

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 658.512.011.56

Л.В. Губич, А.А. Прохорова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
НА БАЗЕ СРЕДСТВ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ САД-СИСТЕМ

*Рассматриваются возможности современных систем моделирования и предлагаются схемы работы на базе параметризованных моделей. Данные схемы позволяют повысить эффективность разработки типовых конструкций. В качестве примеров рассматриваются пресс-формы для литья под давлением изделий из пластмасс и штампы для листовой штамповки.*

**Введение**

Средства параметризации являются неотъемлемой частью большинства современных САД-систем, однако реальное использование параметризации в практике конструирования не соответствует предлагаемым возможностям, так как скорость развития САД-систем и их функциональных возможностей значительно опережает скорость освоения вновь появляющихся средств. Параметризация предлагает широкие возможности в области проектирования как типизированных, так и нетипизированных конструкций. При этом необходимо работать по определенным правилам построения параметризованной модели. Кроме того, существует разница в способе электронного и ручного проектирования, что также требует отдельного внимания.

Решением проблемы повышения эффективности и скорости освоения средств параметризации является изучение направлений и особенностей применения средств параметризации к конструированию конкретных объектов. В данной статье рассматриваются область применения параметризации и эффективность ее использования.

**1. Обзор возможностей средств параметризации в современных САД-системах**

С развитием компьютеров в 1980-е гг. началось освоение 3D-систем моделирования. В 1987 г. после выпуска на рынок компанией Parametric Technology Corp. параметрической системы 3D-моделирования PRO/ENGINEER параметризация обеспечила эффективность процесса проектирования за счет работы с конструктивными элементами и деревом построения [1]. Через изменение значений параметров в системах параметрического моделирования осуществляются быстрая модификация и регенерация параметрической модели. На этой основе построена табличная параметризация, позволяющая работать с таблицами типоразмеров детали или конструкции.

Ключевыми компонентами параметрических систем пространственного моделирования являются трехмерное и параметрическое ядра. Параметризатор включает в себя два компонента: скетчер и математическую библиотеку. Скетчер предназначен для построения параметрического профиля, на основе которого создается 3D-тело. В современных системах параметрического моделирования могут использоваться переменные, например, для задания значений для операций построения 3D-геометрии, создания массива элементов детали (бобышек, отверстий и др.) и т. п. Параметризация эффективно применяется в специализированных модулях проектирования технологической оснастки.

Параметрическая САПР позволяет создавать один или несколько обобщенных параметрических проектов, с помощью которых можно впоследствии в кратчайшие сроки спроектировать любой из возможных вариантов. Средства параметризации позволяют создавать объектно-ориентированную среду для решения проектных задач в конкретной области (рис.1). При этом необходимо учитывать возможности САД-систем и предлагаемых ими инструментов параметризации.

При разработке дизайна изделия, в отличие от создания типовых конструкций, необходимы более сложные инструменты поверхностного моделирования. При этом применение параметризации ограничивает гибкость модификации создаваемых форм. Параметрическая поверхностная модель описывается гораздо большим числом параметров, чем твердотельная. Количество параметров, которыми конструктор может свободно оперировать, 10–40 (в зависимости от конструкции), что определяет сферу эффективного применения методов параметризации как области типовых конструкций [2].

