**Реализация метода «директрис» для моделирования изменяющегося по объему трехмерного тела произвольной формы**

Кузнецов И.В., Савельев С.К.

*Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф.Устинова*

*Санкт-Петербург, Россия*

Существует ряд задач, связанных с изменением исходной геометрической формы объектов. Вызваны эти изменения могут быть механическими, химическими, тепловыми и другими процессами. Примером может служить процесс горения заряда двигателя, работающего на твердом топливе. В этом процессе решающую роль имеет характер изменения геометрических размеров заряда при горении, причем в общем случае должна использоваться изменяющаяся вдоль поверхности и во времени форма закона скорости горения. Для решения задачи по определению изменения геметрии тела произвольной конфигурации под действием переменного закона скорости перемещения поверхности нами разработан метод «директрис» (англ. «*directions*» - направления), представленный в данной работе.

Основная идея этого метода в том, что каждый элементарный объём имеет ортогональную трехмерную систему координат, в которой хранится информация о точках выхода на поверхность горения каждого элемента. Т.е. для каждого элемента *k*, являющегося узлом с координатами *x*, *y*, *z* пространственной сетки задаются расстояния до поверхности горения в направлениях соседних узлов *k(x+1,y,z), k(x-1,y,z), k(x,y+1,z), k(x,y-1,z), k(x,y,z+1), k(x,y,z-1)* (Рис. 1). Таким образом, для каждого узла, находящегося на поверхности горения имеется возможность определить точки, непосредственно описывающие усредненную границу горения. Для одного узла таких точек может быть несколько. При совершении последующих расчетных шагов используются именно эти рассчитанные для каждого граничного узла точки. Представленный способ описания модели заряда позволяет существенно повысить точность вычислений, т.к. в любой момент времени можно с заданной точностью определять положение границы горения.

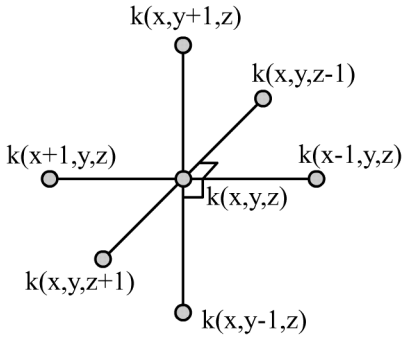


Рисунок 1

Для упрощения описания процесса горения предположим, что распространение фронта горения изотропно, но имеется неоднородность закона скорости горения по объему. (Следует

отметить, что данное требование не является обязательным и описываемый алгоритм может быть применен и для более сложного случая переменности закона горения по разным направлениям.) В случае изотропности закона скорости горения от каждой точки начальной поверхности фронт пламени распространяется во всех направлениях в топливе с одинаковой скоростью и к моменту времени $t$ охватывает сферу с радиусом $e = \int_0^t U dt$. Следовательно, поверхность горения, представляющая собой огибающую таких сфер, каждой своей точкой будет находиться от начальной поверхности на одном и том же расстоянии $e$. [3] . На рисунке 2 представлен пример распространения фронта горения в случае одинаковой скорости горения для некоторой окрестности точек. [1]

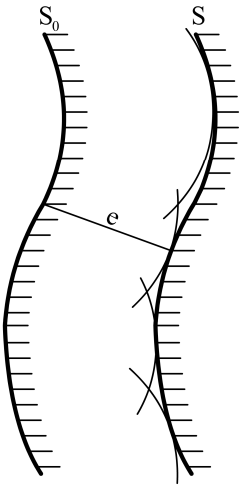


Рисунок 2

В более общем случае разгар поверхности горения можно описать сферами с различным для каждого узла радиусом. Радиус сферы характеризует локальную скорость горения точки на поверхности горения в единицу расчетного времени. Таким образом, для обеспечения переменного по объему закона горения, достаточно для каждого узла, расположенного внутри заряда, указать локальную скорость горения.

Алгоритм расчета поверхности горения построен таким образом, что позволяет после расчета смещения каждой граничной точки всех узлов расположенных на поверхности горения, проводить анализ сгоревшего на данной итерации слоя. При этом имеется возможность внести учет влияний, которые не были учтены в начальный момент совершения итерации. К таким корректировкам относятся изменения, вызванные возникновением перегрузок, использование теплопроводных элементов, эрозионным раздуванием и т.п. Таким образом, представляется возможным найти границу горения в любой момент времени.

Описанный алгоритм был реализован в виде динамической библиотеки для CAD-системы КОМПАС-3D. Общая диаграмма расчета поверхности горения представлена на рисунке 3.

