Мини-САПР 3-D моделирования многоступенчатых валов на основе системы T-FLEX CAD 3D

О.В. Миловзоров¹, Н.В. Грибов¹

¹ Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина, Рязань, 390005, Россия

Аннотация

Рассматривается система для полуавтоматического проектирования 3D-моделей машиностроительных деталей типа "тело вращения" – многоступенчатых валов, выполненная на базе отечественного программного комплекса трехмерного твердотельного моделирования T-Flex CAD 3D. Подобные системы могут быть отнесены к классу мини-САПР. Данная мини-САПР обеспечивает автоматическое формирование 3D-моделей многоступенчатых валов, конструкция которых может включать до семи ступеней, канавки под выход шлифовального круга, фаски и шпоночные пазы. Описаны принципы формирования 3D-модели комплексной многоступенчатой детали, ее система параметров, и особенности геометрических построений. Данная модель включает в себя весь возможный набор конструктивных элементов, при этом 3D-модель конкретного исполнения вала реализуется путем исключения из данной модели лишних ступеней и конструктивных элементов и назначения конкретных размерных параметров оставшимся элементам. Для упрощения процесса ввода описания конкретного исполнения вала в мини-САПР введен пользовательский интерфейс.

Ключевые слова

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

Mini-CAD 3-D Modellings of Multistage Shaftson the Basis of the T-FLEX CAD 3D System

O.V. Milvovzorov¹, N.V. Gribov¹

¹ Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan, 390005, Russia

Abstract

A system for semi-automatic design of 3D models of machine-building parts of the "body of revolution" type - multi-stage shafts, made on the basis of the domestic software complex of threedimensional solid modeling T-Flex CAD 3D, is being considered. Such systems can be classified as mini-CAD. This mini CAD provides automatic formation of 3D models of multi-stage shafts, the design of which can include up to seven stages, grooves for the exit of the grinding wheel, chamfers and key grooves. The principles of forming a 3D model of a complex multi-stage part, its system of parameters, and features of geometric constructions are described. This model includes the entire possible set of structural elements, while the 3D model of a specific design of the shaft is implemented by excluding unnecessary steps and structural elements from this model and assigning specific dimensional parameters to the remaining elements. To simplify the process of entering a description of a specific version of the shaft, a user interface is introduced in the mini-CAD.

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).

(cc)

1. Введение

Современные системы компьютерной графики многократно повысили производительность труда конструкторов и технологов машиностроительных предприятий, позволили существенно ускорить процессы разработки конструкторской документации машиностроительных изделий, избавив при этом от многочисленных ошибок в конструкции благодаря возможности выполнения моделирования как самого изделия, так и процессов его изготовления. На первое место среди программного обеспечения компьютерной графики при этом выдвигаются параметрические системы трехмерного твердотельного моделирования САD 3D, обеспечивающие собственно проектирование деталей, узлов и машиностроительного изделия в целом.

Системы CAD 3D практически вытеснили из практики машиностроительного проектирования системы двухмерного черчения, идет непрерывный процесс их совершенствования, наращивания функциональных возможностей, инструментов для проектирования, совершенствования пользовательского интерфейса. В результате такого развития многие функциональные возможности, присущие ранее лишь «тяжелым» системам, стали доступны теперь в системах CAD среднего уровня, к каковым относятся и ведущие российские системы Компас 3D и T-Flex CAD 3D [1-2].

В настоящее время 3D-модель детали обеспечивает самые широкие возможности как по проектированию технологического процесса ее производства [3-4] и быстрое и качественное проектирование 3D-модели становится чрезвычайно актуальным. Не смотря на возросшие функциональные возможности систем CAD 3D и мощные библиотеки стандартных ГОСТовских деталей, таких, например, как элементы крепежа, любую нестандартную деталь конструктор вынужден проектировать, начиная с нуля. Существенного ускорения процессов проектирования можно добиться при использовании принципов полуавтоматического проектирования, для чего необходима разработка теоретических основ создания таких программных продуктов и сами системы, реализующие данные принципы САПР [5-8]. В этой связи представляет интерес использование мощных унифицированных параметрических CAD 3D систем для создания на их основе пользовательских систем САПР, обеспечивающих полуавтоматическое проектирование 3D-моделей типовых для данного производства деталей.