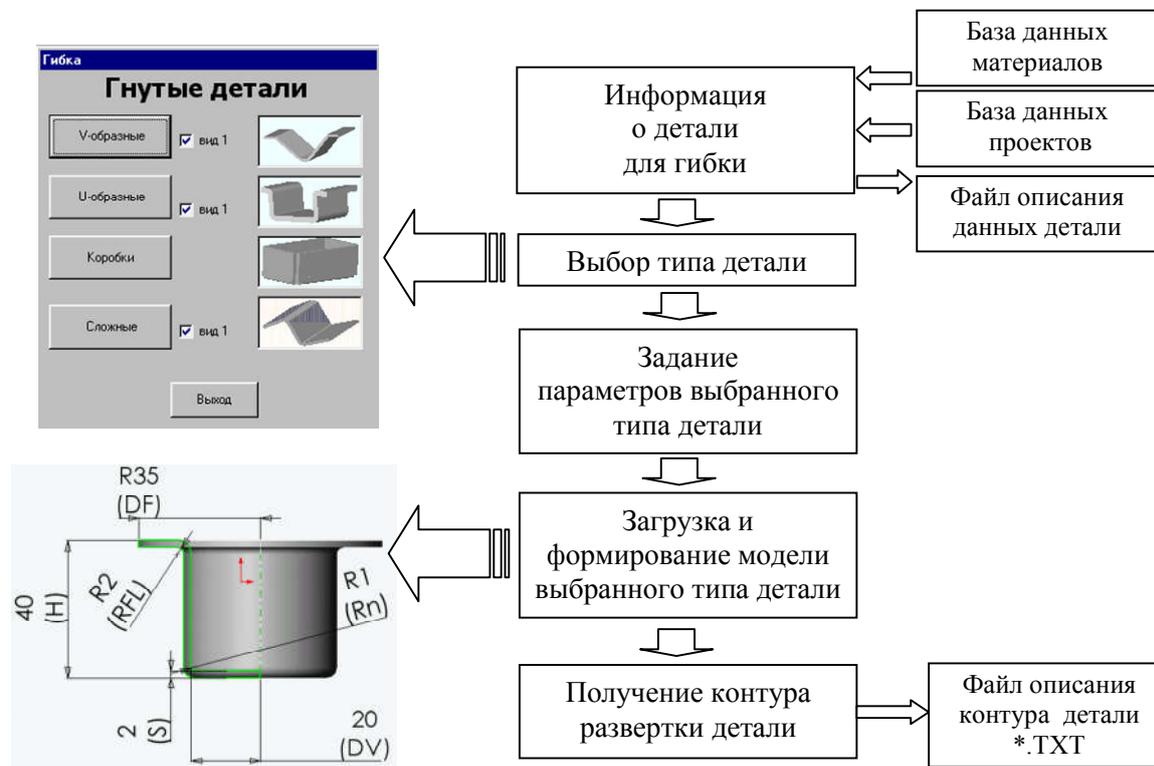


Рис. 1. Параметризованная модель и схема работы программы «Технология вытяжки» на этапе проектирования гнутых деталей

Параметризация может быть применена как к отдельной детали, так и к сборке. Параметризованная сборка позволяет задавать тип соединения деталей, например задание соосности или общей плоскости касания, что обеспечивает сохранение взаиморасположения деталей при изменении параметров деталей сборки.

Создание сборки осуществляется на основе ссылок на детали, составляющие сборку. При работе над сборкой можно модифицировать ее детали либо в контексте сборки, либо как отдельные файлы. Объемный прототип сборки обеспечивает:

- автоматическое получение сборочного чертежа по указанию линии разреза;
- автоматическое обновление сборочного чертежа при модификации элементов сборки;
- проверку сборки на пространственные коллизии.

Эффективность проектирования типовых конструкций может быть повышена с помощью работ с таблицами типоразмеров, базами данных (БД) и с библиотеками параметризованных типовых элементов и их узлов.

## 2. Оценка применения методов параметризации к проектированию машиностроительных конструкций

Идея параметризации компьютерной модели детали либо сборочной единицы актуальна, так как объект конструирования постоянно меняется: возникают новые идеи, выявляются ошибки, меняются условия производства и прочие факторы, постоянно приводящие к измене-

нию конструкции. Чтобы эта идея работала, необходимо описать конструкцию объекта набором размерных характеристик, определяющих геометрию объекта, условия взаимосвязей и взаимоотношений отдельных элементов между собой [4]. При этом набор параметров, которые описывают способ построения геометрии объекта, не совпадает с набором технических размеров, определяющих функционирование и изготовление объекта конструирования. В сущности, задача параметризации конструкции на практике означает создание алгоритма, который должен обеспечивать синтез конструкции из отдельных геометрических элементов (метод твердотельного моделирования), предусматривать возможности модификации конструкции в определенном диапазоне, описывать законы функционирования конструкции, отражать определенную технологию ее изготовления. Несмотря на кажущуюся простоту, реализация данной задачи может быть сложной даже для относительно простых устройств, например таких, как технологическая оснастка (приспособления, штампы, пресс-формы).

Исследования показывают, что область варьирования размерными характеристиками значений параметров в рамках принятых конструктивных решений имеет ограничения [2]. Существенное изменение параметров нередко требует принятия других, новых конструктивных решений и соответственно ломки всего алгоритма параметризации конструкции, что означает переработку ее компьютерной модели. Практика моделирования объектов в среде различных CAD/CAM-систем показывает, что если средства параметризации не являются навязанными, т. е. ведутся системой автоматически, и если система располагает средствами управления деревом создания модели, то аппарат параметризации помогает конструктору в поиске вариантов конструктивных решений, в поддержке ассоциативных связей между геометрической моделью конструкции, ее чертежом, программой ЧПУ, конечно-элементной расчетной моделью. Естественно, ассоциативность по всей цепочке «деталь – оснастка – программа ЧПУ» имеет смысл только в рамках технически допустимого изменения параметров конструкции.

