

УДК 087.2

DOI: 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-768-779

Разработка пользовательского сценария создания 3D-модели детали «Вал» в программном модуле CAD СПЖ «САРУС»

О. А. Клюева, Н. А. Денисова

Саровский физико-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Саров, Россия

Аннотация. Одной из задач тестирования новой системы автоматизированного проектирования «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие» (актуальное наименование – СПЖ «САРУС») в связи с переходом РФЯЦ-ВНИИЭФ на использование нового комплекса является исследование оптимальных алгоритмов построения криволинейных поверхностей в программном модуле CAD, являющимся составной частью СПЖ «САРУС». Важно также подготовить методические материалы по обучению работы с ПМ CAD вышеназванной программы студентов и специалистов, имеющих опыт работы с рядом САПР как инструмента в направлении конструкторской подготовки производства.

В данной работе как пример описываются возможные методы построения трёхмерной модели, а также разработанный по заказу Отдела внедрения нового программного комплекса подробный и наиболее оптимальный алгоритм построения 3D-модели «Вал» для обучения студентов и специалистов предприятия – пользовательский сценарий.

Ключевые слова: программный модуль CAD, трёхмерные объекты, методы построения 3D-моделей, пользовательский сценарий.

Development of a custom scenario for creating a 3D model of the detail shaft in the CAD software module of the SARUS FLCS

O. A. Klueva, N. A. Denisova

Sarov Institute of Physics and Technology – branch of the National Research Nuclear University "MEPhI", Sarov, Russia

Abstract. One of the tasks of testing the new computer-aided design system "Digital Enterprise Full Life Cycle System" (current name – FLCS SARUS) in connection with the transition of the RFNC-VNIIEPh to the use of the new complex is the study of optimal algorithms for constructing curved surfaces in the CAD software module, which is an integral part of the UIC SARUS. It is also important to prepare methodological materials for teaching students and specialists who have experience working with a number of CAD systems as a tool in the field of design preparation of production CAD as a tool in the direction of design preparation of production.

In this paper, as an example, possible methods of constructing a three-dimensional model are described, as well as a detailed and optimal algorithm for constructing a 3D model "Shaft" for training students and specialists of the enterprise, developed by order of the Department of Implementation of a new software package – a user scenario.

Keywords: CAD software module, three-dimensional objects, 3D model construction methods, user scenario

Введение

Одной из задач тестирования системы автоматизированного проектирования **Комплекс программ в защищенном исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие»** (далее – СПЖ «САРУС») в связи с переходом РФЯЦ ВНИИЭФ на использование нового комплекса является исследование оптимальных алгоритмов построения криволинейных поверхностей в программном модуле CAD (далее – ПМ CAD), являющимся составной частью СПЖ «САРУС», и подготовка методических материалов по обучению работы с ПМ CAD вышеназванной программы студентов и специалистов, имеющих опыт работы с рядом САПР как инструмента в направлении конструкторской подготовки производства [1].

На предыдущих этапах исследования [2, 3] были выявлены возможности применения операций, предлагаемых интерфейсом ПМ CAD по построению криволинейных поверхностей в 2D- и 3D- режимах простых и средней сложности деталей машиностроения. Выявлено, что в представленных версиях программного комплекса СПЖ «САРУС» 1.0.17.9 и 2023.1.0.1-RC16 при проверке работоспособности ряда функций в СПЖ «САРУС» установлено, что большинство алгоритмов оказались работоспособными.

Был проведен сравнительный анализ с известным САПР «КОМПАС-3D». По мнению тестировщиков, более производительным было создание 3D-моделей в «КОМПАС-3D». Для работы на производстве это имеет огромное значение. Но необходимо отметить, что и в той, и в другой САПР есть факты несрабатывания функций [4].

Однако «САРУС» удобен для работы технологам, так как в этой программе предусмотрены CAD- и CAM-системы и ещё много других модулей. При дальнейшей разработке и модернизации ПО СПбГУ «САРУС» способно заменить широко известные CAD-программы [5].

