

В.В. Рафальский, Л.Г. Рафальская, А.В. Старостина

## ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СХЕМЫ ДЕЛЕНИЯ

**Рафальский Вячеслав Валентинович**, окончил самолетостроительный факультет Ульяновского государственного технического университета. Главный конструктор ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Область интересов – проектирование сложных систем. [E-mail: rafalskiy\_vv@mail.ru].

**Рафальская Людмила Георгиевна**, окончила факультет электронной техники и автоматики Томского института автоматизированных систем управления и радиоэлектроники. Ведущий математик ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Область интересов – разработка автоматизированных систем обеспечения эксплуатации и сопровождения. [Тел.: (8422)26-29-01].

**Старостина Александра Викторовна**, окончила механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова (филиал в г. Ульяновске). Ведущий инженер-программист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Область интересов – разработка программного обеспечения сложных систем. [Тел.: (8422) 26-26-78].

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы создания информационной модели структуры и состава сложных изделий (схемы деления на составные части). Информационная модель схемы деления обеспечивает сокращение сроков разработки сложных систем и повышает оперативность принятия проектных решений.

Ключевые слова: разработка сложных систем, информационная модель, схема деления.

### Abstract

The article deals with issues of creation of information model for a structure and make-up of complex products (scheme of decomposition into components). The information model for decomposition scheme contributes to reduced time period for development of complex systems and higher efficiency of decision-making concerning design.

Key words: development of complex system, information model, decomposition scheme.

Одним из ответственных технических решений, которые принимаются в процессе проектирования сложных изделий, является определение состава и структуры изделия. Требования к структуре и составу изделия обычно определяются техническим заданием на разработку и множеством нормативных документов - стандартов, частных решений о применении тех или иных компонентов в составе изделия. Сложность современных изделий такова, что определить их состав и структуру в полном объеме на начальных этапах проектирования по многим причинам не удастся, поэтому приходится многократно возвращаться к вопросам определения состава и структуры проектируемого изделия по мере выполнения проектных работ. Одним из возможных подходов к решению этой проблемы является применение методов, широко используемых в системах управления качеством – постоянное улучшение изделия в процессе его проектирования, изготовления и эксплуатации. Как правило, это выражается в необходимости постоянного

анализа многих возможных вариантов структуры и состава изделия с целью выбора наилучшего. Такой подход требует постоянного внесения изменений в структуру изделия, что при существующих технологиях разработки и сопровождения конструкторских документов является трудоемким процессом. Кроме того, существенно уменьшается оперативность принятия решений о применении в составе создаваемого изделия тех или иных элементов по причине больших временных затрат на внесение необходимых изменений в конструкторские документы.

Состав и структура изделия определяются в одном из обязательных конструкторских документов, каковым является схема деления на составные части. Правила разработки этого документа определяются стандартом «ГОСТ 2.711-82. Схема деления на составные части», введенном еще в 1983 году и с несущественными изменениями действующим в настоящее время. Согласно определению указанного стандарта, схема деления изделия на составные части (далее - схема

деления) - конструкторский документ, определяющий состав изделия, входимость составных частей, их назначение и взаимосвязь.

В схеме деления приводят состав изделия (комплексы, сборочные единицы, детали, входящие в изделие, как вновь разработанные, так и заимствованные, и покупные), при этом указывают обозначение изделия и его составных частей, наименование изделия и его составных частей [1].

В соответствии с требованиями указанного ГОСТа на каждую составную часть, разрабатываемую по ТЗ, схема деления оформляется самостоятельным конструкторским документом, и ссылка на него должна быть приведена в схеме деления изделия в целом.

Таким образом, схема деления сложного изделия системы строится по иерархическому принципу и может представлять собой достаточно объемный документ, который приходится многократно изменять в процессе проектирования.