В машиностроительном производстве как конкретного предприятия, так и отрасли, всегда имеются наборы деталей, имеющих сходную конструкцию, но отличающихся наличием или отсутствием отдельных конструктивных элементов, а также размерами. Одними из таких широко применяемых деталей являются детали типа «тело вращения». На основе функциональных возможностей параметрической системы T-Flex CAD 3D была предпринята разработка мини-САПР многоступенчатых валов, базирующаяся на параметрической 3D модели комплексного вала, имеющего в наличии все типовые конструктивные элементы многоступенчатого вала, такие как, собственно ступени вала, канавки по выход шлифовального круга, фаски и шпоночные пазы. Все эти элементы присутствуют на каждой ступени вала, но, благодаря полной параметризации, могут быть удалены из модели, а оставшимся конструктивным элементам присваиваются конкретные численные значения.

В работах [9, 10] были предложены принципы и методика создания мини-САПР для формирования 3D-моделей деталей типа "тело вращения". В настоящей статье более подробно рассмотрим мини-САПР для полуавтоматического проектирования 3D моделей многоступенчатых валов и ее практическую реализацию на базе программного комплекса российской компании «Топ Системы» T-Flex CAD 3D.

- Первый элемент.
- Второй элемент.
- Третий элемент.

2. Мини-САПР для моделирования многоступенчатых валов

2.1. Состав конструктивных элементов параметрической модели вала

Как уже отмечалось, принципиальной основой формирования 3D-тела конкретного исполнения вала является возможность исключения из обобщенной 3D-модели детали (рисунок 1) "лишних" конструктивных элементов путем присвоения параметрам соответствующих элементов нулевых значений и задания тем элементам, которые должны присутствовать у конкретного вала, требуемых размерных значений. В данной опытной реализации мини-САПР имеется возможность оперирования с:

- параметрами ступеней вала диаметром и длиной; параметрами фасок, заданных в виде длины фаски и угла;
- параметрами канавок под выход шлифовального круга, характеризующихся шириной, глубиной и радиусами скругления;
- параметрами шпоночных пазов, выполняемых концевой фрезой, характеризующихся шириной, длиной, глубиной и установочным размером относительно края ступени вала.



Рисунок 1 – Чертеж комплексной детали – пятиступенчатого вала

Как видно из чертежа, каждая ступень вала содержит все вышеперечисленные конструктивные элементы. Очевидно, что конкретная реальная деталь не будет иметь в наличии все конструктивные элементы обобщенной модели, что в особенности касается шпоночных пазов, но их наличие на каждой ступени позволяет реализовать любой вариант детали. В случае необходимости введения в 3D-модель дополнительных конструктивных элементов, таких, например, как поперечное отверстие, они могут быть реализованы обычными средствами системы T-Flex CAD, основной же конструктив модели будет получен автоматически после ввода пользователем необходимых значений параметров и общее время разработки 3D-модели существенно сократится.

Формирование любого тела вращения в системах САD 3D наиболее просто реализуется с помощью операции "Вращение" изображенного на рисунке 1 контура вала относительно его оси. Контур должен быть сформирован на рабочей плоскости. Система СAD 3D позволяет на одной рабочей плоскости формировать несколько базовых контуров, которые должны быть представлены на чертеже различными цветами. В частности, исходя из практики технологического проектирования, можно использовать два отдельных контура: один – для правых ступеней вала (т.е. ступеней, обрабатываемых в первом установе заготовки в патроне токарного станка до переустанова), и один – для левых (обрабатываемых после переустанова заготовки). В нашей мини-САПР к правым были отнесены центральная ступень наибольшего диаметра и две ступени правее центральной. Центральная ступень будет правой первой, т.к. ее конструктивный размер будет в процессе обработки получен первым (предполагается, что заготовка – круглый прокат). Соответственно остальные две ступени будут правые вторая и третья. К левым ступеням будут отнесены крайние две левые ступени вала.