Исходя из выводов по проделанной работе, в Техническом задании для реализации следующего этапа практико-ориентированного исследования запланирована работа с **деталями средней сложности** с подготовкой методических материалов по обучению работы с ПМ САД «САРУС» студентов по направлению подготовки 15.03.04 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, а также специалистов, имеющих опыт работы с рядом САПР в направлении конструкторской подготовки [4].

В данной работе описываются возможные методы построения трёхмерной модели, а также подробный и наиболее оптимальный алгоритм построения 3D-модели «Вал» (рис. 1), описанный как «Пользовательский сценарий», разработанный по заказу Отдела внедрения нового программного комплекса для применения в обучении студентов и специалистов предприятия.

Разработка проведена в базовой версии, утвержденной для использования на цифровом предприятии в 2024 году, 2023.1.0.1-RC16.

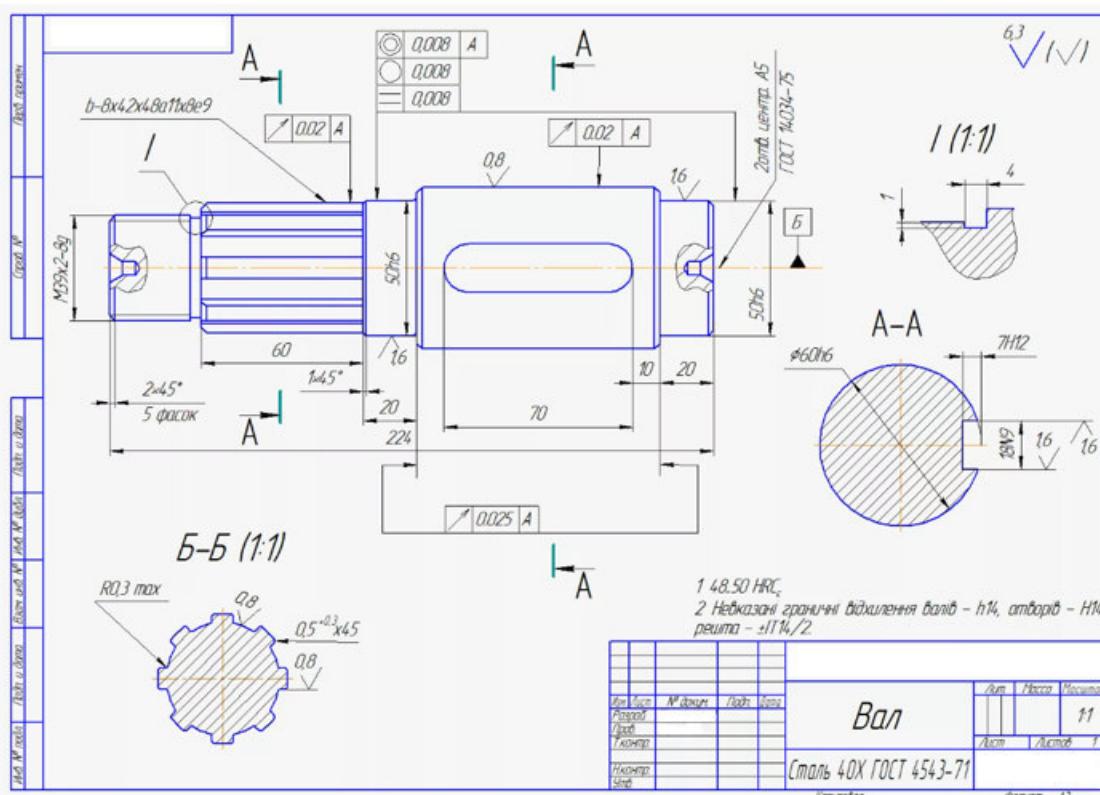


Рисунок 1. Чертеж детали «Вал». Выполнен в «КОМПАС-3Д»

Постановка задачи

Целью данной работы является исследование функционала и возможности применения команд ПМ CAD для построения криволинейных поверхностей и создания наиболее оптимального алгоритма построения 3D-модели «Вал», выявление достоинств и недостатков при использовании.

