

## О создании 3D-мини-САПР на базе унифицированных программных комплексов 3D-моделирования

О.В. Миловзоров<sup>1</sup>, Н.В. Грибов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, 390005, Россия

### Аннотация

Рассматриваются вопросы разработки узкоспециализированных мини-САПР 3D-моделирования, базирующихся на основе отечественного программного комплекса трехмерного твердотельного моделирования T-Flex CAD 3D. Параметрические САПР системы обеспечивают создание библиотек стандартных деталей, в частности, крепежных, на основе одной единственной базовой 3D-модели такой детали. Однако вопросы использования таких систем для формирования 3D-моделей комплексных деталей, обеспечивающих полуавтоматическое формирование параметрических 3D-моделей конкретных исполнений для групп конструктивно-подобных деталей, не проработаны. Рассматриваются вопросы методики формирования комплексных деталей, их формализованного описания в виде системы кортежей конструктивных элементов, составляющих деталь, принципы формирования 3D-моделей комплексных деталей с использованием инструментов, предоставляемых системой T-Flex CAD 3D, а также интерфейса, обеспечивающего удобный ввод конфигурации конкретной детали и задание численных значений ее конструктивных параметров.

### Ключевые слова

T-Flex CAD, многоступенчатые валы, параметрические 3D-модели, мини-САПР.

## On the Creation of 3D Mini-CAD System Based on Unified 3D Modeling Software Systems

O.V. Milvovzorov<sup>1</sup>, N.V. Gribov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan, 390005, Russia

### Abstract

We are considering the development of highly specialized 3D modeling mini-CAD 3D system based on the domestic software complex of three-dimensional solid modeling T-Flex CAD 3D. Parametric CAD systems create libraries of standard parts, particularly fastening parts, based on a single base 3D model of such a part. However, the issues of using such systems to form 3D models of complex parts that provide semi-automatic formation of parametric 3D models of specific versions for groups of structurally similar parts have not been worked out. You will learn how to create complex parts, how to formalize them in the form of a tuple system of the features that make up the part, how to create 3D models of complex parts using the tools provided by T-Flex CAD 3D, and the interface that allows you to easily enter the configuration of a specific part and set numerical values for its design parameters.

### Keywords

T-Flex CAD, multistage shafts, parametrical 3D models, mini-CAD systems.

ГрафиКон 2022: 32-я Международная конференция по компьютерной графике и машинному зрению, 19-22 сентября 2022 г., Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, Россия

EMAIL: milovzorov\_542@inbox.ru (О.В. Миловзоров); gribov112@yandex.ru (Н.В. Грибов)

ORCID: 0000-0002-3094-3777 (О.В. Миловзоров); 0000-0003-2861-9115 (Н.В. Грибов)



© 2022 Copyright for this paper by its authors.  
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

## 1. Введение

К настоящему времени имеется большое количество программных комплексов, обеспечивающих трехмерное твердотельное моделирование самых различных объектов, и, в первую очередь - машиностроительных деталей, узлов и изделий в целом [1,2]. На рынке ПО представлено несколько десятков систем CAD 3D - как зарубежных, так и отечественных. 3D-модели постепенно вытесняют 2D-чертежи из практики машиностроительного производства. Помимо наглядного представления 3D-модель детали обеспечивает такие возможности, как расчет инерционно-массовых характеристик, разработку управляющих программ для станков с ЧПУ, выполнение инженерных расчетов напряженно-деформированного состояния, теплостойкости [3]. Наконец, 3D-модель детали может служить непосредственно для процесса изготовления самой детали, или пластиковой газифицируемой модели ее заготовки на основе аддитивных технологий [4].

Не смотря на большой объем инструментов проектирования, имеющихся в системах 3D-моделирования, процесс создания 3D-модели все равно остается трудоемким. Имеются работы в области создания узко-специализированных САПР, ориентированных на разработку 3D-моделей отдельных машиностроительных деталей и узлов. Такие системы предполагают полуавтоматический процесс проектирования на основе уже имеющейся обобщенной 3D-модели, или специализированной программы САПР, ориентированной на конкретный вид детали [5-8]. На основе таких моделей, в частности, выполняется проектирование типовых деталей и узлов в системе WinMachine. Учитывая современные требования к машиностроительному производству по минимизации времени от получения технического задания до воплощения изделия в металле, а также широкое применение в процессе разработки конструкторской документации унифицированных САПР класса CAD 3D, становится актуальной разработка на базе таких САПР силами самих пользователей более узкоспециализированных мини-САПР, ориентированных на ряд конструктивно-подобных деталей, присущих конкретному предприятию. Данные детали должны иметь сходную конструкцию, отличаться наличием или отсутствием каких-либо конструктивных элементов и их размерными характеристиками. Важным моментом здесь является использование унифицированной системы трехмерного твердотельного моделирования с мощными инструментами параметризации. Среди отечественных систем таковой является комплекс T-Flex CAD 3D. В составе этого комплекса помимо системы CAD имеются системы CAPP и CAM, которые позволяют обеспечить сквозное проектирование комплекта КД и ТД в едином информационном пространстве, что типично для «тяжелых» машиностроительных систем САПР. Кроме того, система CAPP данного комплекса T-Flex Технология имеет средства, позволяющие выполнять полуавтоматическое проектирование маршрутно-операционных технологических процессов на основе техпроцессов-прототипов [9].