В указанном ГОСТе приведены требования к форме и содержанию схемы деления с учетом возможностей используемых в 80-х годах технологий разработки и сопровождения конструкторских документов, ориентированных, как правило, на изготовление конструкторских документов на бумажном носителе (в том числе и с помощью компьютеров).

Вместе с тем, возможности современных компьютерных технологий позволяют представить схему деления изделий любой сложности в виде информационной модели и обеспечить хранение и обработку, кроме состава и структуры изделия, дополнительной информации о любых свойствах элементов, входящих в состав изделия.

Принцип иерархии широко используется при проектировании сложных изделий любой природы — комплексов технических средств любого уровня сложности, документации, сложных программных средств. Причина этого состоит в применении постулатов системного подхода, который широко используется при проектировании и анализе сложных систем. Основной из них — признание целостности системы и каждого ее элемента и одновременно их сложной структуры, для исследования которой требуется деление элементов на составные части следующего уровня. Уровень деления (раскрытия) сложного изделия (системы) на составные части зависит от сложности и специфики изделия и устанавливается разработчиком изделия по согласованию с заказчиком.

На ранних стадиях проектирования часто невозможно заранее указать количество уровней деления сложного изделия на составные части, кроме того, различные по сложности элементы могут иметь различное количество уровней деления.

Элементы схемы деления представляют собой объекты, входимость которых в элементы верхнего уровня определена однозначно — не существует возможность вхождения одного и того же экземпляра элемента в несколько других элементов более высоких уровней одновременно. Связи между элементами схемы деления указываются явно, и это приводит к необходимости однозначной идентификации элементов схемы деления и связей между ними.

В процессе разработки схемы деления над ее элементами выполняются различные операции, например, включение элементов в схему деления, исключение элементов, изменение связей между элементами. При выполнении этих операций над элементами в любой последовательности и произвольное количество раз должна обеспечиваться целостность схемы деления.

Для моделирования схему деления удобно представить ориентированным графом типа дерева [2]. Началом всякой дуги в таком графе является вершина — родитель, концом дуги — вершина, которая подчинена вершине-родителю и непосредственно с ней связана. Такой граф не содержит циклов, и полустепень захода каждой вершины, за исключением одной, равна единице, а полустепень захода одной из вершин, причем единственной, равна нулю. Из приведенного определения следует, что ориентированное дерево с  $n$  вершинами имеет  $n-1$  дуг и связно, причем каждая пара вершин в таком графе соединена одной и только одной простой цепью. Это условие является достаточным, чтобы граф был деревом. Доказательство приведенных утверждений можно найти, например, в [3].

Свойства деревьев служат основой для создания системы правил, обеспечивающих логическую корректность схемы деления в соответствии с требованиями ГОСТа (аксиоматики целостности):

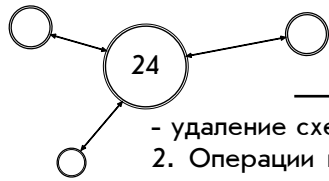
- в модели схемы деления допускается только одна вершина (элемент схемы деления), которая не имеет элемента верхнего уровня;
- не допускается включение элементов в схему деления без указания принадлежности к элементам верхнего уровня, за исключением одного;
- при исключении элемента верхнего уровня автоматически удаляются все подчиненные элементы.

Модель схемы деления должна обеспечивать выполнение набора операций над элементами схемы деления в процессе ее создания, модификации, устранения ошибок. При этом выполнение любых операций над элементами дерева должно обеспечивать целостность схемы деления, т.е. выполнимость всех свойств дерева.

Все операции удобно сгруппировать по типу объекта, над которым они выполняются.

1. Операции над схемой деления в целом. К числу таких операций относятся:

- создание схемы деления;



- удаление схемы деления.

2. Операции над простыми элементами схемы деления:

- добавление простого элемента в схему деления;

- удаление простого элемента из схемы деления;

- изменение родителя (переподчинение).