Основные задачи:

- ✓ тестирование новой системы автоматизированного проектирования в связи с переходом РФЯЦ ВНИИЭФ на использование нового комплекса:

- ✓ исследование методов построения 3D-моделей в ПМ CAD и выбор оптимального алгоритма для построения трёхмерной модели «Вал»;
- ✓ описание поэтапных действий для создания трёхмерной модели детали с применением функциональности ПМ CAD;
- ✓ сравнение полученных результатов замеров времени, затрачиваемого на процесс создания сборочных моделей в сравниваемых системах СПЖЦ «САРУС» и «КОМПАС-3D»;
- ✓ подготовка методических материалов по обучению работе с ПМ CAD студентов по направлению 15.03.04 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

Теория

Модуль ПМ CAD СПЖЦ «САРУС» позволяет создавать параметрические 2D-модели, параметрические твердотельные 3D-модели, ассоциативные чертежи и конструкторскую документацию [6]. ПМ CAD основан на командах трёхмерного моделирования и командах двухмерных построений. Очевидно, что ПМ является многонаправленным инструментом, поэтому в результате тестирования были выделены наиболее проблемные области: построение моделей и чертежей с замкнутым криволинейным контуром; совмещение двух методик построения по примитивам и по координатам; параметризация эскиза.

В программном модуле CAD СПЖЦ «САРУС» предусмотрено три варианта построения трёхмерных объектов.

1. *Метод построения по координатам (или по эскизу)*. Суть метода заключается в создании эскиза на рабочей плоскости с последующим его вытягиванием или же, наоборот, вырезанием до необходимой величины. В данном варианте предусмотрено проектирование не только базовых объектов, но и криволинейных поверхностей, трехмерных моделей с нестандартной конфигурацией, а также геометрически сложных деталей, т.е. является многофункциональным методом и имеет множество вариаций применения при построении конструкции.

Стоит отметить, данный метод является наиболее распространенным и более привычным для пользователей, ранее работавших в программе «Компас-3D», поскольку имеет схожий алгоритм действий. Время построения модели зависит от сложности её конфигурации. Вероятность появления ошибок в методе построения по координатам при работе в программе мала.

2. *Метод построения по примитивам*. Суть метода заключается в вытягивании или вырезании базовых объектов единой конфигурации (цилиндр, конус, параллелепипед и т.д.), есть возможность настроить их габаритные размеры, построение деталей иной формы невозможно. Данный метод имеет ограниченное применение, однако затраты времени на создание базовых объектов значительно меньше, чем при использовании способа по координатам (по эскизу). Производительность при создании моделей простой конфигурации будет выше при использовании примитивов.

Примитивы являются новой функцией для пользователей, ранее работавших в «Компас-3D», но использование их в ПМ CAD СПЖЦ «САРУС» значительно упрощает построение некоторых деталей. Вероятность возникновения ошибки мала.

3. *Комбинированный метод*, т.е. совмещение методов построения по координатам (по эскизу) или по примитивам. Суть метода заключается в создании трехмерных моделей, которые состоят из базовых объектов (примитивов) и сложных поверхностей, с целью сокращения затрат времени на конструирование.

Способ комбинирования имеет большие преимущества при сокращении времени, производительности и упрощении процесса проектирования. Однако в данном методе может возникать большое количество ошибок, например некорректное построение, возникновение нежелательных самопересечений контура и т.д. Их можно избежать, если следовать строго поставленному алгоритму. В тенденции развития метод имеет большие перспективы и в будущем будет иметь широкое применение [5].

В разработке пользовательского сценария создания 3D-модели детали «Вал» в программном модуле CAD СПЖЦ «САРУС» используется комбинированный метод построения, так как затрагиваются оба

метода, что позволяет пользователю освоить большое количество базовых команд сразу обоих способов, необходимых для освоения и понимания работы программы.

В CAD-системах метод создания моделей можно сравнить с обработкой заготовок деталей резанием, где постепенно удаляется припуск на обработку и при достижении заданных чертежом размеров получаются элементарные поверхности, которые при их сочетании формируют деталь. Есть ещё один метод – применение операции «Примитив», где модель создается постепенно добавлением простейших геометрических фигур – элементов детали, при котором целостная модель получается сложением, вычитанием или пересечением данных элементов друг с другом с помощью булевых операций.

