

РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ

Е.В. Лебедь, А.В. Аткин, В.Н. Ромашкин

Волгоградский университет архитектуры и строительства
ул. Академическая, 1, Волгоград, Россия, 400074

Описано принципиальное решение задач, связанных с компьютерным геометрическим моделированием пространственных стержневых систем, которые реализованы в авторской компьютерной программе. Реализация основана на геометрическом расчете и визуализации конкретных моделей стержневых систем на базе универсальных прототипов, включая создание из них комбинированных пространственных стержневых систем.

Ключевые слова: компьютерное геометрическое моделирование, пространственные стержневые системы.

Геометрический расчет в информационном моделировании. Геометрический расчет пространственных стержневых систем производится в авторской компьютерной программе, предназначенной для создания их информационных моделей [1]. Под информационной моделью понимается такое представление информации о пространственной стержневой системе, которое включает в себя геометрический расчет, формирование расчетной модели, статический расчет и анализ напряженно-деформированного состояния. В данной статье отражена та часть компьютерной программы информационного моделирования, в которой создается только геометрическая модель пространственной стержневой системы. В дальнейшем условимся ее называть «программа геометрического моделирования».

Интерфейс программы геометрического моделирования предлагает проектировщику набор прототипов каркасов, узлы которых расположены на поверхностях известных геометрических форм, как показано на рис. 1. К ним относятся: сферический ребристый купол, цилиндрический круговой свод, круговой усеченный конус, призматическая многоэтажная многопролетная рама, однополостный гиперboloид и сферический сетчатый купол. В качестве исходных параметров прототипов используются: количество ярусов или шагов по направляющей, количество секторов или шагов по образующей, пролет или ширина в плане, длина в плане, полная высота или высота этажа.

При помощи прототипов создаются геометрические модели пространственных стержневых систем, для которых вычисляются координаты всех узлов в глобальной системе и определяется стержневая связность узлов между собой. Эти вычисления производятся модулем «Вычисление координат и связности узлов», основанной на ранее созданной Е.В. Лебедем программе геометрического расчета GERA [3], которая как компонент программы геометрического моделирования является ее центральной частью или расчетным ядром.