3. Операции над элементами сложной структуры схемы деления:

- добавление элемента сложной структуры в схему деления;

- удаление элементов сложной структуры;

- изменение родителя (переподчинение);

- создание схемы деления по прототипу.

Графическая интерпретация указанных операций и необходимые для их выполнения параметры указаны в таблице 1.

Создание схемы деления начинается с определения изделия (корневой вершины дерева). Затем выполняются операции включения других элементов схемы деления. При включении простого элемента в граф схемы деления добавляется одна вершина и одна дуга, которая связывает добавляемую вершину с одной из родительских вершин.

Удаление простого элемента из схемы деления приводит к удалению вершины и дуги, которая связывала удаляемую вершину и вершину—родитель. При выполнении этих операций (в том числе многократно и в любой последовательности) порождается новый граф, в котором соотношение между числом вершин и числом дуг сохраняется, т.е. выполняемые операции порождают дерево. Пусть операция добавления или удаления элементов выполнялась  $m$  раз, тогда разность между количеством вершин и количеством дуг нового графа будет равна:

$$(n + m) - (n - 1 + m) = 1 \text{ и}$$

$$(n - m) - (n - 1 - m) = 1, \quad n = \overline{1, n}, \quad m = \overline{1, n - 1}.$$

Изменение родителя приводит к удалению одной дуги и добавлению новой дуги, связывающей вершину с новым родителем, что также не меняет соотношения между числом дуг и числом вершин в графе.

При добавлении или удалении элемента сложной структуры выполняется добавление в исходный граф  $m$  вершин и  $m - 1$  дуг ( $m \geq 2$ ), а также одной дуги, связывающей корневую вершину сложного элемента с одной из вершин исходного графа:

$$(n + m) - (n - 1 + m) = 1 \text{ и}$$

$$(n - m) - (n - 1 - m) = 1, \\ n = \overline{1, n}, \quad m = \overline{1, n - 1}.$$

Таким образом, структура графа схемы деления при таких операциях также не нарушается.

Изменение родителя для элемента сложной структуры состоит в исключении одной дуги и добавлении другой дуги, связывающей корневую вершину дерева элемента сложной структуры с новой вершиной-родителем.

Создание схемы деления по прототипу выполняется путем копирования схемы деления с автоматической заменой значений идентификаторов вершин (узлов). Эта операция порождает новое дерево с сохранением всех его свойств.

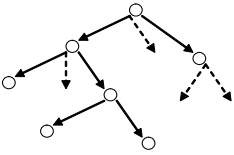
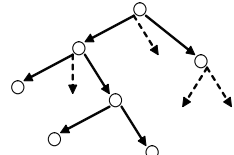
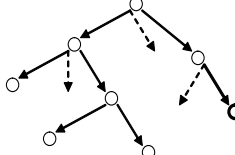
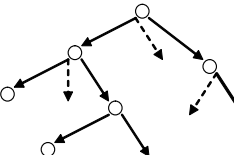
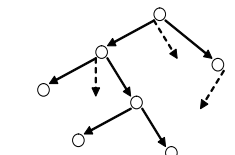
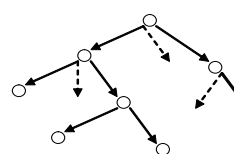
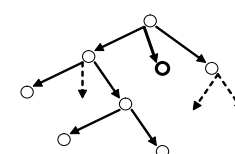
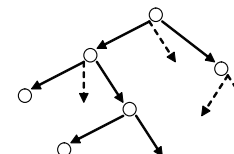
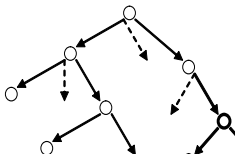
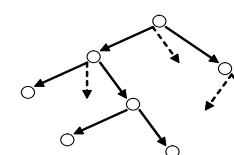
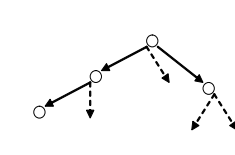
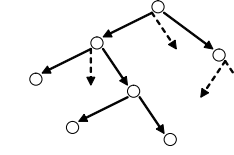
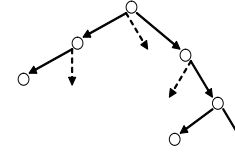
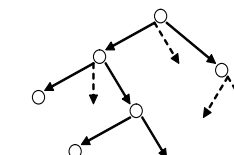
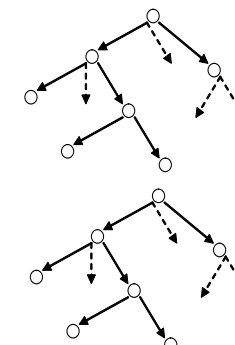
Как следует из приведенных рассуждений, выполнение указанных операций не нарушает структуру графа — он по-прежнему остается деревом.