Тогда классификация создания 3D-моделей может выглядеть следующим образом [6]:

1. Группа команд «3D-операции», объединяющая традиционные команды твердотельного моделирования.

1.1 Команда «Вытягивание» предназначена для создания твердого или поверхностного тела, которое представляет собой след от движения контура в заданном направлении на заданную длину.

1.2 Команда «Вращение» предназначена для создания тела как результата вращения контура относительно заданной оси на заданный угол.

1.3 Команда «По сечениям» предназначена для создания тел со сложной геометрией.

1.4 Команда «По траектории» предназначена для создания тела путем перемещения контура вдоль пространственной траектории.

2. Команда «Примитив» предназначена для создания базовых твердых тел.

3. Команда «Булева» предназначена для создания тела на основе двух или более ранее созданных тел.

4. Другие команды («Обрезка», «Скругление», «Фаска», «Оболочка», «Отверстие», пр.), способные окончательно сформировать форму детали согласно чертежу.

Деталь «Вал» представляет собой тело вращения – ступенчатый вал, усложненный шлицами на одной из ступеней. Такая форма поверхности требует специальных расчетов. Можно отнести деталь «Вал» к деталям средней конструктивной сложности, что соответствует техническому заданию.

Результаты экспериментов

Для эффективного функционирования «пользовательского сценария» мы предлагаем представления его в форме таблицы с показом иллюстративного материала в качестве результатов проведенных операций. Мы считаем, что именно в таком варианте алгоритм создания 3D-модели будет наиболее обозреваем и понятен.

В зависимости от задач, которые нужно решить пользователю, выбирается необходимый прототип: модель, чертеж или спецификация. Это общая «приветственная» операция. Так как дан чертеж, по нему надо создать CAD-модель. Поэтому необходимо выбрать раздел «Модель» и нажать «OK» (рис. 2, а). На вкладке «Модель» собраны команды, предназначенные для создания 3D-модели.

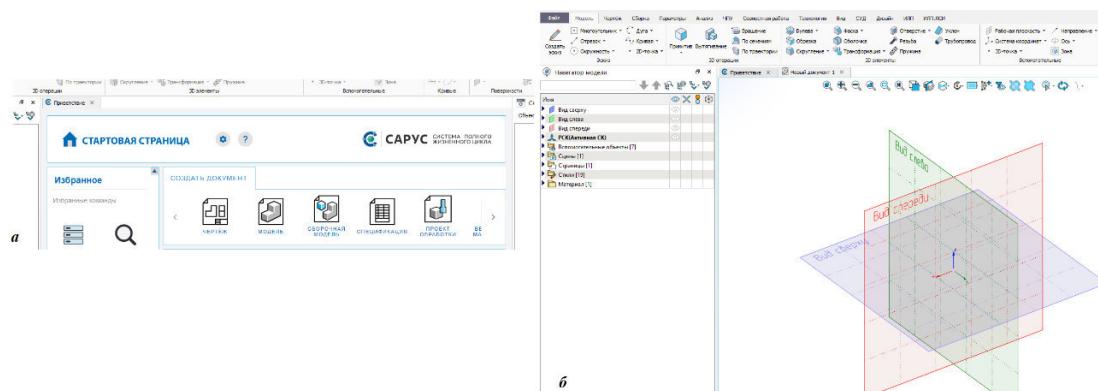
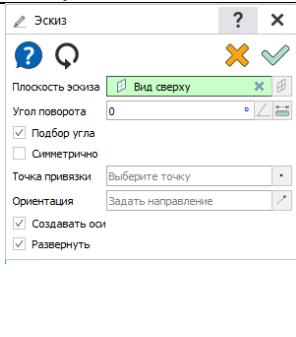
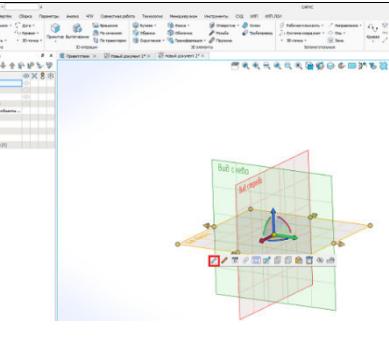
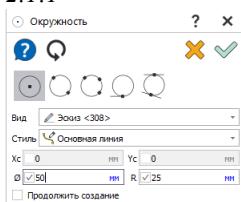
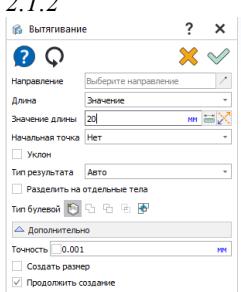
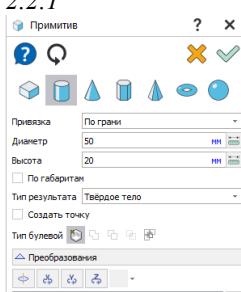
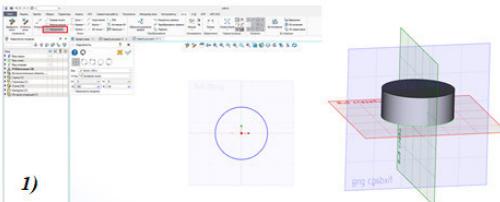
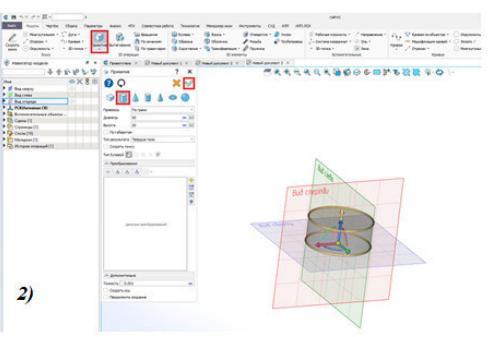