## 2. Формирование мини-САПР на базе комплексных деталей и унифицированных систем CAD 3D-моделирования

### 2.1. Мини-САПР на основе комплексных деталей

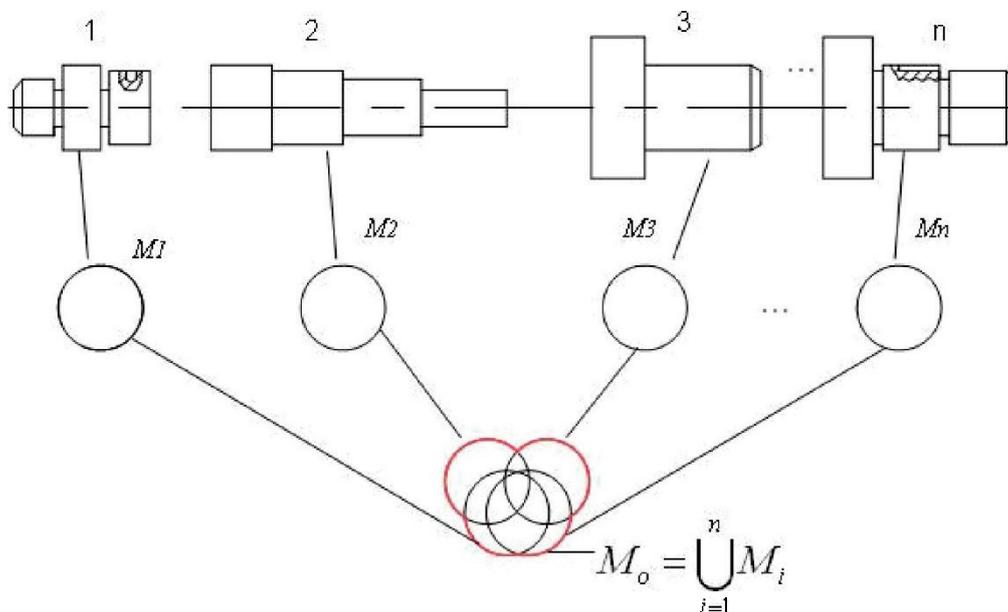
Как правило, при покупке системы 3D-моделирования пользователь может приобрести и набор библиотек стандартных ГОСТированных деталей, таких, как крепежные болты, винты, гайки, шпильки, шплинты, а также более сложные, например, фитинги. Эти библиотеки создаются на основе нескольких базовых параметрических 3D-моделей, обеспечивающих путем ввода конкретных численных значений параметров (чаще всего, из внутренних библиотек) получение модели конкретной детали. Однако модели даже самых простых деталей конструктор все равно вынужден выполнять с самого начала. Современные параметрические системы CAD 3D позволяет формировать такие 3D-модели, в которых отдельные конструктивные элементы могут вводиться в модель или удаляться из нее путем обнуления численных значений параметров данных элементов. Сложностью таких моделей является то, что при этом возможно возникновение ситуаций, когда дальнейшие автоматические построения модели системой

становятся невозможными из-за обнуления опорных элементов, в результате чего модель вырождается.

Определим понятие «мини-САПР», как систему, ориентированную на полуавтоматическую разработку 3D-модели детали на основе параметрической 3D-модели комплексной детали [10].

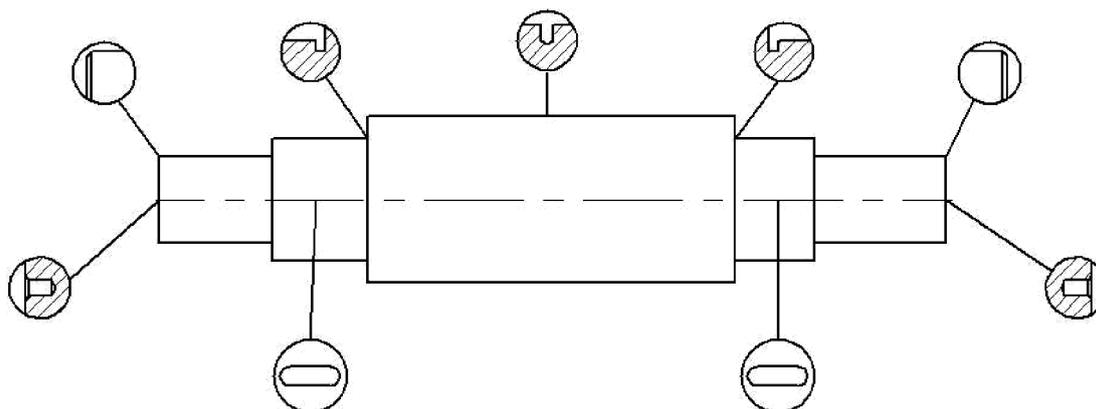
Проиллюстрируем понятие комплексной детали на примере.