Удаление или добавление в схему деления элементов сложной структуры, создание схемы деления по прототипу может быть выполнено путем повторения необходимого количество раз операций над простыми элементами, однако, наличие операций с элементами сложной структуры приводит к существенному сокращению времени создания и модификации схем деления в процессе разработки изделий.

На начальных стадиях проектирования схема деления обычно представляет собой иерархию с неопределенным количеством уровней вложения — заранее определить количество уровней не представляется возможным. Кроме того, каждый из элементов сложного изделия обладает определенными свойствами, значение которых может приводиться в схеме деления. Для этих целей ГОСТ предусматривает дополнение схемы деления различными справочными данными в форме таблиц. Поэтому при создании информационной модели схемы деления необходим такой способ реализации иерархии, который не имел бы ограничений по количеству уровней вложения элементов и обеспечивал бы возможность хранения дополнительной информации по каждому элементу схемы деления.

Известно несколько способов моделирования иерархических структур программными средствами. Один из этих способов предусматривает хранение в виде текстового файла всех простых цепей от корневой вершины к конечным. Примером может служить файл Treeinfo.ws, в котором в текстовой форме хранятся все пути доступа к папкам. По иерархическому принципу строятся файловые системы и реестр системы Windows [4]. Логическую структуру файловой системы можно просматривать, используя компоненту «Проводник» системы Windows. Для работы с иерархической структурой реестра существует множество достаточно удобных прикладных программ. Например, при использовании редактора реестра Regedit в левой панели отображается иерархическое дерево реестра, включающее в себя основные пять ключей и их подключи. Если подраздел имеет вложенные подразделы, то слева от него находится значок «+». Если выполнить щелчок левой кнопкой мыши на

Таблица операций над элементами схемы деления

	Операция	Состояние до выполнения	Состояние после выполнения	Параметры
1.	Создание схемы деления		○	Наименование (идентификатор) изделия
2.	Удаление схемы деления			Наименование (идентификатор) изделия
3.	Добавление простого элемента в схему деления			Наименование добавляемого элемента, наименование элемента, в состав которого включается новый элемент
4.	Удаление простого элемента из схемы деления			Наименование удаляемого элемента
5.	Изменение родителя (переподчинение)			Наименование элемента, наименование элемента, в состав которого включается новый элемент
6.	Добавление элемента сложной структуры в схему деления			Наименование добавляемого элемента, наименование элемента, в состав которого включается новый элемент
7.	Удаление элементов сложной структуры			Наименование удаляемого элемента
8.	Изменение родителя элемента сложной структуры (переподчинение)			Наименование элемента, наименование элемента, в состав которого включается новый элемент
9.	Создание схемы деления по прототипу			Наименование вновь создаваемого сложного элемента, наименование элемента - прототипа

этом значке, то развернется соответствующий ключ, в котором будет отображена иерархия содержащихся в его составе вложенных ключей. Такой послойный метод организации реестра допускает хранение множества уровней. По достижении самого нижнего уровня вложения слева от вложенного ключа появится значок «-», который указывает, что дальнейшее раскрытие件 возможно.