Рисунок 2. Выбор документа

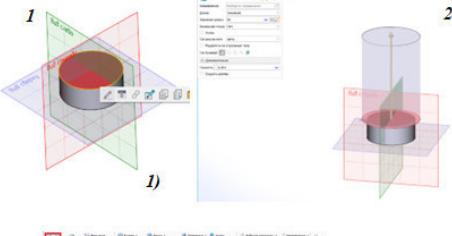
Появляется новое окно для создания CAD-модели (рис. 2, б). Сразу же сохраняем деталь на жестком диске, вызвав команду «Сохранить» на панели инструментов.

На следующем этапе переходим непосредственно к трехмерному моделированию детали. Данный этап является общим для создания любой модели, дальнейшие действия будут описаны в таблице. Таблица содержит столбцы, где описаны стандартные команды, показаны «иконки» команд, настройки в диалоговом окне, а также изображение на рабочем окне выполнения команд. Таблица в данной работе представлена в книжной ориентации, где стандартные команды описаны в объединенном столбце. Если таблицу представить в альбомной ориентации, раздел «Стандартные команды» можно выделить в отдельный столбец.

Этапы выполнения работы

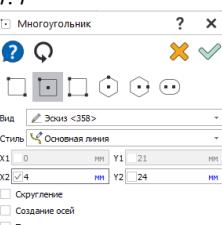
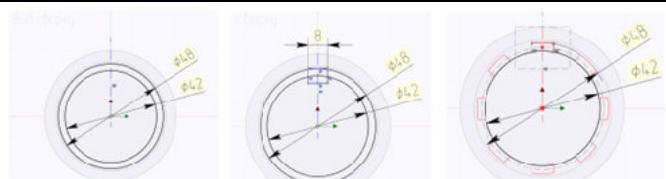
Команда	Настройки	Эскиз
1. Создание эскиза. Данную команду можно вызвать через:		
<ul style="list-style-type: none"> – панель интерфейса. В появившемся окошке нужно выбрать рабочую плоскость; – рабочую плоскость. При нажатии на нужную рабочую плоскость высвечивается панель с командами. <p>Выбираем команду <i>Создать эскиз</i></p>	<p>1.1</p>  	<p>- Красный прямоугольник отмечает места, где можно выбрать иконки «Создать эскиз»</p> <p>- Не забываем нажимать на  , ее роль заключается в завершении и сохранении команды</p>
2. Создание цилиндра. Данную поверхность можно создать через:		
<p>1) эскиз. Выбрав команду <i>Окружность по центру и радиусу</i> (2.1.1), задаем в появившемся окне параметры (см. настройки). Затем, выбрав команду <i>Вытягивание</i> (2.1.2), задаем параметры (см. настройки);</p> <p>2) примитив. Выбираем команду <i>Примитив</i> (2.2.1) цилиндр. Задаем необходимые настройки и создаем эскиз</p>	<p>2.1.1</p>  <p>2.1.2</p>  <p>2.2.1</p> 	  <p>- Красным прямоугольником показано расположение команд и операций, которые должны быть выполнены.</p> <p>- Если операция выполнена правильно,  приобретает зеленый цвет</p> <p>- Не забываем нажимать на  для завершения и сохранения команды</p>