2.2. Система параметров мини-САПР

Перед началом выполнения построений создавалась таблица всех параметров будущей 3Dмодели, в которой каждому конструктивному параметру детали соответствует переменная. Всем переменным присваиваются некоторые конкретные численные значения, которые в дальнейшем будут заменяться на конструктивные параметры конкретной детали. В случае отсутствия данного конструктивного элемента в дальнейшем данной переменной будет присваиваться нулевое значение. Это порождает некоторую избыточность общего числа переменных. Действительно, для типовых конструктивных элементов в конструкторской документации обычно указываются параметры одного элемента и количество его повторений. Например, "6 фасок 1х45". Такая избыточной, к сожалению, неизбежна, иначе в противном случае будет невозможно удалить лишние ступени вала, или отдельные конструктивные элементы.

Каждой ступени, за исключением правой первой ступени, соответствовал определенный набор параметров:

- параметры ступени диаметр D, длина L;
- параметры канавки глубина G, ширина B, радиус R;
- параметры фаски –длина фаски LF, угол фаски UF;
- параметры паза глубина GP, ширина BP, длина LP, расстояние края паза от края ступени вала LKP.

Правая первая ступень отличается отсутствием канавки и соответствующих параметров, а также имеет две фаски.

Для обозначения переменных использовалась система обозначений, заключающаяся в добавлении к первым буквам обозначения переменных буквы, указывающей принадлежность правым или левым конструктивным элементам, и цифры, обозначающей порядковый номер ступени вала.

Помимо переменных, отвечающих за численное значение соответствующего конструктивного параметра, были введены логические переменные X, с помощью которых реализуется обнуление всех конструктивных параметров ступени вала, если данная ступень отсутствует у конкретной детали. Для каждого дополнительного конструктивного элемента ступени вала – фаски, канавки и паза были введены логические переменные A, обеспечивающие обнуление параметров данного конструктивного элемента в случае его отсутствия.

Кроме символов, соответствующих обозначению конструктивного элемента или логической переменной, в полном обозначении переменной еще присутствуют символы Р или L для обозначения "правая или "левая" и номер ступени. Так, например, переменная для длины правой первой ступени имела вид «LP1», а для расстояния края паза от края левой второй ступени вала – «LKPL2». Данная система обозначения переменных достаточно громоздка, но она необходима, так как общее количество переменных только для одной ступени вала в нашем варианте мини-САПР составляет 12, а для модели многоступенчатого вала это число возрастает пропорционально количеству ступеней. При этом количество параметров, необходимых для формирования одной ступени вала, может возрасти, если мини-САПР будет реализовать такие конструктивные элементы, как поперечные отверстия, проточки, лыски и т.д., что в нашем варианте мини-САПР реализовано не было.

Механизм работы использования логических переменных при построении 3D-модели был следующим. Система T-Flex CAD 3D при выполнении любого вспомогательного построения – точки, прямой линии, или окружности – позволяет выполнить ввод значения параметра как в численном виде, так и с помощью переменных, причем возможен ввод целого выражения. В нашем случае при построении геометрии ступеней вала (диаметр и длина) вводились выражения вида:

«имя переменной параметра» × «переменная X соответствующей ступени вала», а при построении дополнительных конструктивных элементов, находящихся на ступени вала –вида:

«имя переменной параметра» × «переменная X соответствующей ступени вала» × × «переменная A соответствующего конструктивного элемента».