Пусть имеется некоторое множество конструктивно-подобных деталей типа (рисунке 1).



**Рисунок 1** – Пример процесса формирования комплексной детали — тела вращения

Каждая деталь имеет свои особенности и описывается множеством конструктивных элементов — обрабатываемых поверхностей. Хотя детали и отличаются по конструкции, тем не менее, они имеют общие поверхности и могут быть обработаны на основе типового технологического маршрута. Объединение всех поверхностей в множество  $M$  формирует комплексную деталь, включающую в себя все возможные сочетания поверхностей для всех конструктивно-подобных деталей, входящих в группу (рисунок 2).



**Рисунок 2** – Модель комплексной детали - тела вращения, представленная в виде базового конструктива и элементов конструктивного обогащения

При построении комплексной детали целесообразно выделить так называемый базовый конструктив, т.е. основные формообразующие поверхности и элементы конструктивного обогащения, выполняемые на уже сформированном базовом конструктиве. По сути это соответствует порядку выполнения технологических переходов изготовления детали. Причем, конструктивный элемент может как присутствовать в конкретной детали, так и нет [9].

Если комплексная деталь имеет не только наружные цилиндрические поверхности (ступени вала), но и внутренние, модель комплексной детали тела вращения, модель можно представить в виде множества  $M_O$  :

$$M_O = \bigcup_{i=1}^I S_{cexi} + \bigcup_{j=1}^J S_{cinj},$$

где  $S_{cexi}$ ,  $S_{cinj}$  —  $i$ -я цилиндрическая внешняя и  $j$ -я цилиндрическая внутренняя поверхности, соответственно, а сами внешние и внутренние цилиндрические поверхности, которые помимо собственно цилиндрической поверхности, могут иметь такие дополнительные конструктивные элементы, как фаску, канавку, поперечное отверстие, продольное отверстие (центр) и шпоночный паз, в свою очередь, описываются подмножествами кортежей соответствующих параметров

$$M_{Scexi} = S_{Scexi} + F_{Scexi} + G_{Scexi} + CH_{Scexi} + LH_{Scexi} + SL_{Scexi},$$

$$M_{Scexj} = S_{Scexj} + F_{Scexj} + G_{Scexj} + CH_{Scexj} + LH_{Scexj} + SL_{Scexj},$$

где  $S_{Scexi}$  и  $S_{Scexj}$  — кортежи параметров  $i$ -й и  $j$ -й цилиндрических поверхностей (shaft stage — ступень вала);

$F_{Scexi}$  и  $F_{Scexj}$  — кортежи параметров фасок (facet — фаска)  $i$ -й и  $j$ -й цилиндрических поверхностей;

$G_{Scexi}$  и  $G_{Scexj}$  — кортежи параметров канавок (groove - канавка)  $i$ -й и  $j$ -й цилиндрических поверхностей;

$CH_{Scexi}$  и  $CH_{Scexj}$  — кортежи параметров поперечных отверстий (cross hole — поперечное отверстие)  $i$ -й и  $j$ -й цилиндрических поверхностей;

$LH_{Scexi}$  и  $LH_{Scexj}$  — кортежи параметров продольных отверстий (longitudinal hole — продольное отверстие)  $i$ -й и  $j$ -й цилиндрических поверхностей;

$SL_{Scexi}$  и  $SL_{Scexj}$  — кортежи параметров пазов (slot — паз)  $i$ -й и  $j$ -й цилиндрических поверхностей;

$I$  и  $J$  — общее количество цилиндрических внешних и внутренних поверхностей, соответственно.

Процесс формирования конструктивных элементов, образующих конкретную деталь, на основе комплексной детали, таким образом, заключается в том, что из множества конструктивных элементов комплексной детали МО исключаются отдельные базовые формообразующие элементы (для тел вращения это — ступени вала, например, крайняя правая и крайняя левая) и отдельные элементы конструктивного обогащения. При этом исключение базового формообразующего элемента автоматически приводит к пустому соответствующему множеству и удалению из модели всех привязанных дополнительных конструктивных элементов. Учитывая возможности системы T-Flex Технология и ее инструменты на основе разработки так называемых расчетов (по сути — небольших программ, выполняющих различные функции для автоматизированного проектирования техпроцесса), такое описание комплексной и конкретной деталей позволяют обеспечить процесс полуавтоматического проектирования технологического маршрута, операций и переходов.

Таким образом, первая стадия создания мини-САПР заключается в обобщении конструкций группы деталей и создании модели комплексной детали.