Продолжение таблицы

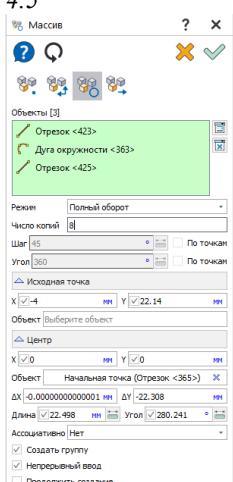
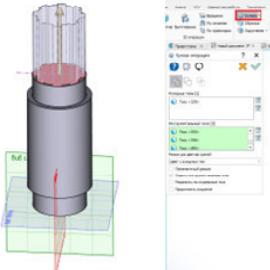
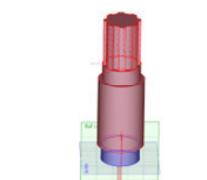
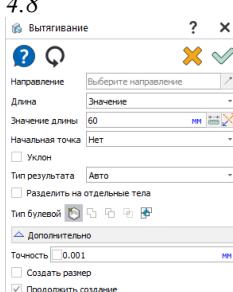
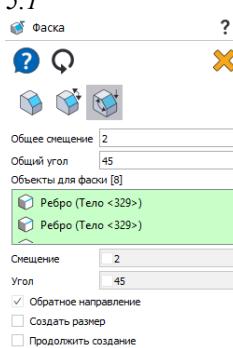
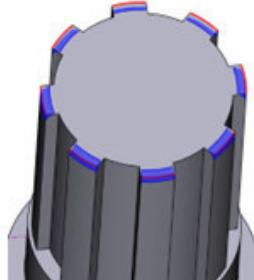
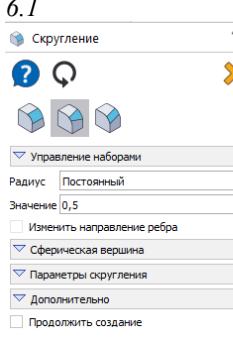
Команда	Настройки	Эскиз
3.1.1 	3.1.1 Ø60, h=90 3.1.2 – рис. 1) 3.2.1 – рис. 2)	 <p>1 2</p> <p>Примитив Помощник Привязка Диаметр Высота По габаритам Тип результата Создать точку Тип булевой Преобразования Перемещение 20 Дополнительно Точность 0.001 Создать ось Продолжить создание</p> <p>1 2</p> <p>1 2</p> <p>Примечание: Использование примитивов при построении значительно сокращает время работы. Но, если требуется построить нестандартную модель, т.е. нет нужного примитива, то необходимо использовать эскизное построение. Причем возникает трудность связать эти два метода построения модели. Решение данной проблемы в следующем пункте.</p> <p>- Аналогично строим следующую ступень вала Ø50, h=20</p>