2.3. Особенности выполнения геометрических построений в мини-САПР

Параметрическая 3D модель при обнулении отдельных ее конструктивных параметров может вырождаться, если параметрические связи модели некорректны, поэтому порядок выполнения построений контура вала, т.е. параметрические связи между элементами чертежа очень важен. Контур был построен на виде спереди, соответственно вертикальной оси соответствует ось Z, а

горизонтальной оси, положительное направление роста координат на которой – справа-налево, – ось Х. В нашей модели порядок построений был следующим:

- построение осей, горизонтальная совпадает с осью вала, вертикальная с левой гранью правой первой ступени;
- построение горизонтальных линий, соответствующих диаметральным размерам, строятся в любой последовательности относительно горизонтальной оси;
- построение вертикальных линий ступеней вала, строящихся относительно друг друга правая первая, начиная от оси Z, правая вторая – относительно края правой первой, правая третья – относительно края правой второй (все размеры – отрицательные), левая первая – относительно оси Z (размер положительный), левая вторая – относительно края левой первой;
- построение фасок с использованием операции «фаска»;
- построение канавок с привязкой к линиям, соответствующим конкретной ступени вала;
- формирование разными цветами замкнутых контуров для правых ступеней и левых ступеней вала (рисунок 2);
- формирование 3D-тела операцией «вращение» (рисунок 3);
- построение контура паза для правой первой ступени на рабочей плоскости с дальнейшим выталкиванием контура на величину, соответствующую глубине паза;
- вычитание из 3D-тела вала 3D-тела паза;
- повторение двух предыдущих действий для всех остальных пазов.



Рисунок 2 – Контуры для правых и левых ступеней вала



Рисунок 3 – Тело, полученное в результате операций вращения двух контуров

Наиболее типичной технологией формирования шпоночных пазов в настоящее время является фрезерование паза концевой фрезой, при этом сама заготовка закреплена в патроне токарного обрабатывающего центра, который для выполнения обработки поворачивается в требуемое угловое положение, само же фрезерование выполняется фрезерной головкой. Исходя из этой технологии в мини-САПР формируется 3D-тело паза. Порядок формирования шпоночного паза в 3D-модели, таким образом, будет следующим:

- предварительное формирование рабочей плоскости, параллельной виду сверху, на расстоянии радиуса (D/2) соответствующей ступени вала за вычетом глубины паза GP;
- формирование контура паза с параметрами ВР, LP, LKP (рисунок 4);

- выталкивание контура паза на расстояние, соответствующее его глубине GP;
- вычитание полученного тела из тела вала.



Рисунок 4 – Формирование контура шпоночного паза

Механизм формирования геометрических построений с помощью выражений, содержащих логические переменные, рассмотрим на примере прорисовывания канавки (рисунок 5).



Рисунок 5 – К использованию логических переменных наличия конструктивного элемента

Построения выполнены следующим образом:

- прямая глубины канавки построена относительно прямой D ступени 3 на расстоянии G*Xp3*Ap3;
- прямая ширины канавки относительно края ступени 2 на расстоянии В* Хр3*Ар3;
- радиусы канавок определены как R*Хр3*Ар3,

где Хр3 - лог. переменная 3 ступени, а Ар3 - лог. переменная канавки у третьей ступени.

2.4. Пользовательский интерфейс мини-САПР

Для создания пользовательского интерфейса, обеспечивающего удобный ввод в мини- САПР сведений об общей конфигурации конкретного вала в виде перечня правых и левых ступеней вала, а также конкретных численных значений отдельных конструктивных параметров ступеней и элементов, на них находящихся, было построено дополнительное диалоговое окно 2D-окно, открывающееся из окна 3D-модели (рисунок 5). Разработка таких диалоговых окон предусмотрена в T-Flex CAD, где в качестве элементов управления могут быть использованы все типовые элементы – текстовое поле (текстбокс, редактор), переключатель (Да/нет, чекбокс), переключатель (радиокнопка), статический текст, рамка, комбинированный (выпадающий) список (комбобокс), кнопка. Имеется возможность выбора цвета. При этом устанавливается связь между элементами управления для ввода данных и соответствующими переменными, что позволяет вводить всю необходимую информацию для автоматической перестройки 3D-модели детали.