Для повышения эффективности использования всего арсенала средств CAD-систем и рациональной организации процессов проектирования новых изделий и технологий оснастки для их производства необходимо более детально исследовать возможности параметризации и предложить схему ее применения.

### **3. Автоматизированное параметрическое проектирование конструкций в интегрированной среде CAD-систем различного уровня**

Для классов типовых конструкций, для которых возможно построение алгоритма автоматизированного синтеза, аппарат параметризации можно рассматривать как средство разработки прикладных специализированных систем конструирования [3]. В качестве примера можно рассмотреть программный комплекс для листовой штамповки «Технология вытяжки» (см. рис.1). В процессе работы над программным комплексом выполнен анализ существующих методов и средств параметризации и поиск алгоритмов применения этих методов и средств в данной конкретной области. Предложен вариант обмена данными между внутренней таблицей и средой Microsoft Excel. Результаты решения подобной задачи могут быть эффективно использованы для других параметрических CAD-систем в области конструирования типовых конструкций. Поэтому возникла необходимость решения задачи адаптации полученного алгоритма в среде различных CAD-систем. Поскольку в данном случае речь идет о создании прикладных систем, то сразу же встает вопрос переносимости данных в среду различных CAD/CAM-систем, что соответственно требует изучения проблемы совместимости этих систем по средствам параметризации.

Рассмотрим процесс решения перечисленных задач на примере параметрического конструирования пресс-форм (ПФ) для литья под давлением изделий из пластмасс в интегрированной среде двух CAD-систем.

Проектирование пластмассовых изделий и ПФ для их литья требует работы как с оригинальными конструкциями (дизайн изделия), так и с типовыми, каковой является ПФ. Современные системы моделирования высокого уровня, к которым относится САПР, позволяют обеспечить специальные требования к дизайну, эргономике либо аэродинамике изделия методами поверхностного и твердотельного моделирования. Проектирование типовых деталей ПФ

возможно на основе инструментов параметризации как самих деталей, так и их сборок. Каждый из этих этапов проектирования требует разработки соответствующих методов работы с компьютерными моделями изделия и ПФ.

Идеальным следует признать такой вариант оснащения предприятия, когда все его подразделения работают на единой программно-технической платформе. На практике предприятия имеют системы различных классов. В таких случаях распределение этапов работ между системами проектирования выполняется с учетом специфики решаемых задач и возможностей имеющихся средств компьютерного моделирования. К примеру, предприятие имеет одно автоматизированное рабочее место (АРМ), оснащенное системой высокого уровня (например, САПР, которая обеспечивает разработку дизайна изделия), и несколько АРМ, оснащенных системами среднего уровня (например, Mechanical Desktop для разработки ПФ и конструкторской документации).

При параллельной работе конструктора изделия и конструктора-прессформиста над созданием пространственной модели изделия и модели конструкции ПФ целесообразно придерживаться следующих правил:

- выполнять разработку дизайна изделия и получение формообразующих поверхностей деталей ПФ в системе высокого уровня;

- типовые решения конструкции ПФ (например, размещение колонок, болтов, выбор пакета плит, охлаждения и пр.) разрабатывать в системе Mechanical Desktop.

Для обеспечения функционирования такой интегрированной среды необходимо:

- создать пользовательские приложения на базе библиотек параметризованных деталей в среде каждой из систем;

- организовать процесс проектирования ПФ при рациональном распределении проектных задач между системами разного уровня.