4. Построение зубьев вала

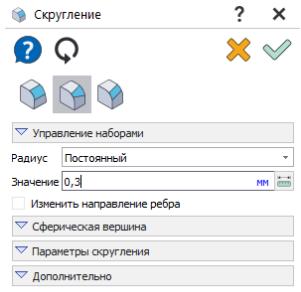
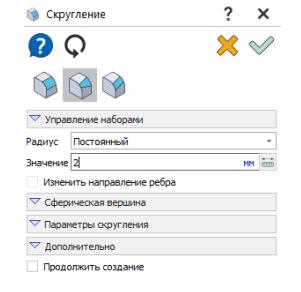
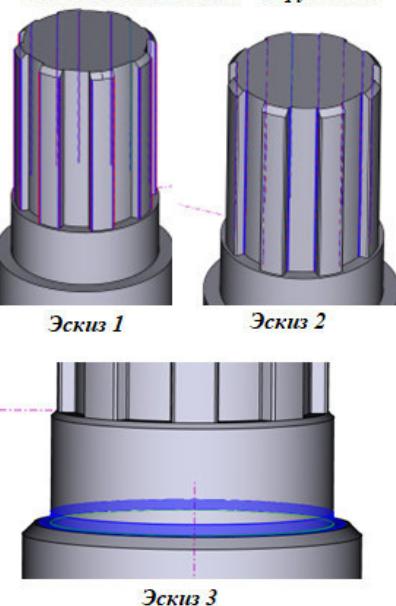
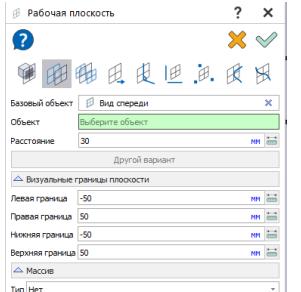
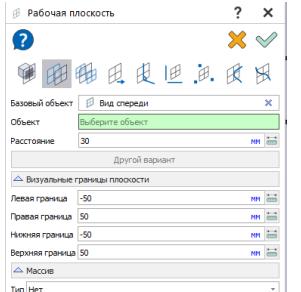
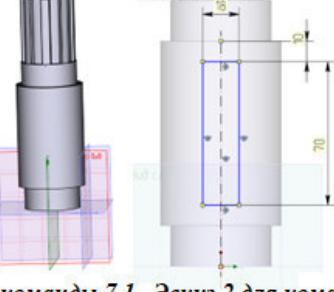
- 1) Создаем эскиз на поверхности ступени вала.
- 2) Используя команду *Окружность по центру и радиусу*, строим два круга (эскиз 1).
- 3) Для лучшей ориентации строим осевую линию.
- 4) Используем команду *Прямоугольник по центру и точке* (эскиз 2).
- 5) Усекаем ненужные линии для образования зуба командой *Обрезка/удлинение*.
- 6) Используем команду *Круговой массив*. Выделяем сначала один объект, затем нажимаем на центр окружности и только после этого выбираем оставшиеся объекты (эскиз 3). Необходимые параметры указаны в настройках. Создаем массив.
- 7) Редактируем эскиз – убираем лишние линии командой *Обрезка/удлинение кривой*. Причем удаляем линии начиная со второго зуба. При удалении линий с первого зуба чертеж может построиться некорректно (эскиз 4).
- 8) Используем команду *Вытягивание* и создаем модель (эскиз 5).
- 9) Используя булеву операцию, объединяем все объекты (эскиз 6)

4.4 	4.4 	 <p>Эскиз1 для команды 4.2 Эскиз 2 для команды 4.4 Эскиз 3 для команды 4.6</p> <p>Эскиз4 для команды 4.7 с панелью интерфейса</p>
4.5 		
4.6 		
4.9 		

Продолжение таблицы

Команда	Настройки	Эскиз
4.5		 
4.8		
5. Фаска. Используем команду <i>Фаска по углу</i> . Задаем параметры, указанные в окне настроек. Выделяем зубья вала и создаем фаску (эскиз 1)		
5.1		
6. Скругления 1) Используем команду <i>Скругление с постоянным радиусом</i> . Выделяем грани внешнего диаметра зубьев (эскиз 1). Необходимые параметры указаны в настройках. Создаем скругления. 2) Таким же методом создаем скругления для внутреннего диаметра (эскиз 2) и между ступенями вала (эскиз 3)		
6.1		

