

# ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ МДТТ

Крестников В.Ю. Семькина Т.Д.

*Today the object-oriented program language became more and more applicable. To solve problems by the method of finite element is the most appropriate way to know a lot about these lang. And, on the other hand, the object-oriented languages of programming can make quite lacier the method of finite element realization. In the following we consider the whole cycle the method of finite element realization by using C++ language.*

В последнее время все большее применение получают объектно-ориентированные языки, которые позволяют использовать численные алгоритмы и методы расчетов задач математики и механики. Наилучшее представление об особенностях этих языков можно получить при решении задач методом конечных элементов, с другой стороны, реализация алгоритмов МКЭ значительно упрощается с применением ООП. Ниже рассматривается аспекты реализации всего цикла решения задач МКЭ с применением языка C++.

Для определенности рассмотрим реализацию плоской задачи упругости методом конечных элементов с применением линейного аппроксимирующего полинома Лагранжа и разбиением плоской области на треугольные элементы.

Рассмотрим не односвязную область. Область изначально описывается набором точек, гранями, соединяющими эти точки, а также модулем Юнга  $E$ , коэффициентом Пуассона  $\mu$  и толщиной  $h$ . Внутри данной области могут быть внутренние области, обладающие иными значениями параметров  $E, \mu, h$ , либо внутренняя область может быть пустой (дырка), см. рис. 1.

Очевидно, что данная структура описывается в виде дерева (рис 2).

Первоначально структура областей хранится в виде дерева (см. рис 1, 2), при этом у каждой области свой набор точек, граней, дополнительные параметры: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, а также флаг, который дает понять, является ли область пустой. Каждая область имеет номер и хранит список номеров своих потомков, а также номер родителя.

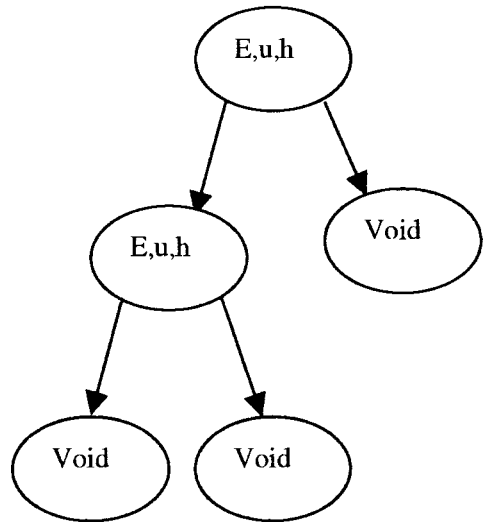


Рис. 2.

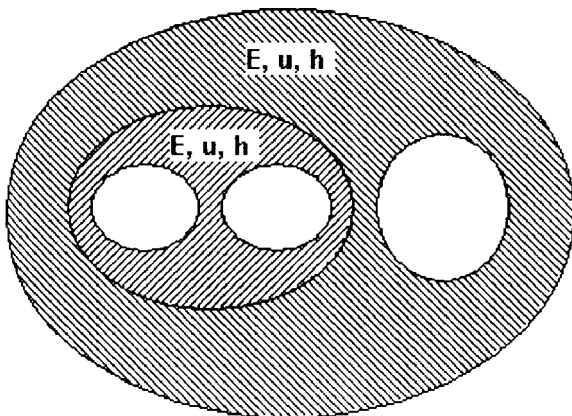


Рис. 1 Пример области

Для разбиения на конечные элементы можно выбрать один из известных алгоритмов, например алгоритм Рапперта [1], при этом необходимо учитывать границы областей, особые точки, в которых могут быть заданы некоторые физические условия.

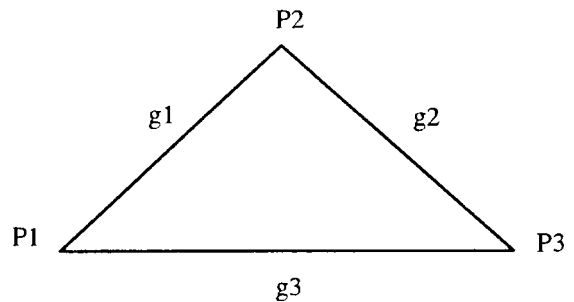


Рис. 3 Обозначение граней и вершин элементов

Заданную структуру областей в виде дерева алгоритм первичной триангуляции преобразует в три списка: список точек, список граней, список треугольников, которые связаны как показано на рис. 4.