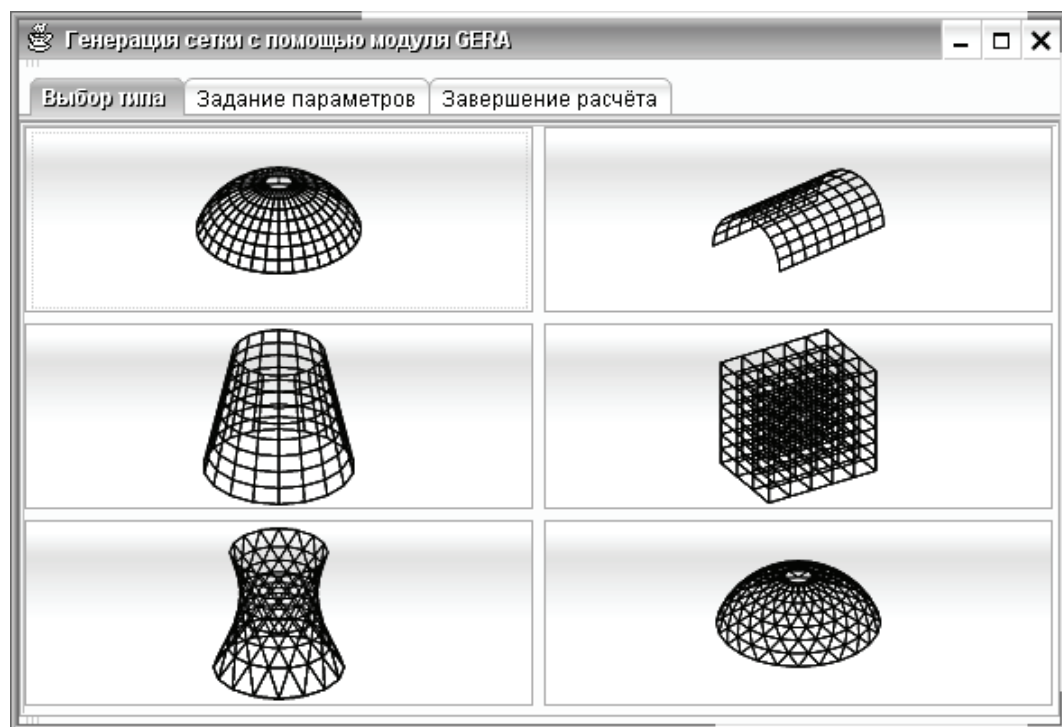


Рис. 1. Схемы прототипов геометрических моделей каркасов

Процесс вычисления координат узлов и процесс определения их связности между собой выполняются независимо друг от друга и состоят из наборов отдельных задач, называемых процедурами. Каждая процедура вычисления координат определяет последовательность вычисляемых узлов, объединенных тем, что в них используются однотипные задачи по вычислению координат узлов как точек пересечения геометрических объектов или точек, полученных преобразованием координат. Порядок выполнения вычислительных процедур строгий, поскольку каждая последующая процедура, как правило, использует координаты узлов, вычисленных в предыдущей процедуре. Каждая процедура стержневой связности создает определенную часть списка парных узлов, объединенную одной закономерностью в регулярности их нумерации. Порядок их выполнения не имеет строгой привязанности друг к другу.

В результате геометрического расчета пространственных стержневых систем их модели отображаются на экране компьютера и могут просматриваться в заданном масштабе и под различными углами точек зрения, т.е. в выбранном ракурсе.

Программа геометрического моделирования позволяет из отдельных моделей пространственных стержневых систем составлять сложные, так называемые, составные модели путем последовательного добавления к ранее рассчитанным моделям новые модели стержневых систем. При этом допускается их произвольное, с точки зрения пространственного положения, комбинирование.

Создание геометрической модели. Начальные исходные данные, указанные в качестве параметров прототипов, не могут быть непосредственно исполь-

зованы ядром для геометрического расчета стержневой системы. Они должны быть подвергнуты специальной обработке, с целью получения исходных данных, в которых указывается: общее количество узлов и стержней; число и порядок выполнения процедур; содержание вычислительных процедур и процедур связности. Для осуществления такого преобразования в программе геометрического моделирования необходимо:

- описать прототип;
- реализовать функцию выбора прототипа;
- реализовать функции задания входных параметров прототипа;
- реализовать функции формирования исходных данных для расчетного ядра.

По завершении вычисления в расчетном ядре, т.е. непосредственно геометрического расчета, надо:

- реализовать функции преобразования координат геометрической модели;
- создать экземпляры классов узлов и стержней;
- реализовать функцию добавление в модель новых данных.

Все вышеуказанные задачи были реализованы в программе геометрического моделирования. На рисунке 2 показан процесс последовательного выполнения задач, включая реализованные компоненты, руководящие процессом формирования и обработки данных.