В качестве примера рассмотрим процесс сборки в среде Mechanical Desktop при работе над ПФ. ПФ представляет собой достаточно типовую конструкцию из унифицированных деталей. За исключением формообразующих поверхностей матрицы и пуансона, детали ПФ представлены телами простой геометрической формы. Для организации проектирования ПФ в среде Mechanical Desktop выполнены следующие работы. Созданы сборка одного из типов конструкции ПФ и библиотека параметризованных деталей, входящих в состав этой сборки. Система обеспечивает параметризацию отдельных деталей и создание таблиц значений параметров, которые позволяют формировать несколько типоразмеров данной конструкции. Каждая деталь сборки представляет собой пространственную твердотельную модель с нанесенной сеткой параметров. Для получения детали необходимо создать контур, задать размеры контура через переменные, затем на контуре выполнить построение пространственной модели. Каждая операция 3D-моделирования системы (выдавливание, создание массива элементов и др.) может быть параметризована. Система позволяет выполнять параметризацию на любом этапе проектирования. С каждой деталью связана таблица параметров, содержащая описание всех типоразмеров детали (рис. 2 и рис. 3). При этом обеспечивается возможность введения зависимостей параметров, что позволяет задавать зазоры между деталью и посадочным местом под нее, определять взаиморасположение элементов детали друг относительно друга и т. д. Как и в других системах пространственного моделирования, при выполнении операции создания геометрического элемента возможно задание не только численного значения параметра, но и переменной, описывающей его. Одним из недостатков системы является отсутствие возможности работы с симметричными элементами детали. Его легко устранить добавлением недостающего размера для симметричного элемента или путем применения функции «Создание массива» (или «array» в англоязычном варианте).

При работе с параметризованной деталью необходимо уделить внимание точкам и элементам фиксации контура, так как при изменении значения размера может происходить деформация контура или смещение детали в пространстве (рис. 4). При необходимости для фиксации в пространстве центра детали применяются дополнительные элементы. При этом необходимо учитывать, что система может зафиксировать элемент в пределах ограниченного множества характерных точек элемента (конечной, пересечения, центра и т. д.).



Рис. 2. Параметризованная деталь (слева) и таблица глобальных параметров (справа), созданные в среде CATIA

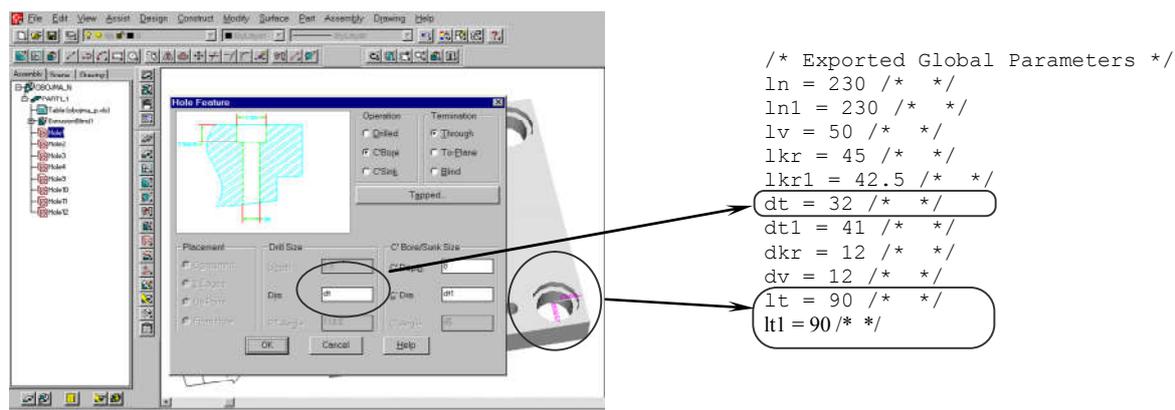


Рис. 3. Параметризованная деталь (слева) и таблица глобальных параметров (справа), созданные в среде Mechanical Desktop

В процессе параметризации в 3D-системе формируется таблица параметров, которая хранится в модели проектируемого объекта. Системы работают с двумя типами таблиц параметров.

Таблица параметров активной детали обеспечивает выбор текущего значения параметров детали. Она может содержать несколько типоразмеров и быть скопирована во внешний файл в формате Excel (см. рис. 4). Аналогичные средства работы с таблицами параметров активной детали предлагают практически все современные CAD-системы (см. рис. 3).

При работе со сборками возникает необходимость в соблюдении взаимного расположения элементов деталей. Для этого используются ссылки на общую таблицу, которая может содержать как переменные, так и формулы. Это позволяет выдерживать зависимость параметров детали и посадочного места для ее размещения. В качестве примера на рис. 4 показаны опора, контролкатель, плита опорная и плита толкания ПФ.