Иерархии были одной из первых моделей предметной области, реализованной средствами СУБД. Известны классические модели данных, обеспечивающие наиболее экономичный способ представления конкретных типов отношений между объектами предметной области [5]. В настоящее время повсеместное распространение получили базы данных реляционного типа, для которых имеется развитое математическое обоснование модели данных, описание отношений и языка манипулирования данными. Однако реализация иерархии только средствами реляционной модели приводит к структурной избыточности модели и/или к избыточности данных. Особую трудность представляет ситуация, когда необходимо в рамках одной прикладной задачи совместить использование различных типов отношений, в частности иерархий и отношений типа объект — свойства объекта.

В современных системах объектного программирования, например в Delphi [6], для реализации иерархических структур предусмотрен специальный компонент TTreeView (дерево). Методы компонента обеспечивают формирование дерева, выполнение основных операций над деревом, навигацию по дереву и отображение элементов дерева. Обеспечивается поддержка неограниченной вложенности элементов дерева. Вместе с тем набор стандартных методов компонента не содержит операций над сложными элементами дерева, например, изменение родителя сложного элемента, создание дерева по прототипу. Кроме того, допускается использование одинаковых наименований элементов для узлов разных уровней, как, например, в файловых системах. Поэтому при программной реализации схемы деления требуется уникальность имен, а также реализация операций над элементами де-

рева возлагается на специально разработанные для этих целей программные компоненты. Для хранения информации о свойствах элементов в дополнение к компоненту TTreeView может быть использована практически любая СУБД.

Примером программной реализации электронной схемы деления может служить разработанная в НПО «Марс» специализированная информационная система [7].

Схема деления в системе отображается в форме дерева, отражающего иерархию элементов (рис. 1).

В правой части формы отображается информация о свойствах элементов схемы деления. Для выполнения операций над элементами схемы деления предусмотрены соответствующие кнопки и функции меню.

В тех случаях, когда схема деления содержит большое количество элементов, возникает необходимость поиска элемента схемы деления по его наименованию. Для организации поиска схема деления может быть представлена списком элементов (рис. 2).

После того, как необходимый элемент будет найден, можно отобразить в виде дерева фрагмент схемы деления, который будет состоять из найденного узла и всех входящих в него элементов.

Достаточно часто возникает необходимость отображения информации об элементах схемы деления, связанных одной цепью (отобразить ветвь дерева или ее фрагмент). Эта возможность обеспечивается последовательным отображением окон с соответствующими фрагментами схемы деления (рис. 3).