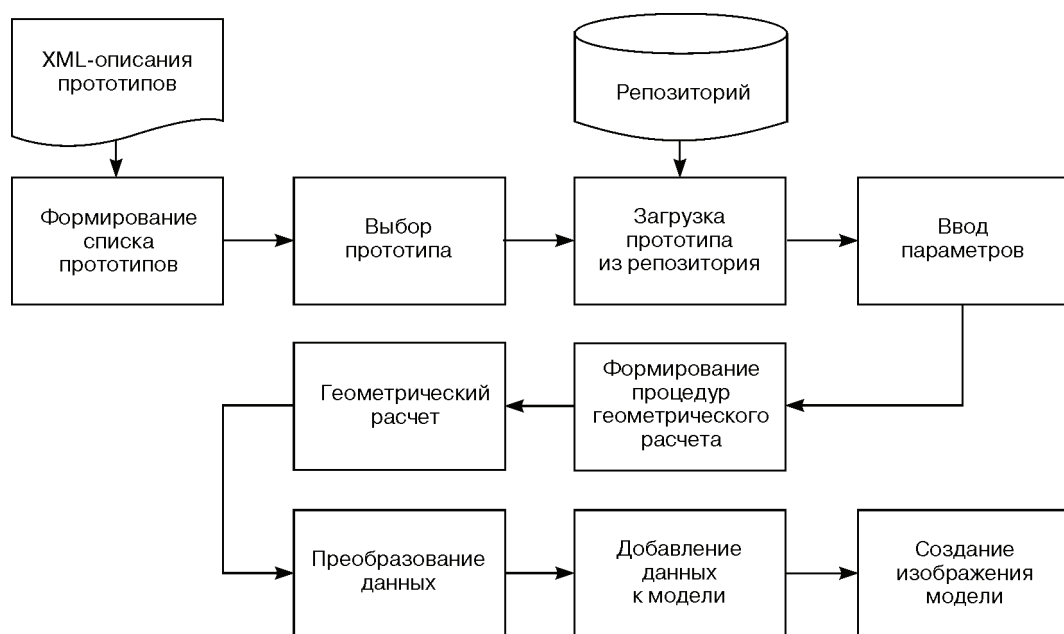


Рис. 2. Схема создания геометрической модели пространственной стержневой системы

В настоящее время реализовано только шесть прототипов пространственных стержневых систем (см. рис. 1). Однако программа геометрического моделирования построена таким образом, что добавление в нее других прототипов, вклю-

чая их программную реализацию, возможно в любой момент ее жизненного цикла. Для этого необходимо выполнить несколько условий:

- прототип должен предоставлять реализацию для расчетной программы GERA, т.е. позволять формирование вычислительных процедур и процедур связности;

- прототип должен реализовать внутренний интерфейс для того, чтобы он был понятен интерпретатору;

- обязательно внести данные о прототипе в специальный XML файл.

Прототипы имеют минимальное количество исходных параметров, но достаточное для создания геометрической модели пространственной стержневой системы. Например, для ребристого купола к таким параметрам относятся: высота, пролет, количество ярусов и число секторов. На рисунке 3 показана форма ввода этих параметров.