Рисунок 3

Описанный метод «директрис» предполагает работу с большими массивами данных. Для создания единого информационного поля для конструктора, было принято решение все данные хранить в БД (базе данных). Это позволяет гибко выстраивать взаимодействие с программами прочностного и газодинамического анализа, необходимыми при проектировании РДТТ. При этом обеспечивается возможность проведения расчетов на любом компьютере в локальной сети, имеющим доступ к серверу БД (рис. 4). Кроме того, создание распределенной системы с сервером БД серьезно уменьшает требования к вычислительным ресурсам пользовательских ПК.

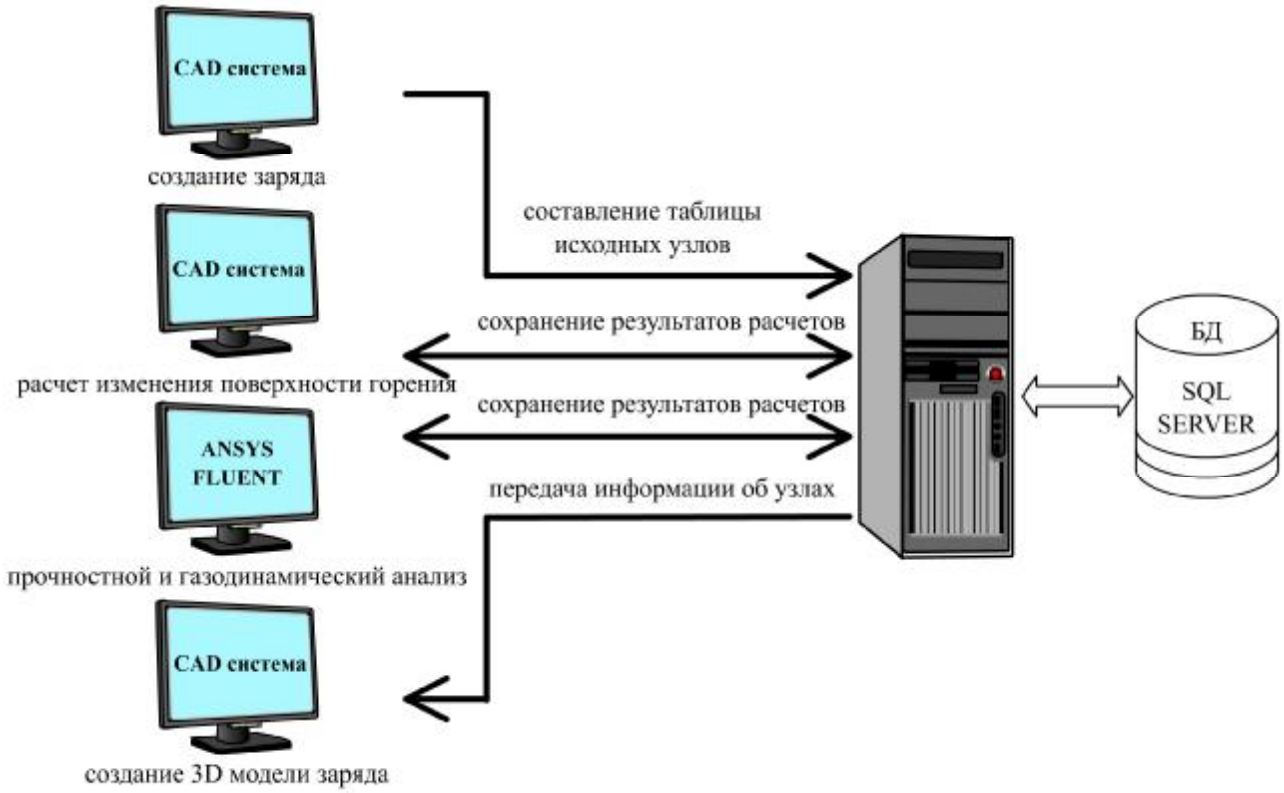


Рисунок 4

Предлагаемая схема, базирующаяся на методе «директрис», позволяющая учитывать переменность по времени и объему заряда закона скорости горения, может быть использована для моделирования ряда аналогичных задач, связанных с изменениями геометрической формы исходных объектов. Метод реализован в качестве удобной в использовании библиотеки для САПР «КОМПАС-3D». Произведена оценка точностных характеристик метода, осуществлена его реализация и серия тестовых расчетов, продемонстрировавших правильность теоретических положений алгоритма.

Библиографический список:

1. *Кузнецов И.В., Савельев С.К.* Расчёт поверхности горения зарядов твердого топлива с учетом переменности закона скорости горения по объему заряда // Внутрикамерные процессы и горение в установках на твёрдом топливе и в ствольных системах (ICOC - 2008): сборник трудов. Шестая Всерос. конф. (С.-Петербург, 8-10 сентября 2008 г.). — Ижевск, 2008. — С.189-197.