Таблица глобальных параметров доступна для всех деталей модели сборки. Содержание таблицы может быть скопировано в файл текстового формата с расширением \*.rgm. Таблица хранит текущий типоразмер всех деталей в конкретной модели сборки. Данные из одной таблицы в процессе работы над деталью могут быть скопированы в другую. Параметры и их зна-

чения могут добавляться по мере необходимости. Значения параметров из таблицы «Активные параметры детали» имеют приоритет по отношению к значениям параметров из таблицы «Глобальные параметры». Mechanical Desktop, как и любая система пространственного моделирования (среднего и высокого уровня), в качестве источника параметров может применять любой заранее подготовленный файл соответствующего формата. В качестве такого файла может использоваться файл параметров, созданный в другой системе, однако при обмене данными необходимо учитывать отсутствие единого формата обмена, в то время как каждая система имеет строгие требования к входному формату.

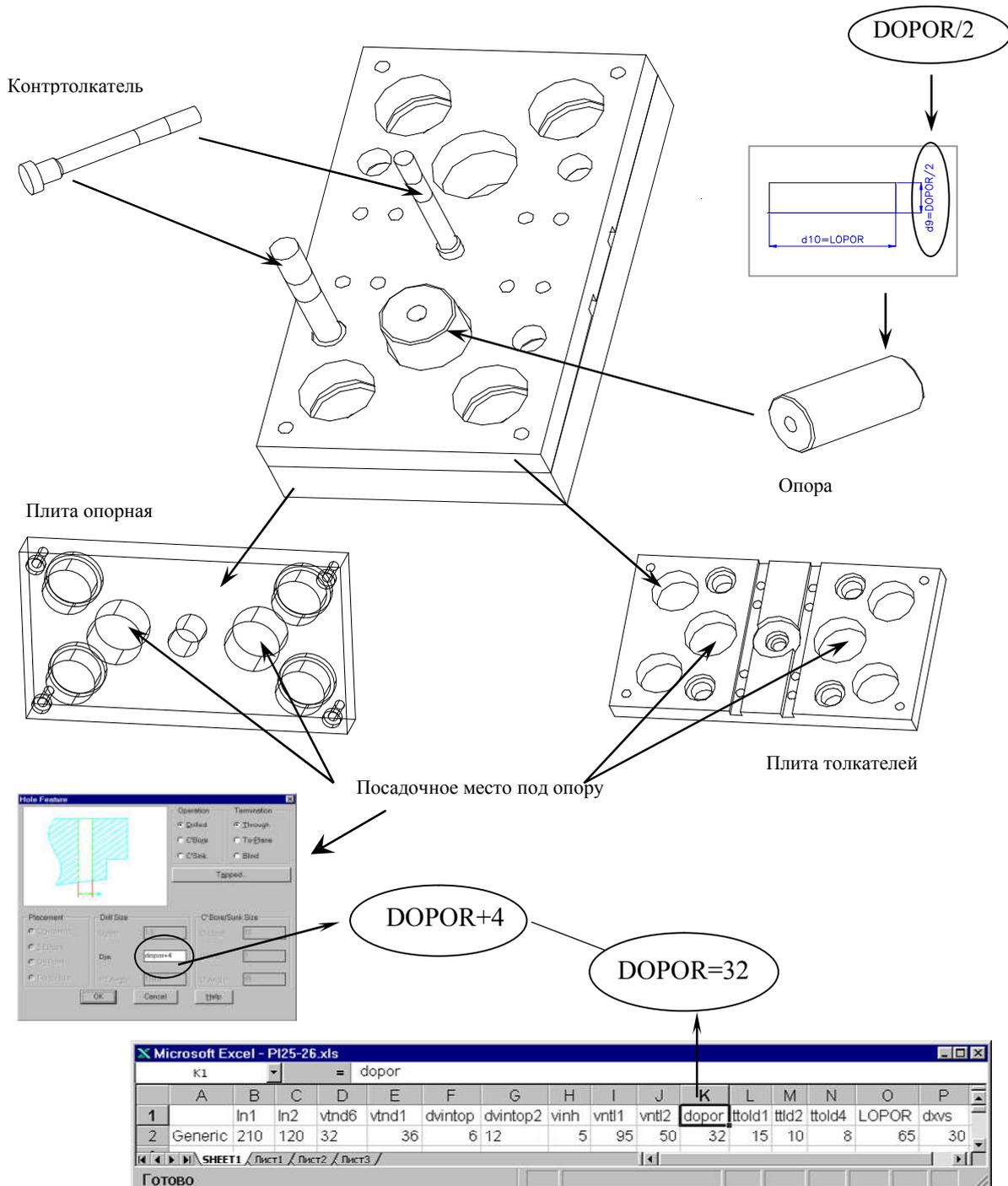


Рис. 4. Связи между параметрами деталей в среде Mechanical Desktop

Решением данной проблемы может быть создание программного интерфейса. Например, для программного комплекса «Технология вытяжки» выполнен интерфейс на языке Visual Basic, позволяющий обновлять значения параметров детали на основе данных из внешнего файла Excel и записывать данные из внутренней таблицы параметров детали Solid Works в файл Excel, используемый для обмена данными между модулями комплекса.

