

Инструментальные средства реализации структурного синтеза геометрических моделей в САД-системах

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

В предыдущей статье [1] проанализированы основные причины недостаточной эффективности современных машиностроительных САПР, к числу которых отнесены, в частности, ограниченные возможности систем конструирования (CAD) и систем управления проектными данными (PDM) в представлении множества проектных альтернатив.

В большинстве современных САД-систем в качестве средства описания структуры объекта проектирования используется дерево конструирования, вершинам которого соответствуют геометрические объекты, а ребрам – логические операции (объединение, вычитание, пересечение). Такая структура геометрической модели не позволяет непосредственно обращаться к геометрии объекта, обеспечивая взаимодействие с нею лишь через дерево конструирования [2], а также затрудняет внесение изменений в состав геометрических объектов и характер их взаимосвязей.

Подобные ограничения характерны и для современных систем PDM, большинство которых поддерживает работу со структурной моделью изделия, но не содержит эффективных средств для представления альтернативных вариантов проектных решений. Реализованные в отдельных системах возможности работы с вариантами конструктивных исполнений ориентированы в основном на задачи сбыта продукции, а не структурного синтеза конструкции изделия.

Кроме того, структурные модели изделия в САД-системах представляются с гораздо более высокой степенью детализации, чем в системах PDM, что затрудняет использование штатных механизмов синхронизации данных. К тому же сами механизмы синхронизации предназначены не столько для синтеза структуры информационных или геометрических моделей, сколько для работы с уже существующими моделями.

Синтез структуры объектов признан наиболее сложной для формализации проектной процедурой. Автоматизация этой задачи позволит не хранить все множество возможных структурных вариантов, а генерировать при проектировании только необходимые в зависимости от определенных ранее значений параметров. Реализация структурного синтеза при разработке машиностроительных САПР связана с рядом сложностей.

Во-первых, при структурном синтезе в корне изменяется смысл понятия базовой геометрической модели, поскольку результирующая структура проектируемого изделия определяется в процессе расчета, а следовательно, и сборка (модель) должна создаваться «на лету». Средствами САД-системы достичь желаемого результата не удастся, что и требует создания специализированного программного обеспечения.

Во-вторых, при формировании информационной модели разрабатываемой САПР необходимо описать не только все возможные структурные варианты, но и

условия выбора того или иного варианта. Формат этого описания должен быть как можно более простым и наглядным, поскольку не каждый конструктор обладает навыками программирования и описание структуры изделия посредством написания программного кода (пусть и упрощенного) может оказаться для него непростой задачей.

В-третьих, исключительно сложной задачей является структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью. Информационная модель разрабатываемой САПР должна четко и однозначно описывать весь перечень возможных сочетаний элементов, при этом также однозначно определять изменения во всем изделии при использовании элемента того или иного класса.

Кроме того, данные о результирующей геометрической модели хранятся не только в формате САД-системы, но также и в виде некоторого описания структуры (а иногда и модели целиком) в рамках информационной модели разрабатываемой САПР. Это описание должно строго соответствовать геометрии проектируемого изделия. Попытки переложить решение этой задачи исключительно на разработчика специализированной САПР служат причиной различного рода неточностей, что в дальнейшем приводит к ошибкам в процессе проектирования объектов. Следовательно, процесс описания структуры проектируемого изделия необходимо автоматизировать до такой степени, чтобы добиться полного соответствия структуры, описанной в информационной модели, структуре геометрической модели.

Реализация структурного синтеза требует представления вариантов состава проектируемого изделия в виде некоторой обобщенной структуры, содержащей все возможные варианты состава изделия. К настоящему времени разработаны различные способы представления множества проектных альтернатив – морфологические таблицы, комбинаторные файлы, структурные формулы, И-ИЛИ-графы. Наиболее рациональной формой описания признан И-ИЛИ-граф [3]. В САПР объектов машиностроения вершинами И-ИЛИ-графа должны быть, в зависимости от уровня иерархии, сборки, под сборки, детали и отдельные части деталей – конструкторско-технологические элементы (КТЭ). Будучи дополненным информацией об условиях выбора той или иной проектной альтернативы в зависимости от заданных условий, граф может служить эффективным средством синтеза структуры проектируемых технических объектов.