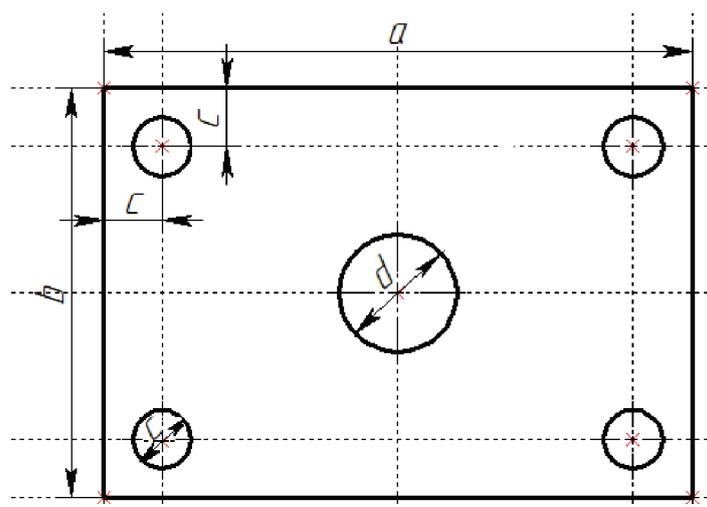
## 2.2. Определение порядка следования построений параметрической 3D-модели комплексной детали

Следующей стадией создания мини-САПР является определение порядка построения элементов будущей 3D-модели комплексной детали. В параметрической модели все элементы формируются относительно ранее выполненных, любая ошибка может привести в дальнейшем к вырождению модели. В моделях тел вращения каждая последующая ступень должна формироваться относительно предыдущей. Так, для модели, представленной на рисунке 2,

первой должна быть сформирована ступень наибольшего диаметра, затем относительно нее формируются близлежащие ступени справа и слева, а относительно последних — крайние правая и левая ступени.

В корпусных деталях очень важно предварительно определить формирование размерных связей. Рассмотрим простейший пример. Пусть необходимо сформировать модель плиты с центральным и четырьмя угловыми отверстиями (рисунок 3).

Деталь симметрична. Поэтому верхняя, нижняя, правая и левая стороны лучше сформировать относительно центра симметрии. Далее, если с формированием центрального отверстия проблем не возникает, т.к. оно определяется центром симметрии, то угловые отверстия могут на машиностроительных чертежах определяться путем указания межосевого расстояния. Для 3D-модели же целесообразнее определить их местоположение относительно краев детали. В этом случае вырождение модели не произойдет, как это может быть, если стороны детали окажутся меньше межосевого расстояния, введенного ошибочно.



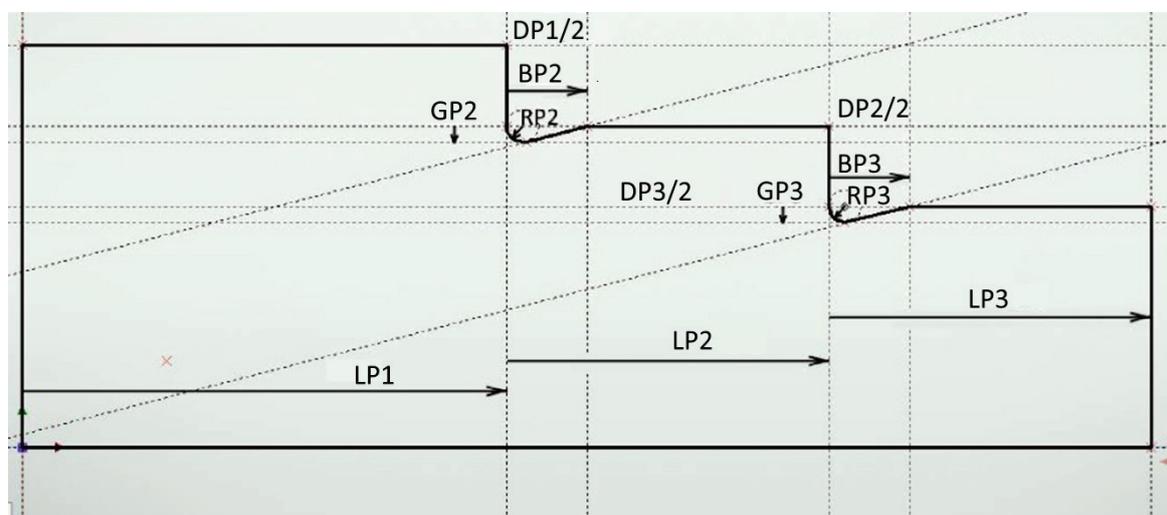
**Рисунок 3** – К формированию размерных связей корпусных деталей

В принципе, построение параметрической модели корпусной детали — достаточно сложный творческий процесс, реализация модели возможна с применением различных объемных операций и в разной последовательности. Тем не менее, говоря о модели комплексной детали, можно сформулировать некоторые правила ее формирования. Прежде всего, модель целесообразно формировать, исходя из центра симметрии. Боковые стороны в этом случае определяются половинными габаритными размерами. Порядок формирования 3D-модели комплексной несколько подобен порядку реализации технологического процесса ее производства: сначала формируется заготовка, затем в ней вырезаются различные полости, карманы, затем в полостях формируются отверстия. В некоторых случаях возникает необходимость во введении дополнительных конструктивных элементов, таких, например, как бобышки. Тогда целесообразно выполнить «наращивание» дополнительных элементов в модель, что, переходя к технологии, могло бы соответствовать навариванию или припайке дополнительных конструктивных элементов.