Для организации работы в интегрированной среде систем различного уровня, например САТІА-Mechanical Desktop, в каждой системе созданы параметризованные детали матрицы и пуансона. Применяемая параметрическая модель САТІА согласована с параметрической моделью соответствующих деталей ПФ в Mechanical Desktop. В процессе параметризации детали в САТІА формируется таблица параметров детали, которая хранится в ее геометрической модели. Таблица глобальных параметров сборки содержит параметры всех входящих параметризованных деталей. Данные таблицы можно скопировать во внешний файл текстового формата с расширением \*.raz\_parm. Этот файл содержит все нанесенные на деталь управляющие параметры и их значения (см. рис. 2).

В общем виде схема работы представлена на рис. 5. Предлагаемая организация проектных работ имеет следующие преимущества:

- возможность распараллеливания работ по проектированию ПФ на двух АРМ в системах различного уровня;
- наличие единой среды для разработки внешней формы изделия, матрицы, пуансона, последующей разработки управляющих программ ЧПУ для их изготовления;
- возможность устранения искажения информации при передаче информации между системами.

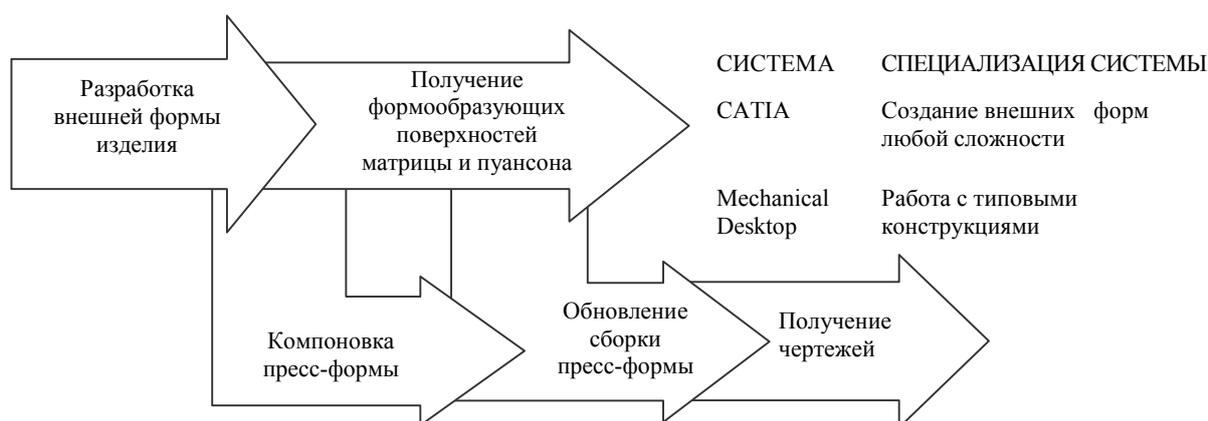


Рис. 5. Схема проектирования ПФ в интегрированной среде САТІА – Mechanical Desktop

Для обеспечения взаимодействия и параллельной работы двух систем моделирования (САТІА и Mechanical Desktop) должны выполняться следующие условия:

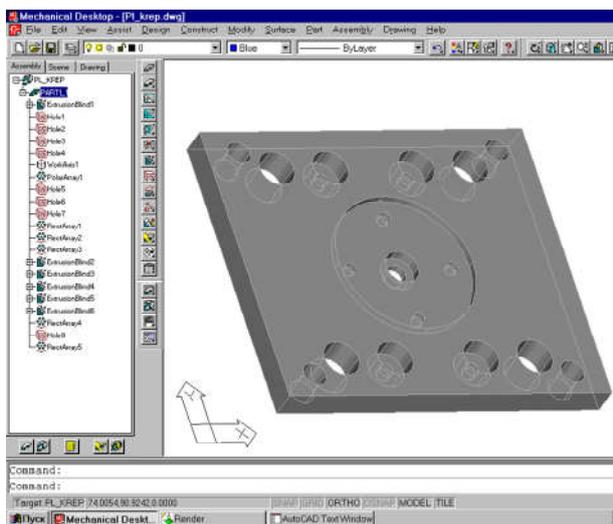
- параметризация соответствующих деталей ПФ в каждой из систем по единой схеме;
- корректная передача в среду Mechanical Desktop файлов таблиц параметров деталей ПФ из САТІА.