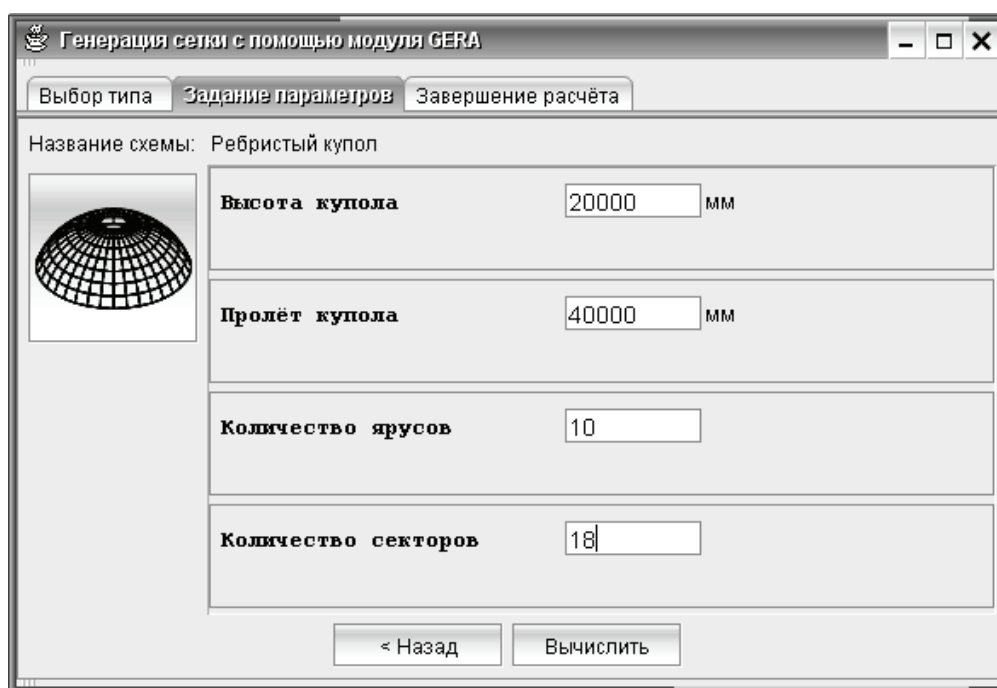


Рис. 3. Форма ввода параметров прототипа

Поскольку результатом работы программы геометрического моделирования может быть модель как единственной пространственной стержневой системы, так и комбинация из нескольких систем, то полученные после геометрического расчета результаты нужно добавлять в геометрическую модель.

Перед добавлением можно выполнять первоначальные преобразование координат геометрической модели. С помощью преобразований можно сместить модель на определенное расстояние относительно центра системы координат, а также получить другую модель, являющуюся зеркальным отражением первоначальной. На рисунке 4 показаны фронтальные изображения ребристого купола а), очерченного вокруг полусферы, и сферического каркаса б), полученного объединением предыдущего купола с его зеркальным преобразованием.

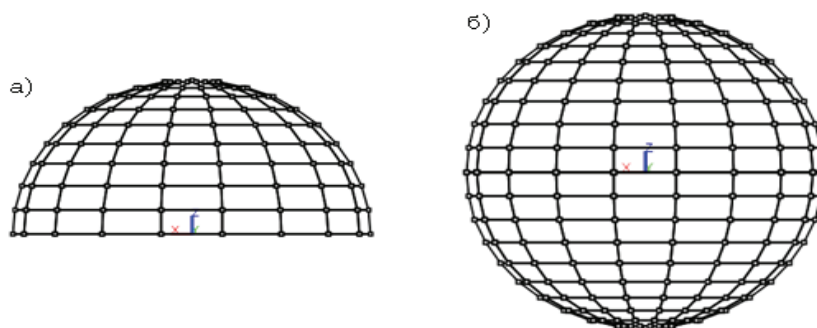


Рис. 4. Геометрические модели
а) ребристого купола; б) сферический каркас.

Имеющийся в программе геометрического моделирования набор прототипов и реализованные средства позволяет создавать довольно сложные геометрические модели пространственных стержневых систем. Так, используя прототипы купола, цилиндра (частный случай усеченного конуса), свода и многопролетной рамы, можно составить комбинированную модель каркаса, изображенного на рис. 5.