Отмеченные выше особенности современных программных средств САПР, а именно отсутствие штатных средств для моделирования альтернативных вариантов проектных решений и манипулирования ими осложняет или вовсе исключает формирование полноценной обобщенной модели (метамоделей) некоторого класса изделий. Расширение этих возможностей может служить основой для реализации формальных методов структурного синтеза объектов проектирования, а потому рассматривается как одно из важных направлений интеллектуализации САПР.

Цель настоящей работы состоит в рассмотрении возможных подходов к построению геометрической модели объекта проектирования, взаимосвязанной с обобщенной информационной моделью.

Как отмечено в работе [1], ближайшим аналогом в части моделирования структуры объекта проектирования следует признать редактор информационной модели, входящий в состав интегрированной

инструментальной среды СПРУТ (Система проектирования универсальной технологии) [4]. В этой системе в полной мере реализованы возможности построения и использования обобщенной модели в форме И-ИЛИ-графа, включая создание и наглядное представления альтернатив, реализацию правил их выбора в зависимости от тех или иных условий, а также возможности синтеза геометрии объекта. Пример решения задачи структурного синтеза двумерной геометрической модели детали приведен в работе [5], где описаны правила выбора состава элементов формы детали в системе конструирования SprutCAD. Программный код разрабатываемой подсистемы САПР генерируется непосредственно в процессе создания чертежа проектируемого изделия. Однако код не содержит определения переменных и условий выбора той или иной структуры. Разработчик должен сам вносить изменения в программный код, а следовательно, обладать некоторыми навыками программирования. Сгенерированный код не связан с расчетной частью системы – устанавливать соответствия должен пользователь путем написания фрагментов кода. К недостаткам системы можно также отнести возможность работы только с двумерными (2D) моделями.

Как отмечено в [1], при разработке комплекса инструментальных средств для создания специализированных САПР было решено обеспечить синтез геометрических моделей средствами промышленных CAD-систем, не разработав собственной системы конструирования, а включив в состав инструментальной среды модули взаимодействия с CAD-системами. На первом этапе разработки в качестве базовой CAD-системы была выбрана система с SolidWorks.

При этом авторами было принято решение о поддержании соответствия между структурами информационной модели проектируемой САПР и результирующей геометрической модели. На уровне сборочных единиц элементы информационной модели должны с достаточной полнотой описывать соответствующую сборку геометрической модели, а значит, содержать информацию о деталях (или подсборках), входящих в ее состав, а также о сопряжениях между ними. На уровне деталей элементы информационной модели должны представлять информацию о составе КТЭ, из которых деталь состоит, и об их взаимном расположении. Перечень используемых в системе КТЭ соответствует перечню геометрических элементов базовой CAD-системы: бобышка, отверстие, фаска и т.д.

Структурная изменчивость обеспечивается посредством дискриминаторов (ИЛИ-вершин И-ИЛИ-графа). Фактически дискриминатор – это свойство класса, значение которого определяется при создании объекта класса. Это значение выбирается из некоторого перечня, каждый элемент которого соответствует определённому классу информационной модели. Создание информационной модели, по структуре соответствующей геометрической 3d-модели, является весьма трудоемким, поэтому было принято решение об автоматизации этого процесса, а именно о построении информационной модели на основании уже существующей твердотельной модели.

При создании информационной модели прежде всего необходимо выделить критерии декомпозиции твердотельной модели на элементы. На уровне сборок и подсборок элементами являются детали и подсборки. На уровне деталей необходимо выделять конкретные конструкторско-технологические элементы (КТЭ), используемые в SolidWorks (бобышки, отверстия, фаски, канавки и т.д.).

Отдельно распознаются массивы элементов SolidWorks, так как они должны включать в себя описание параметров не только массива, но и его элементов, при этом дублирование элемента как самостоятельного класса информационной модели недопустимо. Свойства классов информационной модели генерируются автоматически на основании размерных параметров 3d-модели – параметров, определяющих геометрические примитивы, и размеров эскиза.

