

---

Лахов А.Я., канд. техн. наук, доц.  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет»

---

---

**СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК  
ШИРОКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ**  
**SYSTEM OF GEODESIC SHELLS DESIGN WITH A WIDE FUNCTIONALITY**

---

*BIM (информационное моделирование зданий) – это объектно–ориентированная, интеллектуальная и параметрическая среда для представления зданий. Параметрические объекты могут обеспечить средство для централизованного представления, хранения и повторного использования моделей классов строительных конструкций. Представлена логическая классификация геодезических оболочек. Рассматривается база данных библиотечных объектов ArchiCAD геодезических оболочек GeoDome. Дается описание программ трансляции геометрических моделей геодезических куполов в конечно-элементную систему расчета. Рассматриваются вопросы расчета геодезических куполов на взрывное воздействие в Patran/Dytran.*

*BIM (building information model) are object-oriented, intelligent and parametric environment for digital representation of building structures. Parametrical objects can provide means for centralized representations, storage and a reuse of models of classes of building structures. Made a development of logical classification of geodesic shells. Consideration is given to ArchiCAD library objects database of geodesic shells GeoDome. Give descriptions of the converting programs of geodesic domes geometric models to finite element analysis system. Consideration is given to problems of analysis of blast load on geodesic domes in Patran/Dytran.*

Информационное моделирование зданий является параметрической, информативной, объектно-ориентированной платформой для проектирования и строительства. Одновременно, BIM – это централизованное хранилище данных, которые могут содержать сведения о практике строительства, об архитектуре, о конструкциях и других подсистемах здания. BIM обеспечивает платформу для потенциальной интеграции информации о 3D модели и информации о других подсистемах здания (архитектурной, конструкционной, расчетной, электрической, отопительной, вентиляционной, кондиционирования и др.).

Параметрический, объектно-ориентированный проект – это одна из характеристик BIM. Модель состоит из объектов, определенных различными параметрами, как геометрическими, так и другими. Разработчики программных средств САПР обеспечивают проектировщиков набором базовых объектов, которые необходимы для разработки архитектурного проекта, выполнения расчетов на прочность, конструирования. Когда объект добавляется в модель, создается экземпляр объекта. Информация об объектах может быть организована в Базу Данных, в которой модели представлены в определенном формате, например в IFC (Industry Foundation Classes) как в [1]. Если пользователь захочет получить полную информацию об отдельном объекте, он может обратиться к этой БД. Разработчики могут создавать дополнительные объекты для определенных классов конструкций, например для геодезических оболочек.

Геодезические оболочки – класс пространственных конструкций, формообразование которых основывается на разбиении поверхности сферы геодезическими линиями. В практике строительства они начали использоваться с середины XX века. Большие купола были по-

строены по проектам Р.Б. Фуллера (США)[2]. Работы по разбивке и проектированию геодезических куполов проводил Г.Н. Павлов[3].

В научной литературе приводятся различные классификации геодезических куполов и оболочек. Они рассматривают только одноконтурные пластинчатые геодезические купола, не учитывают комбинированные системы или форму исходных геометрических элементов. То есть, отсутствует обобщенная логическая классификация геодезических оболочек.