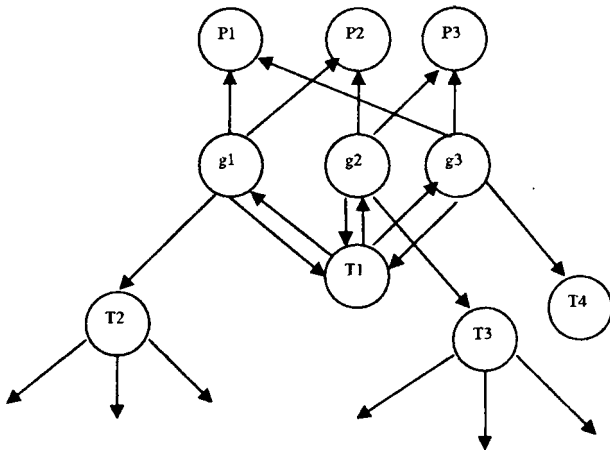


Рис. 4 Структура данных

Таким образом, треугольники в сети связываются следующим образом: грани, имея указатели на соседние треугольники, скрепляют сеть. Треугольники, в свою очередь, ссылаются на грани, которые им принадлежат, а грани ссылаются на две точки — концы граней (рис. 5).

После того, как алгоритм триангуляции области обработает, производится перенумерация элементов, таким образом, чтобы максимальная разность номеров узлов, принадлежащих одному элементу, была наименьшей, это сократит впоследствии ширину ленты в матрице жесткости системы. В процессе перенумерации промежуточная структура данных «грань», необходимая для работы алгоритма триангуляции, ликвидируется, и треугольник непосредственно ссылается на три точки, свои вершины. Далее производится формирование матрицы жесткости системы, расчет перемещений, деформаций и напряжений.

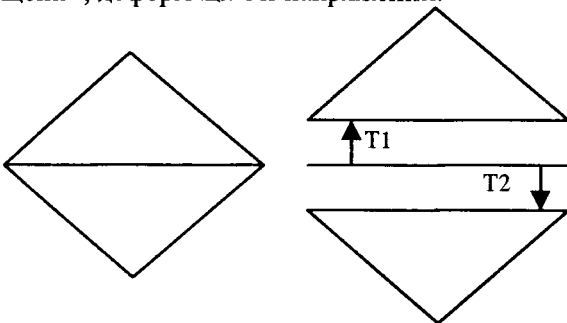


Рис. 5 Связывание треугольников

Преимущества ООП можно продемонстрировать на этапе задания граничных условий. Это заключается в том, что тип закрепления, нагружения, а также числовые характеристики краевой задачи, можно указать для каждой точки или грани на границе, а также для внутренних точек, так как граничные условия являются

свойством каждого объекта точка или грань. Для узлов, принадлежащих граням, после триангуляции производится автоматический пересчет граничных условий, что значительно облегчает труд пользователя при вводе данных.

С точки зрения МДТТ должно быть сформировано понятие непротиворечивого задания граничных условий и понятие реакций закрепления. Для простоты, граничные условия предлагаются либо кинематического, либо статического вида, что предусмотрено при создании окна ввода граничных условий (рис. 6): при задании перемещений окно ввода усилий становится недоступно. При выборе области, грани и узлы, принадлежащие ей, отображаются на экране.

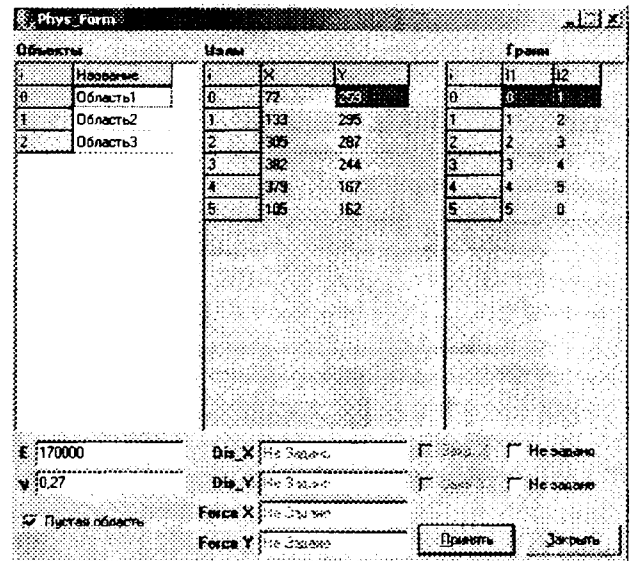


Рис. 6. Задание граничных условий

После задания граничных условий можно приступить к формированию МЖС и системы для определения узловых параметров.