Поскольку формат файла SolidWorks является закрытым, анализ модели интеллектуальная среда выполняет непосредственно в CAD-системе, анализируя с помощью API-функций набор элементов дерева конструирования (ДК). Анализ ДК осуществляется по нисходящей технологии.

Ниже рассмотрен порядок построения обобщенной информационной модели технического объекта, взаимосвязанной с геометрической моделью CAD-системы. В качестве примера рассмотрена задача синтеза структуры зубчатого колеса, конструкция которого зависит от способа изготовления детали, ее размеров, объема выпуска и других факторов [6].

Пример результата анализа дерева конструирования – граф структуры модели, представленный в метамоделлере, – показан на рис. 1.

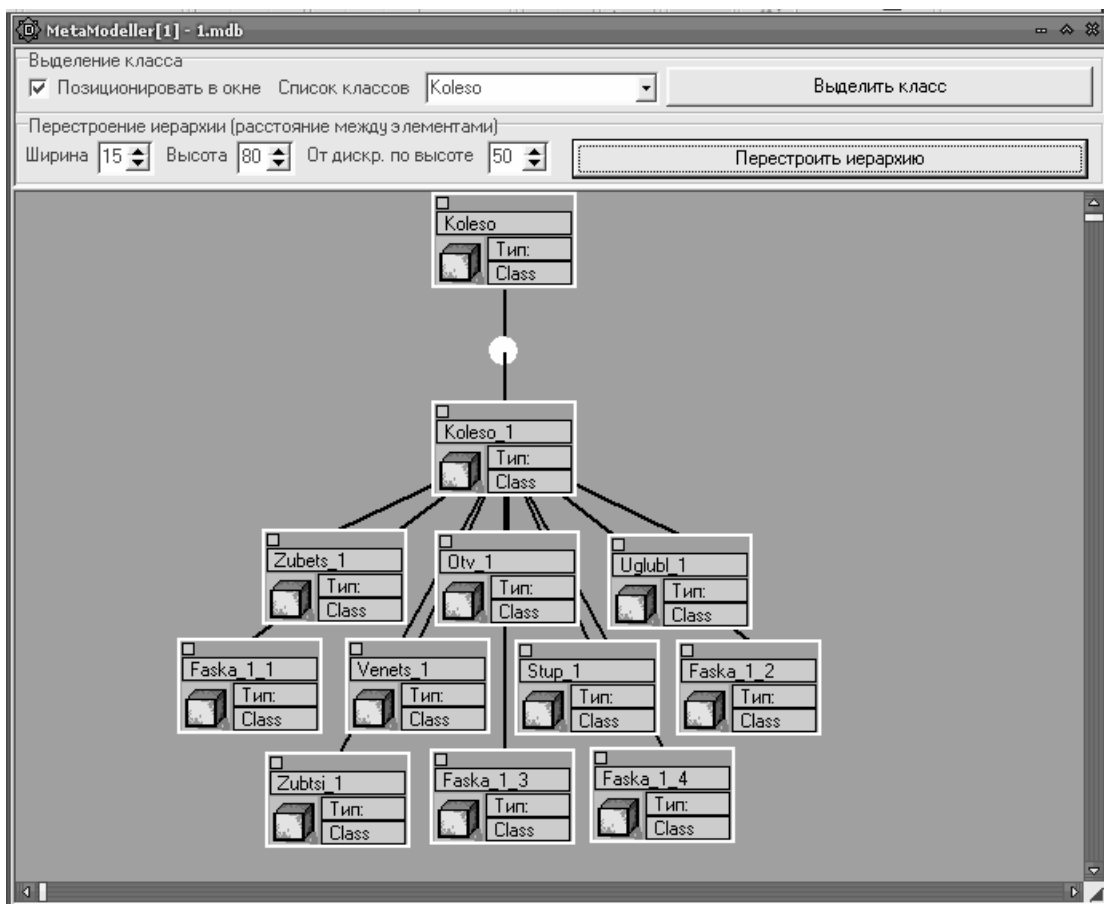
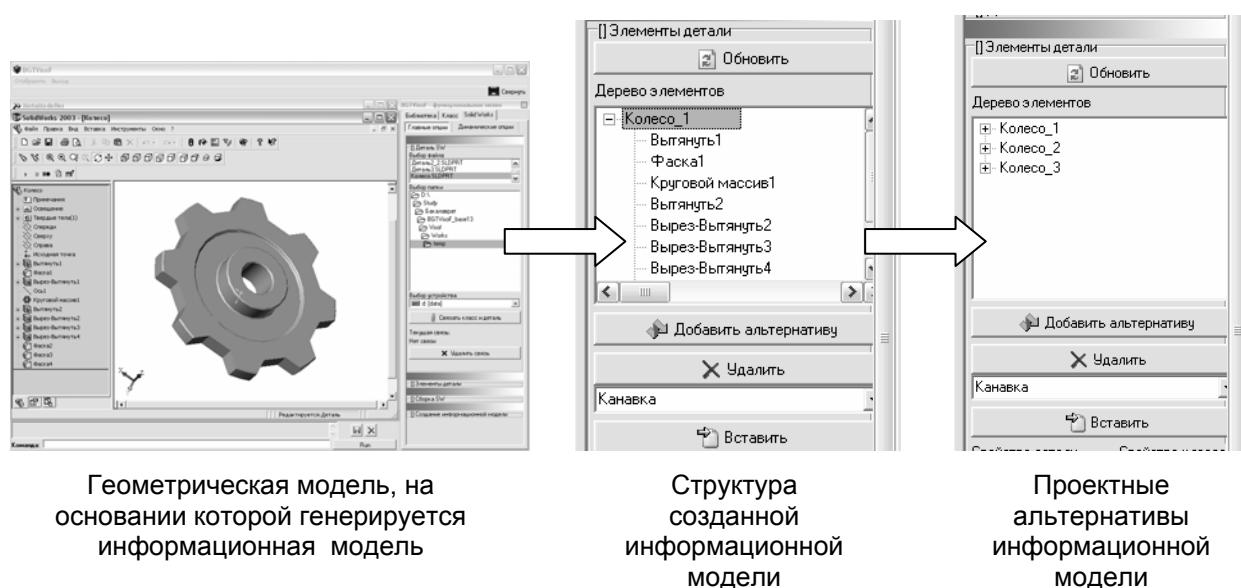