Принципом удаления «лишних» конструктивных элементов комплексной детали является присвоение соответствующим параметрам нулевых значений, в связи с чем формирование 3D-модели должно выполняться таким образом, чтобы «лишний» элемент просто исчезал, не вызывая при этом вырождения всей 3D-модели, остальные же геометрические элементы принимали необходимые численные значения. Здесь важно иметь в виду то, что дополнительные построения конструктивных элементов, выполняемые относительно базового, должны обнуляться вместе с параметрами базового конструктивного элемента, например, отверстия, выполняемые в пазу, должны исчезать вместе с отсутствующим пазом.

Комплексные детали типа тел вращения возможно формировать двумя способами: путем вращения полностью сформированного контура, включающего собственно цилиндрическую

поверхность, канавку и фаску, или путем «наращивания» количества ступеней вала с использованием булевого сложения. В случае формирования тела вращения первым способом порядок выполнения геометрических элементов, обеспечивающий сохранность модели при обнулении отдельных параметров, должен быть следующим (рисунок 4).



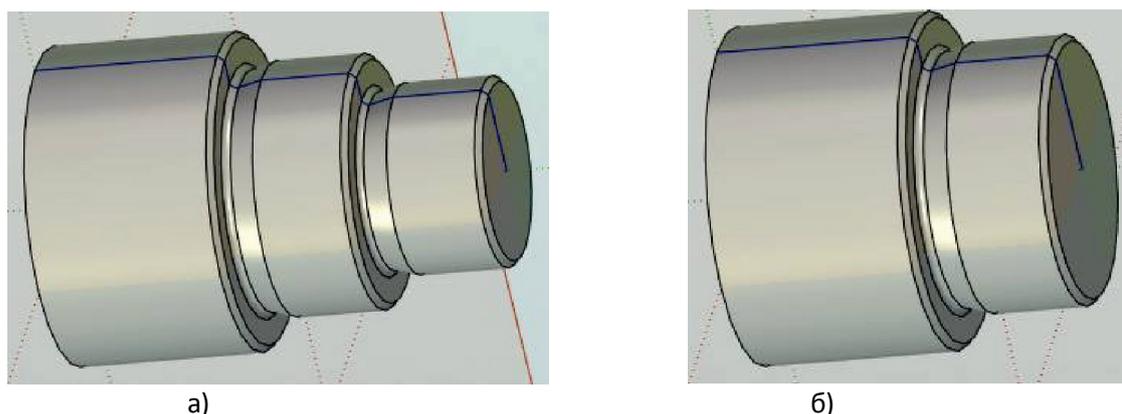
**Рисунок 4** – Параметрические связи при формировании линий построения контура тела вращения

- 1) Горизонтальные линии построения диаметральных размеров ступеней вала DP, выполняются относительно оси в любой последовательности;
- 2) каждая вертикальная линия построения, определяющая длину ступени вала LP, строится относительно края предыдущей ступени;
- 3) канавки формируются через параметр «глубина» GP, измеряемый относительно диаметральной линии построения данной ступени вала;
- 4) вертикальные линии, определяющие ширину канавок BP, выполняются относительно границы ступени вала ближайшего большего диаметра;
- 4) окружность, формирующая радиус скругления канавки, строится как касающаяся линии глубины и края большей ступени.
- 5) фаски комплексной детали (на рис. 4 не показаны) строятся параметрически с использованием команды «фаска» и параметром «ширина фаски» LFP, *i*-й ступени.

Важным моментом тут является то, что абсолютно все параметры должны быть заданы переменными с возможностью присвоения им численных значений, включая и нулевые, любое отклонение от этого правила (например, заданный по умолчанию радиус скругления, равный, допустим, 1 мм) приведет к вырождению 3D-модели конкретного вала в случае исключения из комплексной детали «лишних» ступеней.

На рисунке 5 показаны сформированное 3D-тело фрагмента комплексной детали (а) и модифицированная модель с обнулением параметров отсутствующей третьей правой ступени вала (б).

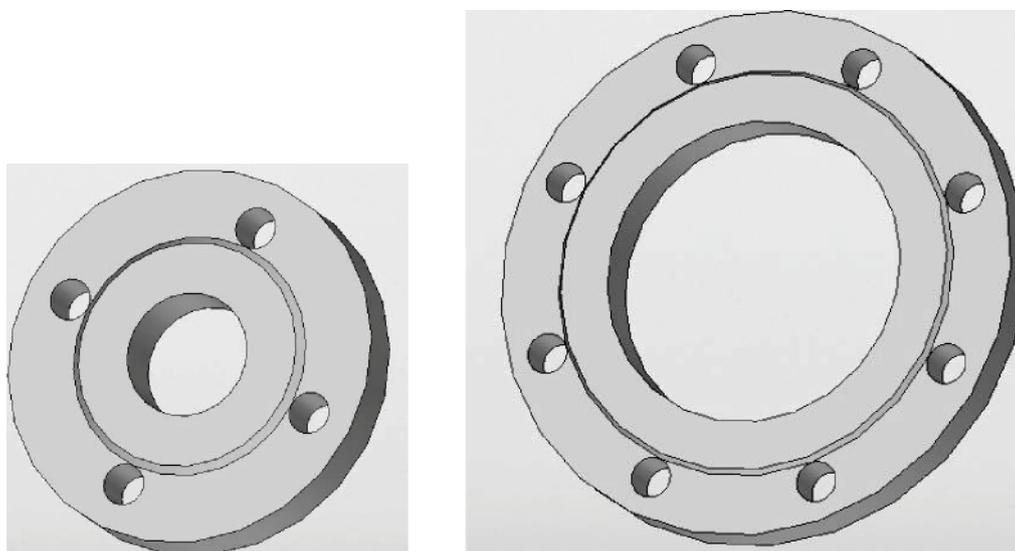
Касаемо типовых конструктивных элементов, имеющих одинаковые параметры — такие, например, как отверстия, выемки, бобышки, то для их реализации в 3D-модели комплексной детали целесообразно использовать операции массивов. В комплексе T-Flex CAD 3D имеются инструменты для формирования как массивов 2D-геометрических элементов, так и 3D-фрагментов. Отверстия могут быть сформированы в виде стандартизованных конструкторских элементов 3D с помощью операции «Отверстие». Другие же конструкторские элементы, в том числе, и отверстия формы, отличающейся от регламентированной ГОСТами, могут быть выполнены обычным порядком через рисование на рабочих плоскостях с дальнейшим использованием одной или нескольких объемных операций.