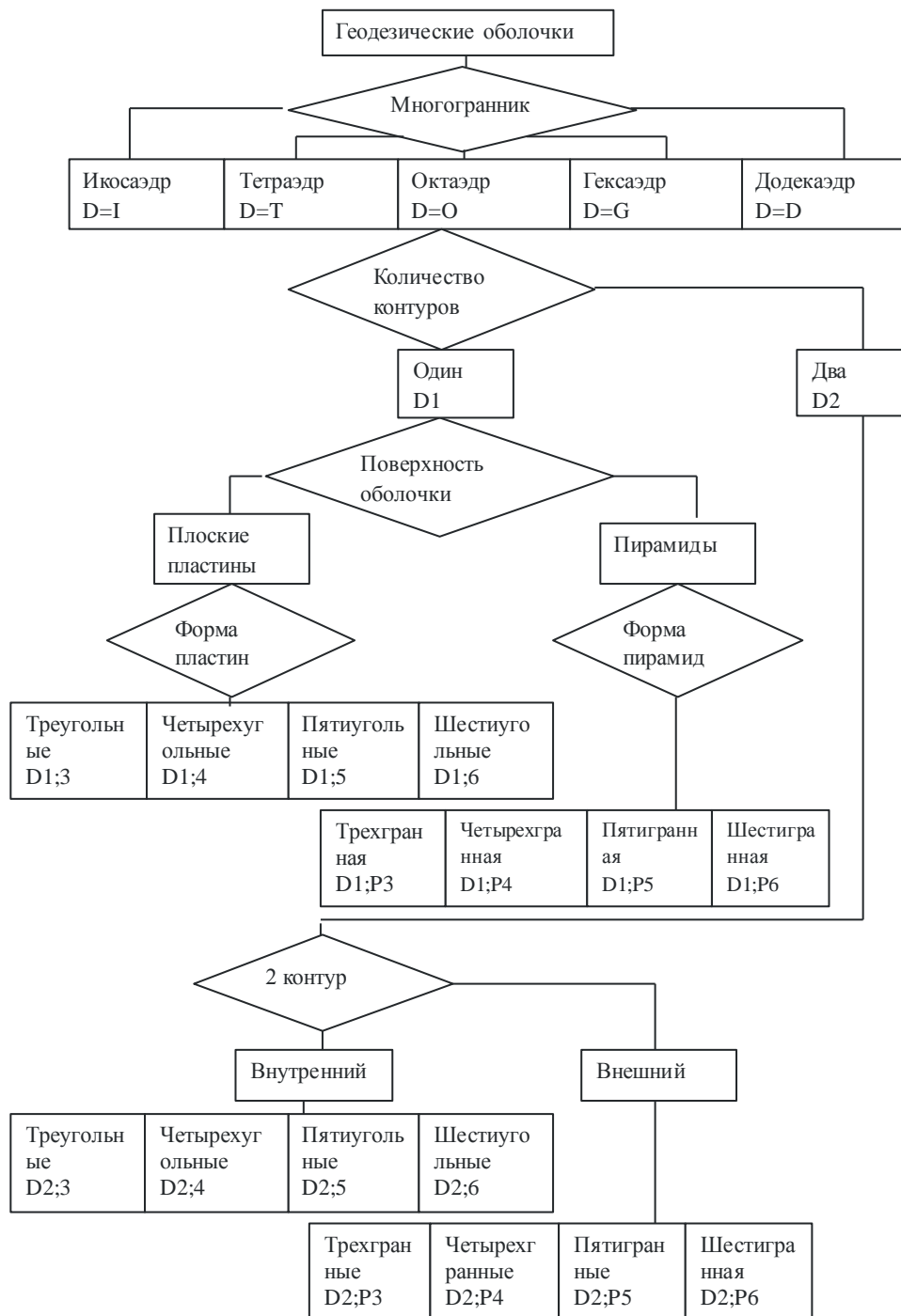


Рис. 1. Логическая классификация геодезических оболочек

Логическая классификация должна удовлетворять следующим правилам деления понятий: 1) Сумма выделенных видов должна быть равна объему родового понятия. 2) В пределах одной ступени классификации должен использоваться один классификационный признак. 3) Выделенные виды должны исключать друг друга, чтобы ни один объект нельзя было отнести в два вида. 4) В классификации нежелательно пропускать логические ступени.

Логическая классификация геодезических оболочек должна обладать следующими свойствами: 1) включать одноконтурные и двухконтурные геодезические оболочки, 2) опираться на форму исходных геометрических элементов, формирующих оболочку, 3) охватывать основные сочетания классификационных признаков для выявления нереализованных классов геодезических оболочек[4].