Рис.1. И-ИЛИ-граф, полученный на основании 3d-модели

Для обеспечения структурной изменчивости при создании информационной модели на основании 3d-модели автоматически создается альтернатива для каждого элемента, соответствующего детали. Эта альтернатива изначально

представляет собой дискриминатор с единственным вариантом структуры. Для добавления других структурных вариантов существует возможность копирования и редактирования проектных альтернатив. При копировании альтернативы для текущего элемента создается точная копия выбранной альтернативы (копируются все классы, входящие в состав альтернативы, и связи между ними; имена классов генерируются автоматически – имя класса-прототипа плюс порядковый номер альтернативы), которую можно редактировать путем добавления или удаления отдельных КТЭ.

Так, для модели зубчатого колеса создаются альтернативы «Колесо_1» «Колесо_2» и «Колесо_3» (рис. 2), первоначально представляющие собой копии исходной геометрической модели.



Геометрическая модель, на основании которой генерируется информационная модель

Структура созданной информационной модели

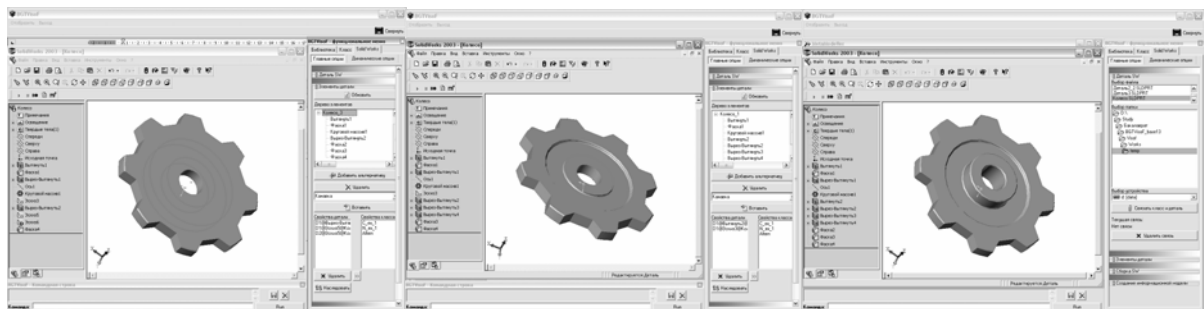
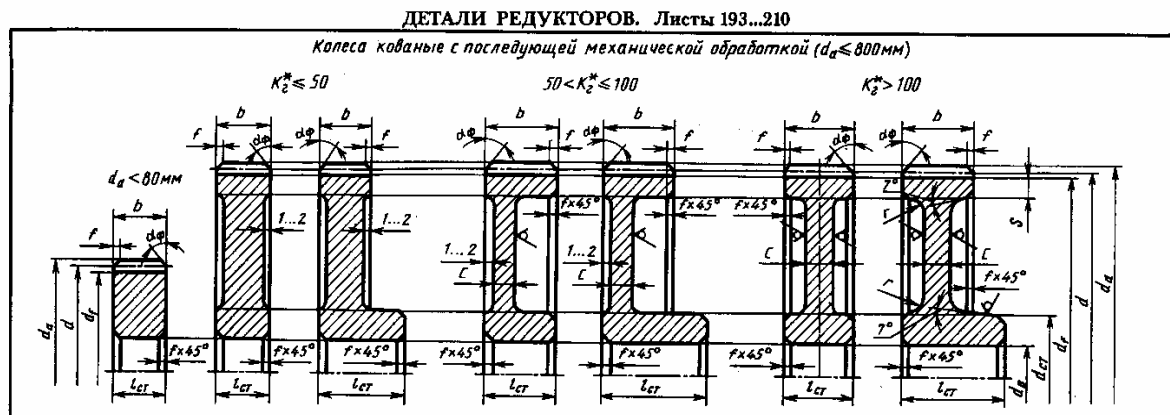
Проектные альтернативы информационной модели

Рис. 2. Связь библиотеки с 3d-моделью и задание альтернатив

Для рассматриваемого примера после создания трех проектных альтернатив, соответствующих возможным вариантам структуры детали, из состава альтернативы «Колесо_2» удаляется элемент «Ступица», а из альтернативы «Колесо_3» – элементы «Ступица» и «Углубление», как показано на рис. 3. Соответствующая внесенным изменениям структура обобщенной информационной модели показана на рис. 4.

При редактировании альтернатив используются операции удаления и добавления КТЭ. Удаление КТЭ означает установление пометки об удалении для класса КТЭ редактируемой альтернативы. При расчете параметров класс с такой пометкой игнорируется, а при построении 3d-модели (если результирующая 3d-модель строится на основании уже существующих файлов деталей) элемент твердотельной модели, соответствующий «удаленному» в информационной модели классу, удаляется. Поскольку в SolidWorks все геометрические элементы связаны друг с другом, то при удалении элемента могут либо возникнуть ошибки, вызванные разрушением связи, либо будут удалены все элементы, связанные с удаляемым. Чтобы этого избежать, до удаления элемента необходимо переопределить все связи, в которых он участвует (изменить

плоскости эскизов, принадлежащих плоскостям этого элемента, изменить родителей для дочерних геометрических элементов и т.д.). При этом описание новых параметров связей должно содержаться в служебной информации классов информационной модели, т.е. должно быть определено еще при редактировании альтернативы. Выбор новых параметров связи осуществляется непосредственно указанием элементов в окне редактирования модели SolidWorks с последующим их анализом интеллектуальной системой.



