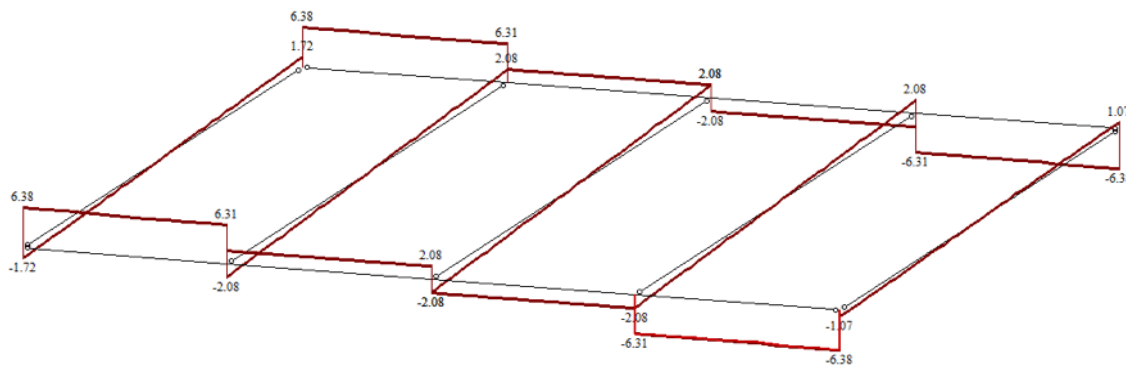


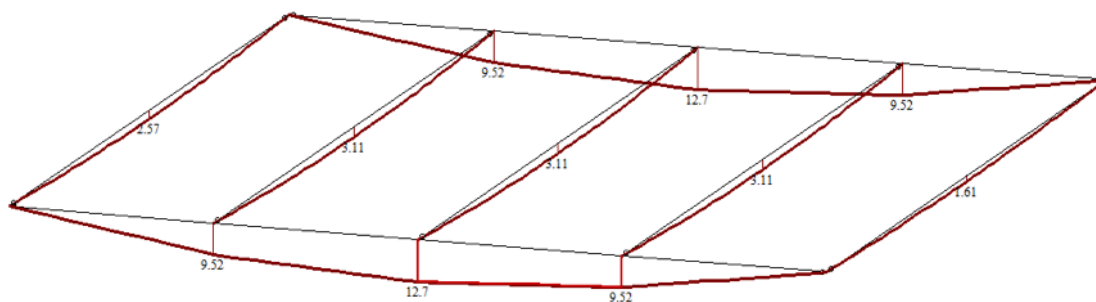
Рисунок 3 - Схема прогиба цельнолитой ЖБ плиты под действием внешних сил

С помощью МКЭ можно определять необходимое армирование фундаментальной плиты или выбрать сечения стальных балок за счёт схемы усилий в стержнях и опорах (рисунок 4 и 5).



z
y
x
Минимальное усилие -6.38408
Максимальное усилие 6.38408

Рисунок 4 - Схема поперечных сил фрагмента балочной клетки



z
y
x
Максимальное усилие 12.6902

Рисунок 5 - Схема изгибающих моментов фрагмента балочной клетки

Метод конечных элементов резания основывается на специальном программном обеспечении [4].

Проектировочные программы бывают универсальные и специализированные. К таким программам относят: «SolidWorks», «AutoCad», «КОМПАС-3D», «FreeCAD», «Advance Steel», «COSMOSWorks», «Revit»[5,6].

Уникальность перечисленных ПО заключается в многофункциональном интерфейсе, мощных инструментах информационного моделирования, создания 2D и 3D чертежей, составления проектировочной документации, проведения расчётов и анализов металлических конструкций, а также сложных вычислительных математических анализов. Алгоритмы программного обеспечения состоят из: создания конечных элементов (КЭ) сетки, подготовки расчетной модели, проведения расчетов и анализа конечных данных. Преобразование КЭ модели может быть, как экспортировано из других CAD систем, так и быть интегрированной.

Например, «RFEM 6» – это продукт для вычисления нагрузок с использованием МКЭ.

В «RFEM 6» присутствует понятный пользователю интерфейс и удобный ввод данных. Благодаря этому в программе можно создавать простые и сложные конструкции. Он выполняет структурный и динамический расчет всех 3D конструкций с абсолютной надежностью.

Работа «RFEM 6» основана на принципе модульного ПО, «RFEM 6» применяется для различных расчетов нагрузок плоских и объемных конструкционных систем, на основе стен, плит и оболочек. Кроме того, «RFEM 6» также рассчитывает внутренние силы и опорные силы [5].

В заключение необходимо отметить, что метод конечных элементов позволяет сильно облегчить производство деталей и расчётов к ним. Если рассчитывать полностью всю деталь на прочностные характеристики, то это нецелесообразно, экономически невыгодно и сильно тормозит производство детали из-за большого количества потраченного времени на расчетные работы. МКЭ предоставляет возможность рассчитать конкретную участок детали на необходимые нагрузки и приступить к производственному процессу создания конструкции.

Список литературы:

1. Алямовский, А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов // М.: Книга по Требованию. 2007. С. 784.
2. Ермакова, А. В. Метод дополнительных конечных элементов для расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям // А.В. Ермакова. М.: АСВ. 2007. С. 248.
3. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л. Надежность метода конечных элементов // Справочник. Инженерный журнал. 2004. №6. С. 12-13.
4. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций: [учеб.пособие для вузов по специальности "Пром. и гражд. Стр-во"направления "Стр-во"] // В. М. Бондаренко, В. И. Римшин. Изд. 3-е, доп. М.: Высш. шк.. 2009. С. 588.
5. Джонс Дж.К. 1986. Методы проектирования.
6. Роль САПР в жизненном цикле продукта/ Хубаев А.Е., Колдин М.С.. Ланцев В.Ю.// Наука и Образование. – 2020. – Т. 3, № 3.

UDC 519.681.3.02

FINITE ELEMENT CALCULATIONS IN THE DESIGN

Andrey A. Khokhlov

Student

garlic142@gmail.com

Mikhail S. Koldin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

koldinms@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Abstract. This article discusses design calculations using the finite element method and modern design programs.

Keywords: calculations, finite element method, design, construction, software, loads.

Статья поступила в редакцию 05.09.2023; одобрена после рецензирования 16.10.2023; принята к публикации 27.10.2023.

The article was submitted 05.09.2023; approved after reviewing 16.10.2023; accepted for publication 27.10.2023.