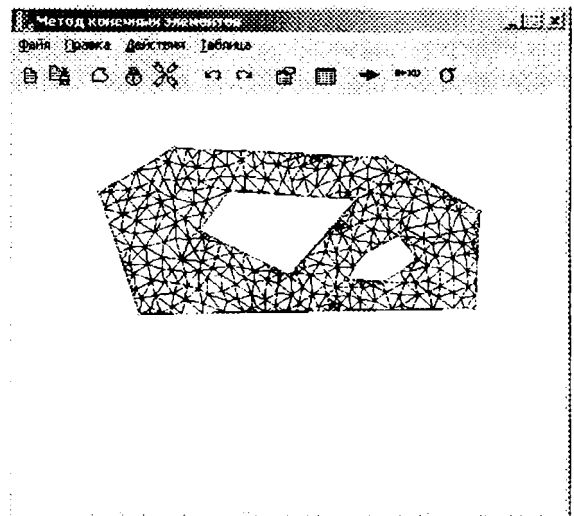










Рис. 7. Главное окно программы

На рис. 7 представлено главное окно программы, с помощью которого вводится информация о геометрии области и производится доступ ко всем остальным функциям программы.

С помощью кнопок  и  можно соответственно считывать и записывать в файлы информацию о геометрии области (или областей). Используя кнопку  можно ввести данные о геометрии новой области — полигона, замыкание которого по кнопке  программа осуществит сама.

Кнопка  вызывает форму для задания граничных условий и изменения свойств объектов (областей), см. рис. 6. Можно изменить следующие свойства областей: модуль Юнга и коэффициент Пуассона, а также является ли область пустой (дырка) или заполненной. Граничные условия можно задавать в точках или на гранях области — вначале выбирается область, а затем и сами точки или грани. Выбранное окно ввода подсвечивается (на рис. 6 активным является окно для редактирования свойств объектов (областей)). Предусмотрен контроль правильности задания граничных условий, их непротиворечивости и полноты.

Кнопка  запускает процесс триангуляции области (областей).

По кнопке  производится перенумерация элементов, составление матрицы жесткости и определение узловых перемещений [2]. По кнопке  производится расчет деформаций и напряжений.

Приведенная программа может использоваться в курсах МКЭ в качестве лабораторного практикума, а также при инженерных или исследовательских расчетах, когда использование стандартных пакетов по каким-либо причинам невозможно.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Jim Ruppert: A Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation, NASA Ames Research Center, Submission to Journal of Algorithms, 1994.
2. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. М.: Мир, 1977.—349 с.

## О НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И ТОЧНОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Игнатищев Р.М.

*In the pitch point zone of involute gearing the reductioning curvature is appreciably increasing by operation. The contact stress is appreciably increasing also. This may be taken into account: by designing, making, operation.*

#### Сущность новизны

Из всех зубчатых передач на долю эвольвентных приходится более 75%, 90% которых работают в режиме хорошей смазки. Об этом классе передач и ведется, прежде всего, речь. Основная первопричина выхода их из строя — прогрессирующий *питтинг* (в околополосных зонах зацеплений); синонимы — явление выкрашивания, оспообразования.

Причиной появления питтинга являются недопустимо большие контактные напряжения. Для их вычисления принято использовать формулу Герца:

— если считают, что первоначальные трещины образуются с поверхности и развиваются вглубь, в качестве расчетной применяют формулу

$$\sigma = 0,418 \cdot \sqrt{q \cdot E \cdot k} \leq [\sigma], \quad (1)$$

где  $q$  — нагрузка на единицу длины контактной линии;  $E$  — приведенный модуль упругости материалов сопряженных зубчатых колес — постоянная величина;

$k$  — соответствующая полюсу зацепления приведенная кривизна взаимодействующих поверхностей зубьев (аппроксимируемых в местах соприкосновения цилиндрами),

$$k = k_1 + k_2,$$

индекс «1» соответствует шестерне, «2» — колесу.

Если полагают, что трещины возникают под поверхностным слоем по причине чрезмерно больших касательных напряжений, то -

$\tau = 0,127 \cdot \sqrt{q \cdot E \cdot k} \leq [\tau]$  — в предположении распределения нагрузки по ширине контакта

по закону эллипса;

либо —  $\tau = 0,145 \cdot \sqrt{q \cdot E \cdot k} \leq [\tau]$  — в предположении распределения нагрузки по ширине контакта по параболе.

Результаты расчета не зависят от того, какая из приведенных 3-х формул применяется — по той причине, что разными принимают допускаемые напряжения (пропорциональные стоящим перед