Вариант 1: ступица
отсутствует, толщина диска
равна ширине венца

Вариант 2: ступица
отсутствует, толщина диска
меньше ширины венца

Вариант 3: ступица
присутствует, толщина диска
меньше ширины венца

Рис. 3. Формирование альтернатив

При добавлении элементов выбирается тип элемента из ранее определенного перечня, задаются параметры элемента в соответствии с его типом, определяется расположение и привязки добавляемого элемента относительно уже существующих элементов детали. Недостаток данного подхода заключается в ограниченности перечня добавляемых КТЭ. Альтернативным путем решения этой задачи может быть добавление возможности создания нового типа КТЭ непосредственно в CAD-системе с последующим анализом его определения и параметров интеллектуальной системой. Реализация этой возможности предусматривается в последующих версиях системы.

Для классов информационной системы уровня деталей можно добавить интерфейс представления – массив. Тогда при генерации результирующей 3d-модели для детали, соответствующей этому классу, будет генерироваться массив элементов. Геометрические параметры (направляющие, направление распространения) и параметры по умолчанию (количество элементов, расстояние

между элементами) создаются при определении интерфейса. Числовые параметры представляют собой обычные свойства класса и поэтому могут быть рассчитаны. Наследование осуществляется так же, как и для автоматически сгенерированных свойств. Количество элементов массива заносится в служебное свойство `N_ex_номер класса`, присутствующее у каждого класса информационной модели. Если это свойство в ходе расчетов приобретает нулевое значение, то при генерации 3d-модели деталь, соответствующая данному классу, будет удалена.