Для построения логической классификации геодезических куполов необходимо выделить классификационные признаки. К ним можно отнести: 1) Тип многогранника (икосаэдр, октаэдр, тетраэдр, гексаэдр, додекаэдр). 2) Количество контуров (одноконтурные – двухконтурные). 3) Вид поверхности оболочки (плоские пластины – пирамиды). 4) Форма пластин (треугольник, четырехугольник, пятиугольник, шестиугольник). 5) Форма пирамид (треугольные, четырехгранные, пятигранные, шестигранные). 6) Тип 2 контура (внутренний – внешний). 7) Конфигурация контуров (разная – одинаковая). 8) Число элементов разбивки сферы.

На основе данных классификационных признаков создадим обобщенную логическую классификацию геодезических куполов (см. Рис. 1.). В результате разработки логической классификации выявлены 16 классов геодезических куполов (для каждого типа многогранника).

В ННГАСУ разработана БД библиотечных объектов ArchiCAD геодезических куполов [5]. Библиотечные объекты, реализующие одноконтурные и двухконтурные геодезические купола, написаны на языке GDL. Они позволяют формировать геометрические модели геодезических куполов.

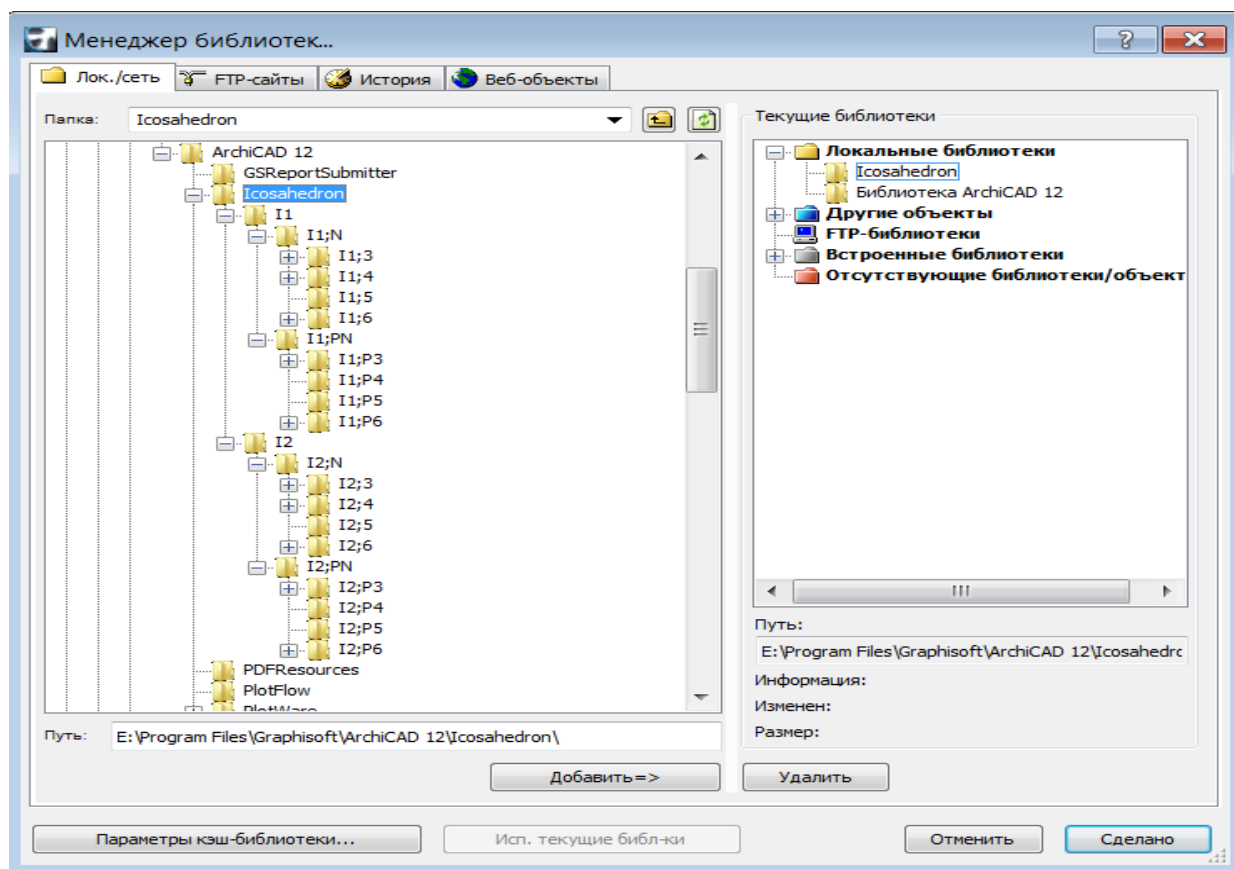


Рис.2. Библиотека GeoDome v1.0

БД GeoDome имеет иерархический тип, в которой представлены объекты типа предок и потомок. В качестве информационной модели этой БД можно рассматривать логическую классификацию геодезических оболочек.

БД GeoDome реализована в виде библиотеки ArchiCAD. Эта библиотека представляет собой набор папок и внешних файлов, которые можно использовать в проектах. Библиотечные элементы содержат геометрические модели геодезических оболочек. Элементы библиотеки являются GDL – объектами. Они могут добавляться в проект с использованием специального инструмента Объект. Для библиотеки GeoDome создан файл библиотечного контейнера LibraryGeoDome1.0.lcf. Библиотечные контейнеры содержат целые библиотеки с их структурой (см. Рис. 2.).