**Рисунок 5** – Фрагмент комплексной детали (а) и модифицированная модель с удалением 3-й ступени (б)

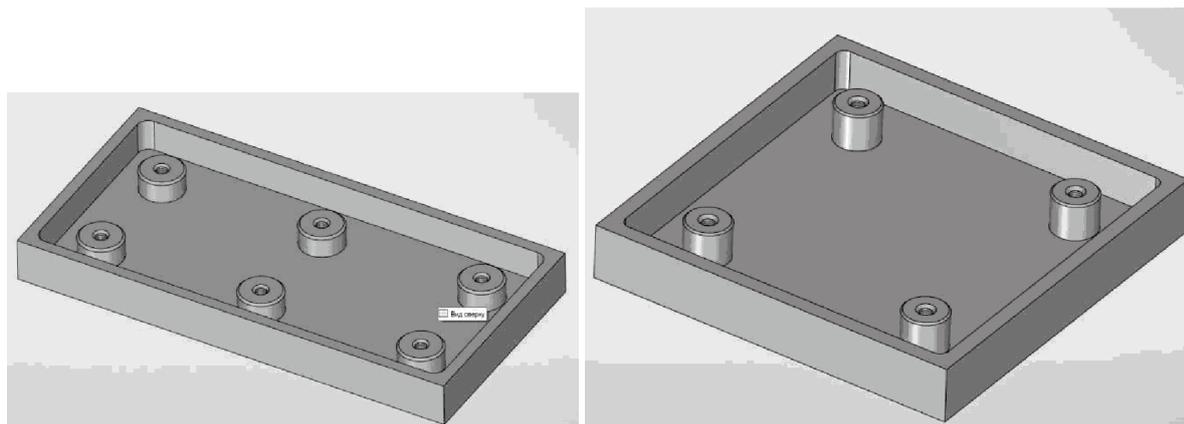
Массивы могут быть круговыми или линейными. И те, и другие могут задаваться параметрически, что обеспечивает возможность изменения как формы и размеров конструктивного элемента, так и их количества и расположения.

На рисунке 6 показаны две модификации детали «фланец», выполненные на основе 3D-модели комплексной детали. Здесь использовался инструмент «круговой массив» и параметрически изменялись геометрические размеры и соответствующее этому изменению различное количество отверстий. Варианты исполнения выбирались, исходя из требований ГОСТ 33259-2015. Численные значения параметров различных модификаций детали были оформлены в виде внутренней базы данных T-Flex CAD, подключенной к 3D-модели комплексной детали. Поскольку отверстия сквозные простейшей формы, использовался массив 2D-элементов «окружность» с дальнейшим выталкиванием.



**Рисунок 6** – Модификации детали "фланец", выполненные автоматически на основе 3D-модели комплексной детали

На рисунке 7 показаны две модификации корпусной детали с бобышками. В данной модели бобышка была сформирована как 3D-тело, а затем в виде 3D-фрагмента использовалась в качестве копируемого элемента для формирования линейного массива, с задаваемыми параметрически количеством строк и столбцов. Все конструктивные размеры корпусной детали заданы параметрически, включая габаритные, толщину стенок, размеры бобышки и расстояние от оси бобышки до стенки.



**Рисунок 7** – Модификации корпусной детали, выполненные автоматически на основе 3D-модели комплексной детали

### 2.3. Формирование таблицы параметров

После того, как определен порядок построений 3D-модели комплексной детали и параметрические зависимости, осуществляется формирование системы параметров и ввод их в таблицу переменных будущей 3D-модели. На этой стадии необходимо выделить глобальные параметры — те, которые определяют габариты и основные конструктивные размеры детали, и параметры, которые могут быть вычислены системой на основе значений базовых параметров. Так, например, в зависимости от резьбы крепежных отверстий могут быть определены размеры бобышки, или толщина стенок корпусной детали, или напротив, габаритные размеры могут определять резьбу крепежа.