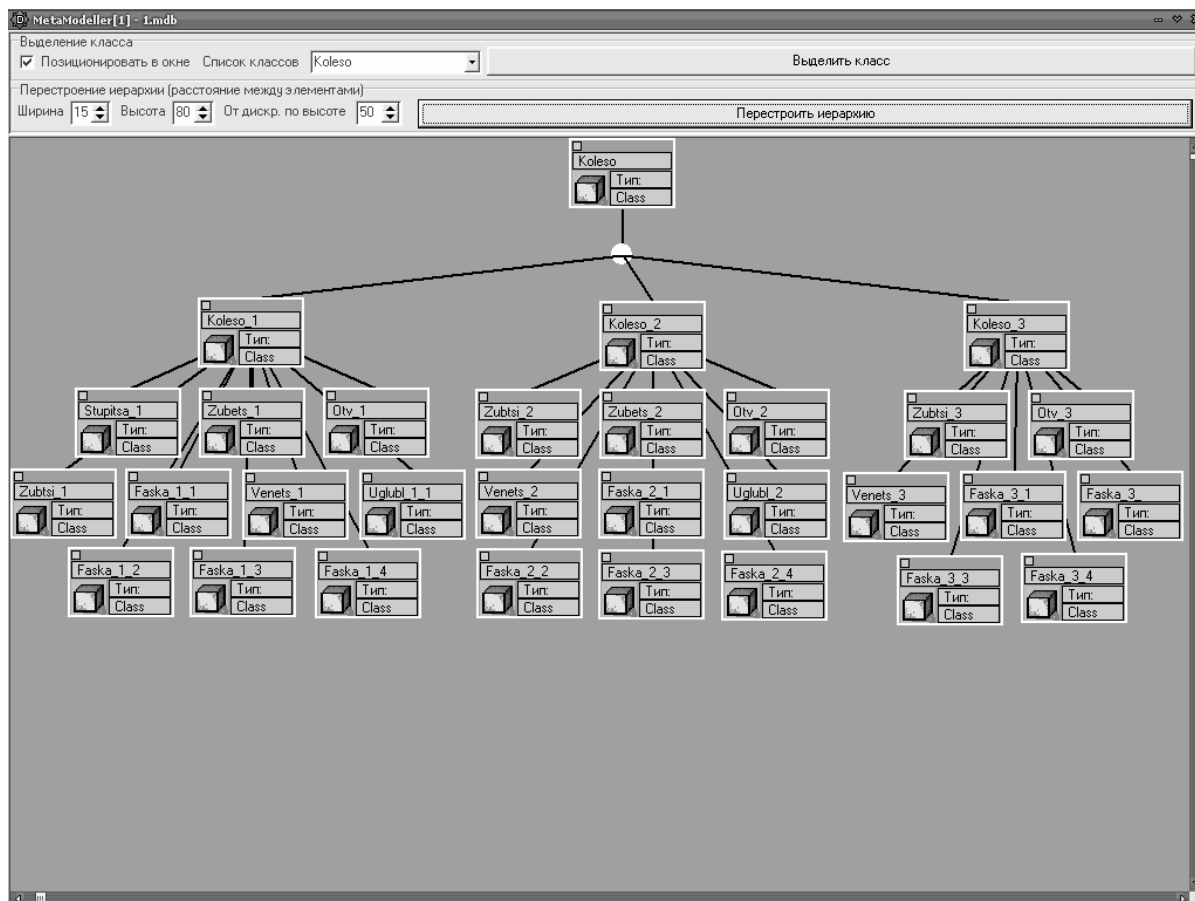


Рис. 4. И-ИЛИ-граф, полученный на основании 3d-модели, после добавления структурных альтернатив

При создании сопряжений сборок со сложной иерархической структурой, включающей в себя разветвления типа ИЛИ, возникает проблема неоднозначности выбора деталей для создания сопряжения. Так как при наличии проектных альтернатив на разных уровнях иерархии общее количество вариантов реализации результирующей сборки равно произведению этих вариантов, то нередко это количество достигает сотен вариантов с различным набором деталей. Соответственно, чтобы задать сопряжения для сборок верхнего уровня, разработчик прикладной САПР должен на этапе разработки информационной модели определить это сопряжение во всех возможных проектных альтернативах. Такой процесс весьма трудоемок, а определение сопряжения часто дублируется в нескольких структурных реализациях, поэтому следует предусмотреть механизм автоматизации решения этой задачи: 1) необходимо предоставить пользователю

возможность выбора перечня альтернатив, для которых следует создавать сопряжение; 2) создание сопряжений нужно привязывать не к конкретной структурной реализации, а к перечню элементов, в нем задействованных.

Оптимальным решением была бы возможность автоматической замены элементов, участвующих в сопряжении, по их функциональному назначению: например, в одном случае необходимо использовать шлицевое соединение, а в другом – шпоночное. Однако для этого все классы информационной модели должны обладать стандартизированным функциональным описанием, которое пока не разработано.

При выполнении настоящей работы получены следующие основные результаты:

1. Проанализированы возможности и ограничения современных систем CAD и PDM в представлении обобщенных информационных моделей семейств технических объектов.