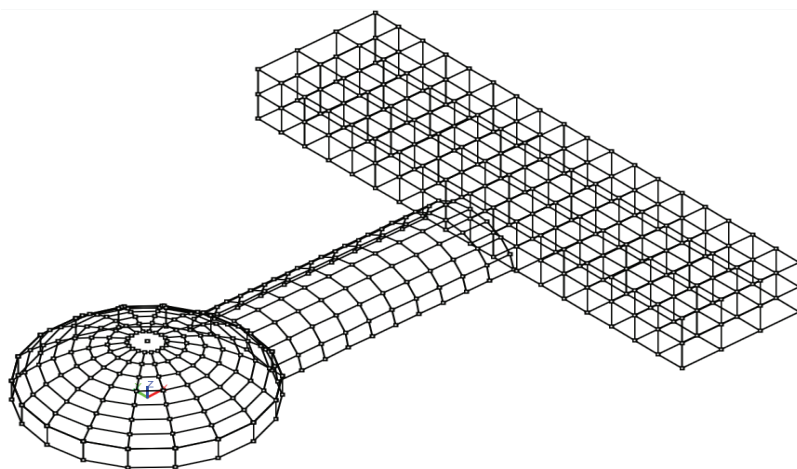


Рис. 5. Комбинированная геометрическая модель
пространственного каркаса здания

Реализация геометрической модели. В нашей реализации геометрическая модель имеет иерархическую древовидную структуру. Узлы такого дерева — фигуры, которые могут быть как простыми, так и составными. Простая фигура — это конечный элемент геометрической модели, не имеющий подчиненных фигур. Составные фигуры могут включать в себя как простые, так и составные подчиненные фигуры, как показано на рис. 6. В иерархии такой узел способен управлять структурой лежащих ниже ветвей. Простые же фигуры располагаются на последнем уровне иерархии.

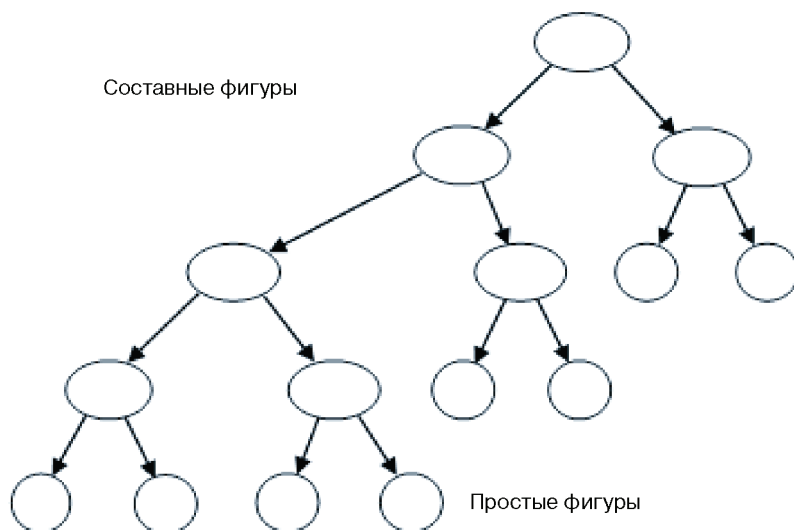


Рис. 6. Иерархическая структура модели

У любых фигур, как простых, так и составных, мы выделили ряд общих действий: получение списка подчиненных фигур, добавление фигуры в список подчиненных фигур, получение фигуры верхнего уровня, проверка фигуры на конечность, добавление и получение данных о фигуре. Если говорить о составной фигуре для геометрической модели пространственной стержневой системы, то это могут быть данные об узлах и их стержневой связности.

Таким образом, можно описать комбинированные геометрические модели практически любой сложности и формы, составленные из нескольких моделей разных пространственных стержневых систем.

Если учесть, что данные фигуры носят абстрактный характер, то под данными фигур можно подразумевать практически любую информацию, описанную по правилам общего интерфейса. При этом не нужно заботиться о том, как эта информация в дальнейшем будет обработана. Объектно-ориентированный подход предоставляет возможность легко представить такие абстракции. Можно создать общий интерфейс для группы близких по смыслу действий, а реализации этих действий воплотить в конкретных объектах.

На рисунке 7 приведена диаграмма классов, описывающая способ организации и представления данных в геометрической модели. Общие действия, производимые над данными, необходимыми для графического вывода изображения модели, также могут быть вынесены в отдельный интерфейс `IDrawable`, как показано на рис. 8.

У любого графического примитива, выводимого на экран, существуют также общие данные, такие как экранные координаты, цвет, толщина линий и т.д. Все эти данные принимают определенные значения при создании конкретного графического объекта, а также задаются реализации действий, описанных в интерфейсе.