Информация об элементах схемы деления может быть выгружена в формате тексто-

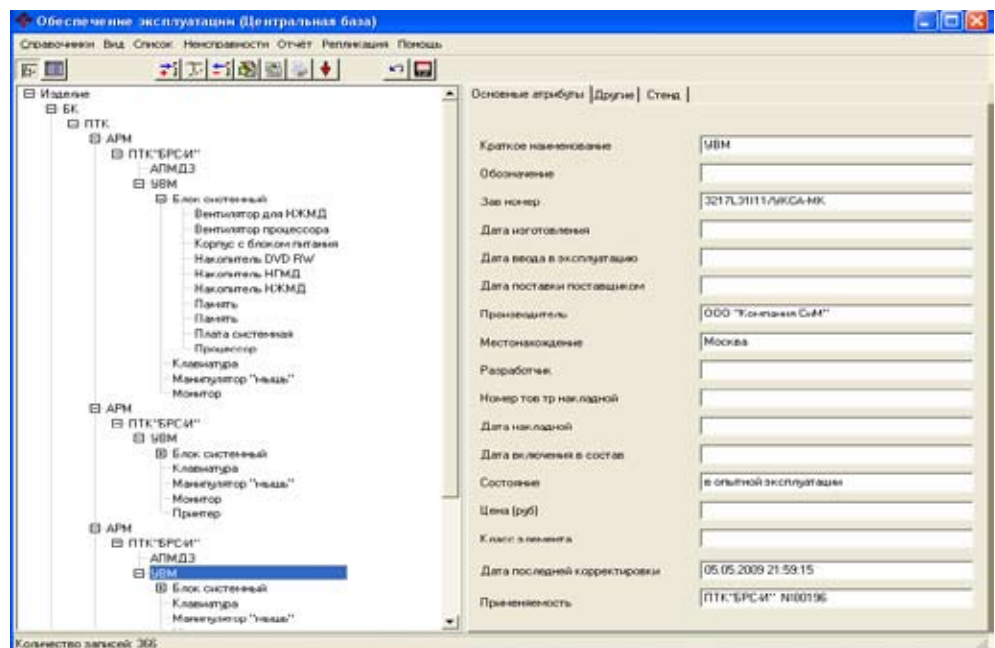


Рис. 1. Отображение схемы деления в виде дерева

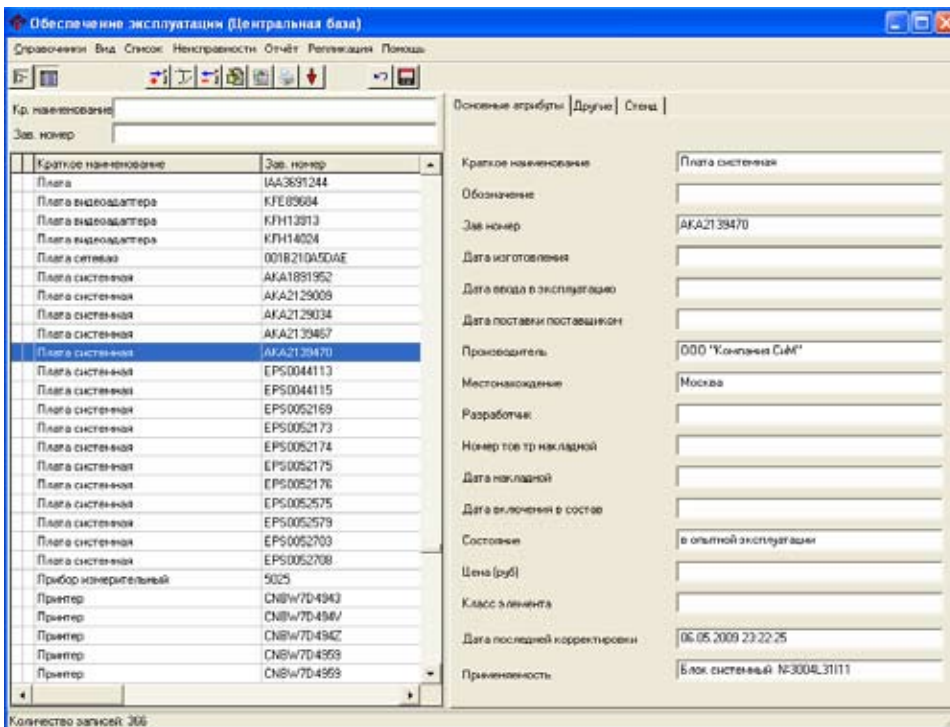


Рис. 2. Список элементов схемы деления

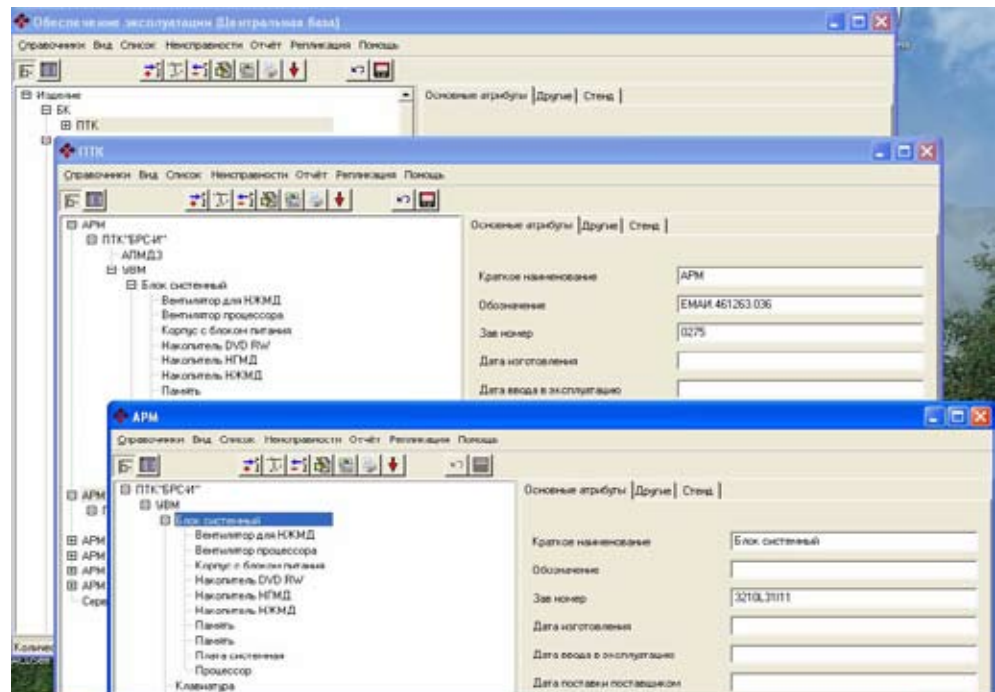


Рис. 3. Отображение информации об элементах фрагмента отдельной ветви дерева

го редактора и использована для создания документа «Схема деления на составные части» в соответствии с формой, предусмотренной упомянутым ГОСТом.

Предложенный способ реализации информационной модели схемы деления обеспечивает хранение необходимой разработчику информации о структуре изделия и о свойствах (параметрах) элементов, входящих в состав сложного изделия.

Информационная модель схемы деления позволяет без больших трудозатрат создавать множество различных вариантов структуры сложного изделия, оперативно вносить необходимые изменения в процессе разработки и модернизации, постоянно улучшая свойства создаваемых изделий. Существенную экономию времени, затрачиваемого на определение структуры и состава сложных изделий, предоставляет такая возможность, как проектирование «по прототи-

пу» - использование уже апробированных технических решений при создании новых изделий.