	e E									
The The	Q									
for an and the second s	600 <u>81</u> 600	Параметры п	іравых стуг	теней		Параметри	канавок	правых ступе	ней	
	Z-V -	Ступень 1	a anna a a	Ступень 2	1 1221121 12	🔽 Канави	a 1	🖓 Канави	ca 2	
	60 8-	Длина	30	Длина	50	Ширина	5	Ширина	5	
	2	Диаметр	70	Диаметр	60	Глубина	0.5	Глубина	0.5	
		Фаска (длина)	1.6	Фаска (длина)	1.6	Ради ус	1.6	Радиуо	1.6	
	1	©aoxa (yron)	45	Фаска (угол)	45	Г Канави	a 3		a basa basa	
	A 8	🔽 Ступень 3				Ширина	5	19999	e name mane i	
		Длина	20	1		Глубина	0.5	10000		
		Диаметр	50	N 202 23		Радиуо	1.6		8 1946 1956 1	
	-	Фарка (длина)	1.6	19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 1						
	🔍 gʻ	Фаска (угол)	45	N 1263 126						
		Параметры л	певых ступ	еней		Параметр	ы канавох	левых ступе	neà	
	🍋 : I	Ступень 1		🔽 Ступень 2		🗁 Канав	ka 1		n na na nana in 2 193 12 19393 13	
		Длина	55	Длина	40	Ширина	5	1328 133	0 28 00 23 25 13	
	1	Диаметр	120	Диаметр	90	Глубина	0.5			
		Фаска (длина)	1.6	Фаска (длина	1.8	Радиуо	1.6		n hala harai h	
	5	Фаска (угол)	45	Фаска (угол)	45					
	-	Параметры	nasa	10 ISBS 100						
	-	Г∕ Паз								
	A	Ширина	12							
	· ·	Глубина	8	the control of the						
and the second sec	A §	Длина	30							
	•			and president frame						
		Ширина Глубина Длина	12 8 30							

Рисунок 5 – 3D-модель и диалоговое окно для ввода параметров конкретной детали

На рисунке 5 представлен промежуточный вариант мини-САПР с тремя правыми, двумя левыми ступенями и одним шпоночным пазом. Для формирования конфигурации конкретного вала, т.е. определения перечня ступеней вала и находящихся на них конструктивных элементов были применены элементы «переключатель».

По умолчанию в полях численных значений конструктивных параметров система выводит те значения, которые были установлены в процессе построения 3D-модели мини-САПР. Переключатель, установленный пользователем в ноль, автоматически исключает соответствующий конструктивный элемент, обнуляя логическую переменную наличия элемента, при этом численные значения, ранее присвоенные переменным данного конструктивного элемента, не изменяются, а элемент исключается за счет ранее рассмотренных выражений, использованных при выполнении геометрических построений (рисунок 6).

🔲 Канавка 1		🗹 Канав	🗹 Канавка 2						
Ширина	5	Ширина	5						
Глубина	0.5	Глубина	0.5						
Радиус	1.6	Радиус	1.6						
🗸 Канав	ка 3								
Ширина	5								
Глубина	0.8								
Радиус	1.6								

Рисунок 6 – К формированию конфигурации детали

На рисунках 7 и 8 представлены различные варианты моделей многоступенчатых валов, автоматически построенные с помощью рассмотренной мини-САПР.



Рисунок 7 — Различные варианты конструкции многоступенчатых валов, автоматически сформированных в мини-САПР



Рисунок 8 — Различные варианты конструкции многоступенчатых валов, автоматически сформированных в мини-САПР

3. Заключение

На базе унифицированной системы T-Flex CAD 3D разработана мини-САПР формирования 3D-моделей многоступенчатых валов, обеспечивающая автоматическое изменение состава конструктивных элементов и их размеров путем задания в диалоговом окне конфигурации конструктивных элементов и ввода соответствующих численных значений параметров. Данная мини-САПР может быть использована в конструкторских подразделениях машиностроительных предприятий. При необходимости возможна ее доработка путем введения дополнительных конструктивных элементов и ступеней вала.

4. Список источников

- [1] Обзор популярных систем автоматизированного проектирования (CAD) [Электронный pecypc] // 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 (дата обращения: 27.07.2022).
- [6] Евгенев 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] Евгенев 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 маршрутнооперационных 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.б. (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.