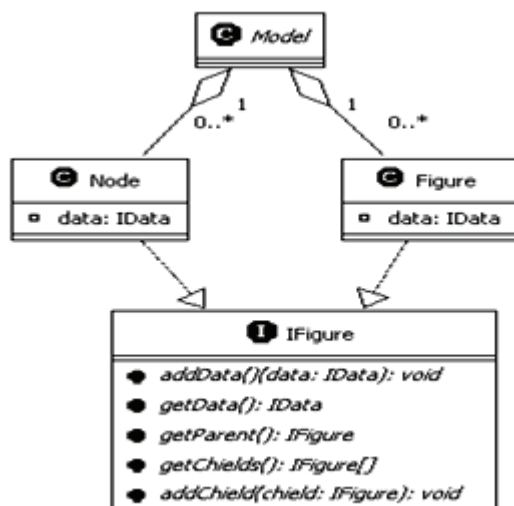


Рис. 7. Диаграмма классов модели

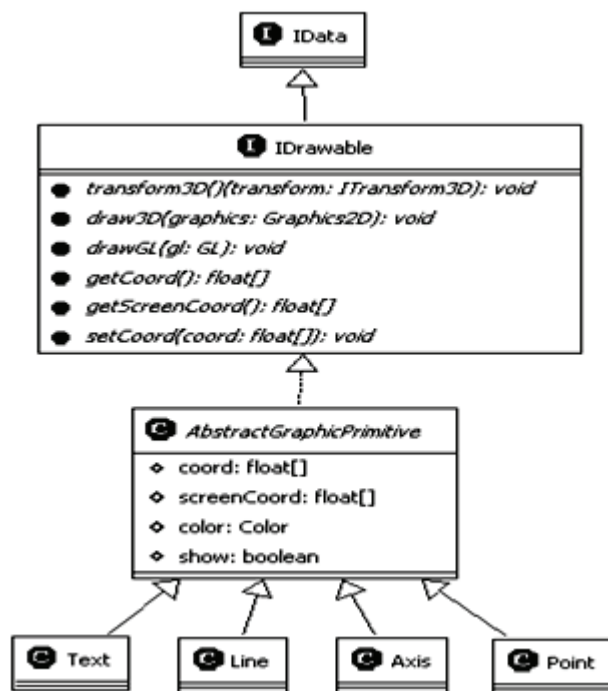


Рис. 8. Диаграмма классов действий над объектом

При условии, что алгоритм вывода изображения на экран оперирует только с абстрактными графическими объектами, можно без проблем добавлять новые объекты в модель, реализовывая интерфейс **IDrawable** через абстрактный класс **AbstractGraphicObject**, при этом не требуется вносить какие-либо изменения в сам алгоритм. В процессе визуализации модели для каждого конкретного графического объекта будут выполняться именно те действия, которые и были ему предписаны. Точка будет изображаться на экране именно как точка, линия — как линия и т.д.

Реализация подсистемы визуализации. Основная задача подсистемы визуализации — создание на экране двумерного изображения трехмерной модели пространственной стержневой системы. Решение этой задачи основано на преобразовании координат узлов модели в глобальной системе к координатам на плоскости экрана, которое выполняется в несколько этапов, как показано на рис. 9.

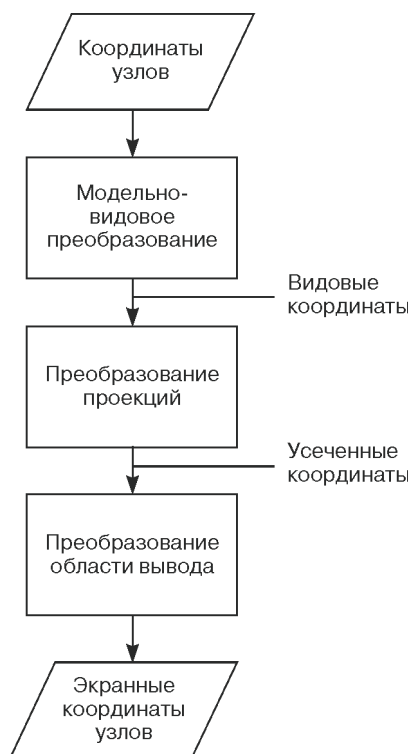


Рис. 9. Схема получения экранных координат

Модельно-видовое преобразование задает расположение объектов относительно друг друга и глобальной системы координат, а также переводит координаты объектов в поле зрения так называемого «наблюдателя».