Применение в информационной модели аксиоматики, основанной на известных свойствах деревьев, обеспечивает логическую целостность схемы деления при выполнении предложенных операций над ее элементами.

Разработанная система обеспечивает создание и сопровождение множества схем деления любой сложности, единственным ограничением является объем доступного пространства для хранения данных. Система разработана в среде Delphi и использует для хранения данных СУБД Linter. Развитые средства навигации, наличие полного набора операций над схемами деления и отдельными элементами позволяют использовать систему в качестве эффективного инструментального средства разработки схем деления сложных изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 2.711 – 82. ЕСКД. Схема деления на составные части.
2. Оре О. Теория графов. — М.: Наука, 1980. — 336 с.
3. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. — М.: Мир, 1978. — 432 с.
4. Глушаков С.В., Дуравкин Е.В. Реестр Windows Vista. — М.: АСТ: АСТ МОСКВА: ХРАНИТЕЛЬ, 2008. — 320 с.
5. Мейер Д. Теория реляционных баз данных. — М.: Мир, 1987. — 608 с.
6. Бобровский С.И. Delphi 7. Учебный курс. — СПб.: Питер, 2005. — 736 с.
7. Рафальская Л.Г., Рафальский В.С., Старостина А.В. Информационная система сопровождения разработки и обеспечения эксплуатации сложных систем // Автоматизация процессов управления. — 2006. — № 1 (7). — С.10-11.