Рассмотрим решение этой проблемы на примере организации процесса проектирования ПФ в среде Mechanical Desktop. Как уже упоминалось выше, Mechanical Desktop позволяет использовать файл параметров из другой системы моделирования. Формат записи в системах текстовых файлов параметров в общем случае имеет следующий вид: <переменная> = <значение>. Разница создается за счет присутствия/отсутствия специальной шапки в файле Mechanical Desktop, символа конца строки, разделителя переменной и значения. Большинство систем обеспечивают работу с несколькими типами таблиц, которые могут храниться в определенном формате: Excel, текстовый формат. В Mechanical Desktop для работы с ПФ используется текстовый файл. Разница в формате устраняется конвертером, обеспечивающим преобразование форматов. Конвертер позволяет обновлять значения параметров сборки. Поскольку Mechanical Desktop и AutoCAD совместимы, программы для AutoCAD хорошо адаптируются для

Mechanical Desktop. Поэтому работа программ для формирования чертежей и остальной технической документации может сочетаться с построением 3D-модели на основе выходных данных этих программ.

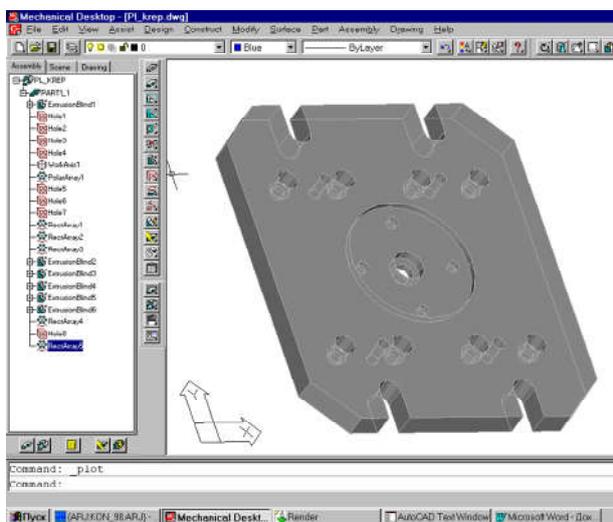
При проектировании ПФ пространственная модель позволяет проверять правильность конструкции. Конструкции ПФ конкретного предприятия содержат определенное число вариантов взаиморасположения и типоразмеров деталей. При работе с ПФ таблицы деталей конструкции можно объединять, что облегчает процессы корректировки и отслеживания вносимых изменений. Некоторые варианты конструкций деталей ПФ могут быть объединены. Например, для фланца на плите крепления базой может быть либо поверхность плиты, либо поверхность отверстия в ней. В таком случае кроме соосности для базового отверстия задаются поверхности плиты и фланца и расстояние между ними в виде формулы с применением коэффициента задания варианта. В качестве источника данных может служить любой файл. Поскольку файлы таблиц (активных параметров) не предусматривают операторов условий, переменные каждого варианта должны отслеживаться вручную или при помощи специального интерфейса.

Рассматриваемая система позволяет получать деталь с варьируемым типоразмером и конструкцией (рис. 6). Каждая деталь имеет ограниченное число конструктивных элементов и их сочетаний. Для задания элемента, который может отсутствовать, необходимо предусмотреть нулевое («0») значение параметров.



```
/* Exported Global Parameters */
```

```
d11 = 300 /* */
db1 = 250 /* */
dflp = 125 /* flanc_pm */
wl6 = 30 /* pl_krn_pm */
bpz = 22 /* pl_krn_paz */
cpk = 40 /* pl_krn_faska */
drfl = 10 /* pl_kr_otv_fl */
byst = 180 /* pl_krn_otv */
b2b1 = 210 /* pl_krn_otv */
axb11 = 140 /* pl_krn_paz */
axb1 = 80 /* pl_krn_otv */
axst = 180 /* pl_krn_otv */
dce = 32 /* pl_krn */
npz_ = 10 /* */
cpk_ = 10 /* */
a2b1_ = 10 /* */
```



```
/* Exported Global Parameters */
```

```
d11 = 300 /* */
db1 = 310 /* */
dflp = 125 /* flanc_pm */
wl6 = 30 /* pl_krn_pm */
bpz = 22 /* pl_krn_paz */
cpk = 40 /* pl_krn_faska */
drfl = 10 /* pl_kr_otv_fl */
byst = 180 /* pl_krn_otv */
b2b1 = 180 /* pl_krn_otv */
axb11 = 140 /* pl_krn_paz */
axb1 = 80 /* pl_krn_otv */
axst = 180 /* pl_krn_otv */
dce = 20 /* pl_krn */
npz_ = 1 /* */
cpk_ = 1 /* */
a2b1_ = 1 /* */
doa = 21 /* */
```