2. Разработаны принципы взаимосвязанного информационного и геометрического моделирования элементов конструкций машин – деталей и сборочных единиц.

3. Программно реализован компонент инструментального комплекса – модуль взаимодействия с CAD-системой, обеспечивающий двустороннюю связь между обобщенной информационной моделью и геометрической моделью изделия. Тестирование модуля подтверждает справедливость предположений о возможности автоматизации взаимосвязанных процессов создания информационной и геометрической моделей.

4. Перспективными направлениями дальнейших исследований и разработок следует считать реализацию возможностей создания новых типов элементов непосредственно в CAD-системе и использования «функционального» описания сопряжений деталей в сборках.

Список литературы

1. Направления интеллектуализации САПР в машиностроении / Н.Э. Тернюк, В.Ю. Гранин, А.В. Булыгин и др. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. Аэрокосм. Ун-та им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”. – Вып. 39. – Х., 2008. – С. 14-27.
2. Азбука технологий моделирования в MCAD-системах. Часть III. Как технологии MCAD влияют на процесс разработки изделия // CAD/CAM/CAE Observer. – 2008. – № 2 (38). – С. 34-36.
3. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 360 с.
4. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 376 с.
5. Крюков С. Параметризация множества структурных вариантов: решение СПРУТ-технологии / С. Крюков, А. Ласкеев, А. Стисес // САПР и графика. – 2001. – № 12. – С. 78-81.
6. Баласанян Р. А. Атлас деталей машин / Р. А. Баласанян. – Х.: Основа, 1996. – 256 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. Г. Сухоробрый, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”, Харьков.