В данный момент реализованы в виде библиотечных объектов ArchiCAD следующие классы на основе икосаэдра: I1; 3, I1; 6, I1; 4,6, I2; P3, I2; P6, I1; P3, I1; P6, (Павлов Г.Н.), I2; 3, I2; 6, I2; 4,6, I1; 4, I1; 5, (Лахов А.Я.). Остались нереализованными следующие классы: I2; 4, I2; 5, I2; P4, I1; P4, I2; P5, I1; P5. Где используется следующая нотация:  $p\ DN; \{M|PM\}$ , D – тип многогранника, N – количество контуров, M – количество сторон многоугольника, P – признак наличия пирамиды. БД GeoDome имеет открытую архитектуру, то есть допускает дополнение новыми классами геодезических оболочек.

Далее необходимо было решить задачу обмена данными о геометрических моделях геодезических куполов из CAD системы ArchiCAD в CAE систему Patran/Nastran. ArchiCAD может сохранять геометрические модели в различных 3D форматах и CAD форматах. Пре-процессор расчета Patran может читать геометрические модели в форматах, не совпадающих с форматами ArchiCAD. То есть выполнение обмена данными штатными средствами не представляется возможным. Однако, в Patran есть возможность создавать геометрические модели программным способом, используя файлы сессии в виде последовательностей операций конструирования. Используя данную возможность были написаны специализированные трансляторы OBJ-SES отдельно для одноконтурных[6] и двухконтурных геодезических оболочек.

Для реализации транслятора была построена грамматика входного языка 3D моделей в формате OBJ и реализован транслятор по схеме синтаксически-ориентированной трансляции. Нетерминальные символы обозначают следующие конструкции языка – S – геометрическая модель (начальный символ грамматики), A – раздел объявлений, B – раздел вершин, C – раздел полигонов, D – вершина, E – полигон, K – константа.

Грамматика G имеет вид –

G:  $S \rightarrow ABC$  // геометрическая модель состоит из раздела объявлений, вершин и полигонов.