Преобразование проекции задает, как трехмерные объекты будут проецироваться на плоскость экрана. В зависимости от вида проекции (ортографическая, перспективная) выбирается наблюдаемый объем. Все объекты вне этого объема полностью или частично отсекаются (отбрасываются) и не попадают на экран.

Преобразование области вывода устанавливает соответствие между уже преобразованными координатами и пикселями на экране.

Преобразования координат узлов в виде поворотов, переносов, масштабирования и преобразования в виде перспективных или ортографических проекций могут быть представлены в виде применения соответствующей матрицы коэффициентов к координатам узлов модели пространственной стержневой системы.

В нашей реализации подсистема графического вывода включает в себя следующие компоненты:

— рендерер (визуализатор) — основной компонент любой графической подсистемы;

- преобразователь — компонент, отвечающий за все виды преобразований;
- сцена — список или иерархия объектов, выводимых на экран. Причем на сцене могут присутствовать не только объекты модели (узлы и стержни), но и другие вспомогательные объекты, такие как источники света, оси координат и др.;

4) компоненты для управления обзором с помощью мыши.

На рисунке 10 изображена диаграмма классов, показывающая, как может быть применен объектно-ориентированный подход к реализации графической подсистемы.

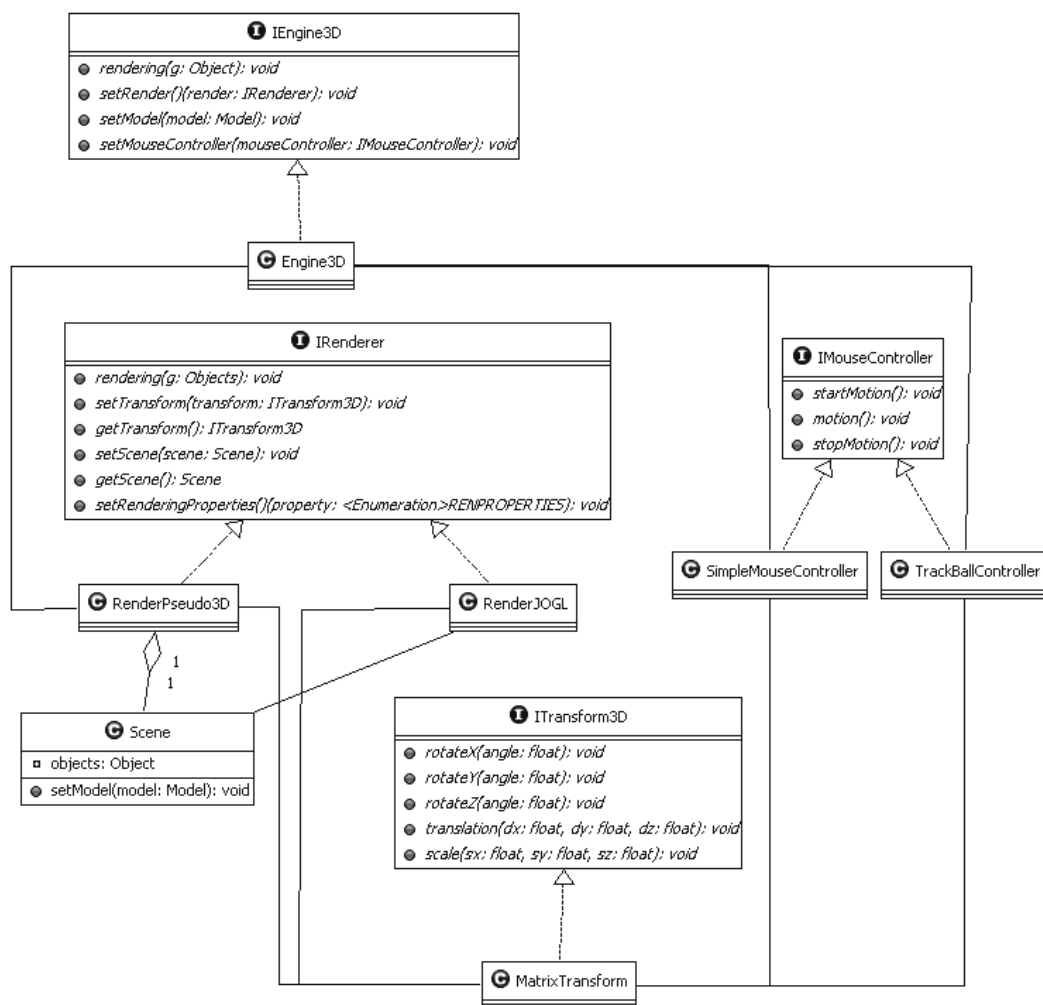


Рис. 10. Диаграмма классов графической подсистемы

Рендерер инкапсулирует в себе сцену с объектами, выполняя над ними следующую последовательность действий:

- для каждого объекта сцены производит преобразования координат его вершин, используя объект-преобразователь;
- определяет, какие объекты или части объектов являются невидимыми;

— если требуется, рассчитывает, какие источники света воздействуют на объекты;

— отображает объекты на экране, используя средства графического API.

Заключение. Разработанная авторами программа геометрического моделирования как часть компьютерной программы информационного моделирования, используя набор прототипов, позволяет создавать геометрические модели сложных пространственных стержневых систем, каркасы которых состояются из комбинаций известных геометрических форм.