Параметрические возможности системы T-Flex CAD позволяют использовать при определении значений параметров самые различные вычислительные операции, включая и целый спектр математических функций, имеющихся в языке C#.

Как показывает опыт, при формировании системы параметров комплексной детали очень важно давать интуитивно понятные наименования переменных, в противном случае будет масса ошибок при построении 3D-модели. Лучше всего заранее составить список всех переменных и продумать комментарии к ним, что позволит избежать таких ошибок.

Целесообразно использовать булевы переменные для обозначения наличия или отсутствия тех или иных конструктивных элементов конкретного исполнения детали. В этом случае при построении модели в качестве параметра, определяющего его численное значение, можно использовать выражения. Пусть, например, параметры третьей правой ступени вала, определены в модели комплексной детали переменными LP3 (длина) и DP3 (диаметр) — см. рисунок 4, которым в таблице переменных присвоены какие-либо численные значения, а переменная, отвечающая за наличие этой ступени в модели — XP3, которая в комплексной детали определена, как логическая единица. Тогда при черчении линий построения данной ступени вместо численного значения следует вводить выражения LP3\*XP3 и DP3\*XP3. Аналогично необходимо поступить и при вычерчивании остальных конструктивных элементов данной ступени вала — канавки, фаски, паза или отверстия. Теперь при использовании 3D-модели комплексной детали для построения конкретной детали без третьей ступени нет необходимости в вводе нулевых численных значений всех конструктивных параметров этой ступени, достаточно лишь ввести ноль для переменной XP3.

### 2.4. Формирование 3D-модели комплексной детали

Следующей стадией создания мини-САПР является собственно формирование 3D-модели комплексной детали. Как уже отмечалось, параметрическое формирование 3D-модели многовариантно, это творческий процесс, определяемый разработчиком, который может использовать самые различные инструменты и операции унифицированной системы

трехмерного твердотельного моделирования, и, в частности T-Flex CAD 3D. Тем не менее, основные принципы создания 3D-модели должны соблюдаться.

Во-первых, абсолютно все построения должны выполняться только параметрически, построение любого элемента — прямой линии, окружности, рабочей плоскости, задание координат точек — должны выполняться с использованием переменных и (или) выражений на основе этих переменных.

Во-вторых, при построении неизбежно возникновение ошибок, поэтому периодически необходимо сохранять промежуточные результаты с тем, чтобы можно было вернуться к корректным построениям.

В-третьих, промежуточное состояние 3D-модели комплексной детали необходимо периодически проверять на корректность путем обнуления параметров отдельных конструктивных элементов — тех, которые могут отсутствовать у модели конкретной детали, выполняемой на основе комплексной и убедиться в том, что 3D-модель не вырождается, а формирует желаемый результат.

По окончании построения 3D-модели комплексной детали следует проверить ее работоспособность путем параметрического формирования на ее основе возможно наибольшего числа вероятных модификаций конкретных машиностроительных деталей.

## 2.5. Разработка интерфейса мини-САПР

На заключительной стадии создания мини-САПР необходимо сформировать интерфейс, позволяющий пользователю в удобном для него виде вводить численные значения параметров конструктивных элементов конкретной детали. В принципе, это можно делать и путем редактирования таблицы параметров, однако такой путь требует особой внимательности пользователя и трудоемок.

В комплексе T-Flex CAD 3D имеется набор инструментов, обеспечивающий формирование интуитивно-понятного интерфейса с необходимыми пояснениями или комментариями.

В качестве примера на рисунке 8 представлен фрагмент такого интерфейса для комплексной детали типа «тело вращения» с пятью возможными ступенями вала.

The image shows a screenshot of a software interface for defining a stepped shaft. It consists of four panels with input fields for various parameters:

- Параметры правых ступеней (Right Steps Parameters):**
  - Step 1: Length 30, Diameter 70, Chamfer length 1.6, Chamfer angle 45.
  - Step 2: Length 50, Diameter 60, Chamfer length 1.6, Chamfer angle 45.
  - Step 3 (checked): Length 20, Diameter 50, Chamfer length 1.6, Chamfer angle 45.
- Параметры канавок правых ступеней (Right Grooves Parameters):**
  - Groove 1 (checked): Width 5, Depth 0.5, Radius 1.6.
  - Groove 2 (checked): Width 5, Depth 0.5, Radius 1.6.
  - Groove 3 (checked): Width 5, Depth 0.5, Radius 1.6.
- Параметры левых ступеней (Left Steps Parameters):**
  - Step 1: Length 55, Diameter 120, Chamfer length 1.6, Chamfer angle 45.
  - Step 2 (checked): Length 40, Diameter 90, Chamfer length 1.6, Chamfer angle 45.
- Параметры канавок левых ступеней (Left Grooves Parameters):**
  - Groove 1 (checked): Width 5, Depth 0.5, Radius 1.6.

Рисунок 8 – Фрагмент интерфейса мини-САПР тел вращения типа «ступенчатый вал»

На рисунке 9 представлен обобщенный алгоритм процесса создания мини-САПР формирования 3D-моделей машиностроительных деталей.