$A \rightarrow mtl\ lib\ file\_name$  // раздел объявлений – имена файлов,  
 $trace\_obj\ file\_name$  // библиотек, материалов  
 $shadow\_obj\ file\_name$   
 $g\ bibl\_name$   
 $usemtl\ mater\_name$

$B \rightarrow D/D;B$  // раздел вершин содержит точки в декартовой системе координат

$C \rightarrow E/E;C$  // раздел полигонов – содержит список многоугольников

$B \rightarrow v\ X1\ Y1\ Z1$  // вершина – содержит координаты точки

$E \rightarrow vt\ X1\ Y1$  // полигон содержит индексы точек, определяющих

$vt\ X2\ Y2$  // координаты текстуры и

$vt\ X3\ Y3$

$f\ i1/i1\ i2/i2\ i3/i3$  // координаты грани

$K \rightarrow d|Kd$

где v – геометрические вершины, f – грань, vt – текстурная вершина, g – имя группы, s – группа сглаживания.

Затем написаны трансляторы на языке программирования Visual Basic.

Далее были решены вопросы прочностного расчета геодезических оболочек на различные воздействия, в частности на взрывное воздействие. В последнем случае процесс имеет

три стадии развития: 1) распространение взрывной волны до момента достижения поверхности конструкции, 2) воздействие взрывной волны на конструкцию и ее деформирование до разрушения, 3) процесс разрушения конструкции, протекающий во времени.

На первой стадии моделируется взрыв заряда взрывчатых веществ (ВВ) в воздухе. При этом детонация ВВ возбуждается в точке симметрии сферического заряда и распространяется в нем с некоторой скоростью. Указанный процесс описывается уравнениями газовой динамики. Система уравнений является замкнутой. Для ее решения используют численные методы.

Вторая стадия на уровне взаимодействия ударной волны и упругого физического объекта описывается путем включения в систему дифференциальных уравнений уравнения неразрывности, движения и физические соотношения в виде обобщенного закона Гука.

Для решения уравнений можно использовать явный метод. При использовании явного метода вычисляют ускорения  $u''$ , поэтому не требуется обращение матрицы жесткости, а выполняют обращение массовой матрицы, что значительно проще. К недостаткам относится неустойчивость метода, поэтому используют малый шаг по времени. Для динамических задач – взрыв, удар – предпочтительным является этот метод решения, который и используется в решателе Dytran[7].

Для решения общей задачи – взаимодействия потоков и конструкций используется метод разделов. В методе разделов потоки и конструкции решаются отдельно, со своими сетками и численными алгоритмами. Условия взаимодействия явно вычисляются путем обмена данными между решением потоков и конструкций.

Были решены различные задачи с взрывным воздействием. Например, взрывное воздействие на деформируемый геодезический купол, взрывное воздействие на деформируемый полусферический гладкий купол, взрывное воздействие на разрушаемый геодезический купол.

Разработанная система проектирования и расчета геодезических куполов GeoTran основана на использовании существующих мощных CAD и CAE системах, предлагающих широкие возможности для архитектурного проектирования и расчета на прочность и устойчивость методом конечных элементов. GeoTran основана на расчетной модели класса геодезических оболочек. Система GeoTran предоставляет возможности дальнейшего развития за счет разработки новых классов геодезических оболочек.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Deshpande A., Azhar S., Amireddy S. A framework for BIM-based knowledge management system.//Procedia Engineering 85 (2014) P. 113-122.
2. Fuller R. B. Geodesic dome / R. B. Fuller // Perspecta. – 1952. - № 1. - P. 30-33.
3. Павлов Г.Н. Автоматизация архитектурного проектирования геодезических куполов и оболочек. дис. ... д-ра техн. наук. -2007, Н.Новгород.
4. Лахов А.Я. Разработка классификации геодезических куполов. // Приволжский научный вестник. – Ижевск. -2016. - №1 (53), - С.44-47.
5. Павлов Г.Н. Автоматизация архитектурного проектирования геодезических куполов и оболочек: Монография / Г.Н. Павлов, А.Н. Супрун, Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Н.Новгород: ННГАСУ, 2006, -162 с.
6. Лахов А.Я. Трансляция геометрических моделей одноконтурных геодезических оболочек //Приволжский научный журнал. – Н.Новгород, ННГАСУ, 2012.-№3, - С.89 – 93.
7. MSC.Dytran Theory Manual, MSC.Software Corporation, 2005, 168 p.