Результаты геометрического моделирования могут быть использованы при проектировании каркасов реальных зданий для создания расчетных моделей с целью исследования напряженно-деформированного состояния стержневых пространственных каркасов практически любой сложности и формы.

Благодаря реализованному графическому интерфейсу, геометрическое моделирование пространственных стержневых систем позволяет значительно облегчить процедуру вариантного проектирования конструктивной формы будущего здания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Лебедь Е.В., Аткин А.В.* Геометрический расчет пространственных стержневых систем // Вестник МГСУ. — 2009. — № 4. — С. 317—323.
- [2] *Лебедь Е.В.* Геометрический расчет каркасов пространственных сооружений: Учеб. пособие. — Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2001.
- [3] *Лебедь Е.В.* Программа GERA для геометрического расчета пространственных конструкций на персональной ЭВМ // Информ. листок № 372-91. — Саратовский межотр. терр. ЦНТИ, 1991.
- [4] *Лебедь Е.В., Хемич А.Ю., Дочиев И.Д., Федотов В.А.* Разработка графического интерфейса программы геометрического расчета GERA // Ежегодная студенческая научно-техническая конференция ВолгГАСУ. — Волгоград: ВолгГАСУ, 2007. — С. 191—194.
- [5] *Ли Дж., Уэр Б.* Трехмерная графика и анимация. — М.: Вильямс, 2002.
- [5] *Херн Д., Бейкер М.* Компьютерная графика и стандарт OpenGL. — М.: Вильямс, 2005.
- [6] *Иванов В.П., Батраков А.С.* Трехмерная компьютерная графика / Под ред. Г.М. Полищука. — М.: Радио и связь, 1995.

IMPLEMENTATION OF COMPUTER MODELLING OF SPACE FRAMED STRUCTURES

E.V. Lebed, A.V. Atkin, V.N. Romashkin

Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering
Akademicheskaya str., 1, Volgograd, Russia, 400074

The algorithms for geometrical computer modelling of space framed structures are discussed in the paper. These algorithms are implemented by the authors in computer software. The software is based on geometrical analysis and visualization of selected types of structural systems based on unified prototypes and includes the feature of combining prototypes, thus creating complex spatial framed systems.

Key words: geometrical computer modeling, space framed structures, structural systems.