Рис. 6. Работа с параметризованной конструкцией детали при варьируемых типоразмере и составе элементов

Однако операции системы не всегда позволяют задавать «0» в качестве значения параметра. К таким операциям относятся, например, получение отверстий, параметры фаски. Поэтому необходимо предусмотреть задание привязочных параметров элемента, позволяющих выносить элемент за пределы базовой детали. Таким образом, в результате операции объединения или вычитания получаем «0». При этом следует учитывать, что задание отрицательных значений параметров возможно лишь в некоторых операциях (например, при создании массива). Данный способ позволяет получать конструкции с дополнительными отверстиями или без фасок. Все детали конструкции можно условно разделить следующим образом: первая группа – плиты, брусья, которые устанавливаются друг на друга; вторая группа – колонки, втулки, которые устанавливаются в плиты. Каждая из деталей этих групп может иметь различное количество ступеней, т. е. могут отсутствовать или изменяться поверхности взаимодействия с плитой. При позиционировании деталей второй группы в деталях первой необходимо задавать не фиксированные связи между деталями, а формулы с переменными.

Таким образом, для получения сборок требуемых конструкций ПФ необходимо выделить основные базовые конструкции деталей и создать сборки базовых конструкций. Количество вариантов должно быть откорректировано с учетом условия отсутствия зависимостей на возможно отсутствующий конструктивный элемент.

Задание связей между деталями должно вестись с учетом наличия вариантов базирования или вариантов конструкции детали. Такой подход позволяет при разработке сборок конструкции экономить место для хранения ее деталей и создавать более универсальные библиотеки и сборки для типовых конструкций.

### **Заключение**

Современные САД-системы на основе библиотек параметризованных деталей и сборок позволяют создавать адаптированную пользовательскую среду для проектирования технологической оснастки. Приведенные выше методы работы с параметризованными конструкциями и методы обмена данными между системами различного уровня позволяют рассматривать средства параметризации как первый уровень создания прикладных комплексов методических, информационных и программных средств. Это, в свою очередь, даст возможность повысить эффективность использования универсальных САД-систем. Благодаря общности применяемых современными системами средств параметризации приведенная схема интегрированной работы может быть адаптирована к любым системам параметрического моделирования.

### **Список литературы**

1. Бэрэнс, А. Машиностроительное проектирование за прошедшие 35 лет / А. Бэрэнс // CAD/CAM/CAE Observer. – 2006. – № 5. – С. 15–17.
2. Жигулин, В. О том, как твердое тело может быть слишком твердым, или взгляд на параметризацию сбоку / В. О. Жигулин // САПР и графика. – 2000. – № 1. – С. 87–90.
3. Прохорова, А.А. Подходы к синтезу конструкций на базе конструктивных элементов в среде диалоговых систем. / А.А. Прохорова // Моделирование и информационные технологии проектирования. – Минск: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – С. 88–94.
4. Губич, Л.В. Автоматизация процессов проектирования в машиностроении / Л.В. Губич. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2002. – 308 с.

Поступила 15.03.07

*Объединенный институт проблем  
информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: lab115@newman.bas-net.by*

**L.V. Gubich, A.A. Prokhorova**

**APPROACHES TO AUTOMATIZATION OF TYPICAL CONSTRUCTIONS  
DESIGNING ON THE BASIS OF CAD SYSTEM PARAMETRIZAION TOOLS**

Abilities of modern systems are described, schemes of work on the basis of parameterized models are considered. The schemes allow increasing efficacy of typical construction development. As examples mold forms to produce plastic products and die forms for sheet metal are considered.