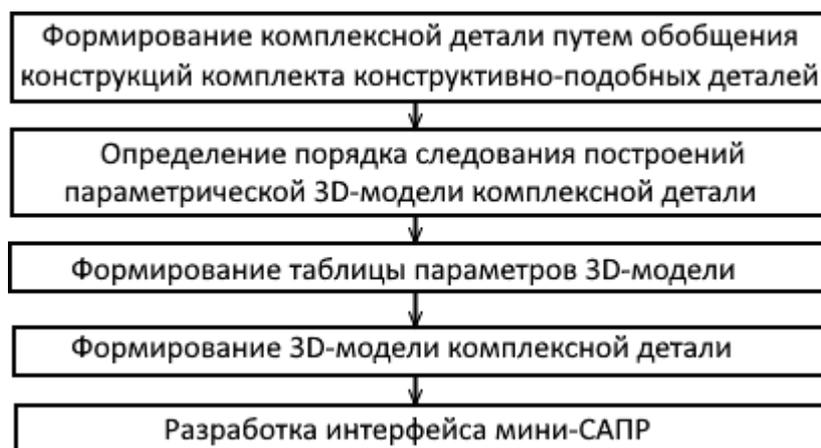


Рисунок 9 – Обобщенный алгоритм создания мини-САПР

Необходимо отметить, что данный обобщенный алгоритм во многом — итерационный, особенно на стадиях 3 и 4, поскольку в процессе создания 3D-модели неизбежно будут возникать ошибки в задании параметрических связей, в выполнении порядка построений, необходимость в корректировке самой модели.

### 3. Заключение

Разработанная методика выполнения мини-САПР на основе комплексных деталей в системе T-Flex CAD 3D позволяет реализовывать самые различные мини-САПР для автоматического формирования 3D-моделей конструктивно-подобных деталей, обеспечивающие существенное облегчение и ускорение процесса проектирования 3D-моделей конструктивно-подобных машиностроительных деталей с возможностью дальнейшей интеграции с системами САМ и САПР.

Таким образом, можно отметить, что процесс развития средств компьютерной графики, начавшись с специализированных программных продуктов, разрабатываемых на конкретных машиностроительных предприятиях силами профессиональных программистов, выполняет эволюционный виток — от полного отказа от «доморощенных» программных продуктов в пользу унифицированных систем САПР к созданию опять же специализированных мини-САПР, но уже силами квалифицированных пользователей САД-систем на базе инструментов, предоставляемых параметрическими системами CAD 3D.

### 4. Список источников

- [1] Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.pointcad.ru/novosti/obzor-sistem-avtomatizirovannogo-proektirovaniya> (дата обращения: 27.07.2022).
- [2] САПР в машиностроении: смена поставщика [Электронный ресурс] // URL: <https://blog.roi4cio.com/2020/10/blog-post.html> (дата обращения: 27.07.2022).
- [3] Обзор CAD/CAM/CAE [Электронный ресурс] // URL: <https://portal.tpu.ru/SHARED/k/KSO/Files/TomskCAD/CAD/CAD.htm> (дата обращения: 27.07.2022).
- [4] Аддитивные технологии в машиностроении //Аддитивные технологии — №2-2022 [Электронный ресурс] // URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-v-mashinostroenii.html> (дата обращения: 27.07.2022).
- [5] Решетникова Е.С., Савельева И.А., Свистунова Е.А. — Геометрическое моделирование и разработка пользовательских библиотек при проектировании объектов машиностроения // Программные системы и вычислительные методы. — 2020. — № 1. — С. 1 - 7. DOI: 10.7256/2454-0714.2020.1.32292 URL: [https://nbpublish.com/library\\_read\\_article.php?id=3229](https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=3229)

- (дата обращения: 27.07.2022).
- [6] Евгеньев Г.Б., Кокорев А.А., Пиримяшкин М.В. Метод генерации 3D моделей в продукционных базах знаний // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 4 (661). С. 38-48.
  - [7] Будяков В.В., Щербина С.В., Горис Т. 3D моделирование в машиностроении // В сборнике: Аспекты развития науки, образования и модернизации промышленности. Материалы XIII региональной научно-практической конференции учреждений высшего и среднего профессионального образования. 2015. С. 277-280.
  - [8] Евгеньев Г.Б., Кокорев А.А., Пиримяшкин М.В. Интеллектуальные системы полуавтоматического проектирования и быстрого прототипирования изделий машиностроения // Евразийский союз ученых. 2015. № 9-2 (18). С. 19-25.
  - [9] Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-FLEX Технология // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2016: сб. тр. межд. науч.-техн. конф: в 4 т. Т.6. (Рязань, 28 февраля — 2 марта 2016 г.). Рязань: РГРТУ, 2016.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 178-182.
  - [10] Миловзоров О.В., Шитова С.М. Принципы построения параметрической 3D-модели тела вращения для группы конструктивно-подобных деталей // Актуальные проблемы современной науки и производства: сб. тр. VI Все рос. науч.-техн. конф. (Рязань, 27-29 декабря 2021 г.). Рязань: РГРТУ, 2021. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2021. С. 383-390.