Продолжение таблицы

Команда	Настройки	Эскиз
	<p>6.2</p>  <p>6.3</p> 	<p>Эскизы для команды "Скругление"</p>  <p>Эскиз 1 Эскиз 2</p> <p>Эскиз 3</p> <p><i>Примечание.</i> При нажатии на команду <i>Скругление с постоянным радиусом</i> через панель интерфейса переносит на <i>скругление с переменным радиусом</i>. Это некорректная работа ссылок. В данной ситуации создаем скругления по окну настроек, как указано в сценарии</p>
7. Построение шпоночного отверстия	<ol style="list-style-type: none"> Используем команду <i>Создание параллельной рабочей плоскости</i>. Выбираем любую плоскость, перпендикулярную основанию вала, затем переносим на расстояние, заданное в окне настроек, т.е. радиус цилиндра, на котором располагается шпоночное отверстие (эскиз 1). Создаем эскиз на полученной плоскости. Для удобства строим осевую линию. Так будет проще поймать нужные точки и обозначить чертеж шпонки. Создаем прямоугольник, используя команду <i>Прямоугольник по центру и точке</i>. Центр выбираем приблизительный и пока не задаем размеры. Используем команду <i>Линейный размер</i>, от верхней точки задаем нужный размер, а затем и длину шпоночного отверстия. Создаем эскиз (эскиз 2). Используем команду <i>Вытягивание</i>. В окне настроек указываем в значении длины отрицательное значение, так как у нас <u>вычитание</u>, или меняем направление. Указываем тело, из которого вырезаем шпонку (т.е. выделяем вал), и в типе булевой операции выбираем команду <i>Вычитание</i> (эскиз 3). Используем команду <i>Скругление</i> для того, чтобы убрать углы (эскиз 4). 	
7.1	<p>7.1</p>  <p>7.5</p> 	 <p>Эскиз 1 для команды 7.1 Эскиз 2 для команды 7.3 - 7.5</p>

Продолжение таблицы

Команда	Настройки	Эскиз
7.5		
7.6		
7.7		

8. Построение канавки

Выбираем поверхность построения, затем используем команду *Примитив - цилиндр*. Задаем необходимые настройки (8.1) и создаем эскиз (эскиз 1). Выбираем перемещение по оси z и задаем значение.

9. Построение ступени

Принцип аналогичный (эскиз 2). Необходимые настройки указаны в столбце «настройки» (9.1).

8.1		
9.1		

Продолжение таблицы

Команда	Настройки	Эскиз
	<p>9.1</p>	
	<p>10. Резьба</p> <p>Используем команду <i>Резьба</i> (10.1). Затем в окне параметров нажимаем на список (10.2), во всплывшем окне выбираем метрическую резьбу с мелким шагом – выбираем Ø39 и шаг резьбы 2. Результат команды показан на эскизе 1</p>	
10.1 10.2 	<p>10.1 (см. продолжение столбца)</p> <p>10.2 Метрическая резьба с крупным шагом ГОСТ 24705-2004 Метрическая резьба с мелким шагом ГОСТ 24705-2004</p>	<p>Эскиз 1 для команды "Резьба"</p>
	<p>11. Фаска. Используем команду <i>Фаска по углу</i> (11.1). Задаем параметры, указанные в окне настроек. Необходимые грани выделены на эскизах (эскиз 1 и эскиз 2)</p>	
11.1 	<p>11.1</p> <p>*Продолжение на след. странице</p>	<p>Эскиз 1</p> <p>Эскиз 2</p>

Окончание таблицы

Команда	Настройки	Эскиз
11.2		Примечание: при построении фаски на эскизе 2, могут возникнуть трудности из-за выбора неверных граней, здесь важно курсором мыши выделить грань, предназначенную для фаски, не задев зубья шлицев
12. Создание центровых отверстий		
12.1		1. Создаем эскиз на верхней поверхности вала. Затем на панели интерфейса выбираем команду 2D-точка (12.1). В появившемся окне выбираем команду Точка по координатам (12.2) и строим точку в центре (эскиз 1). Это необходимо для построения отверстия. Далее сохраняем эскиз.
12.2		2. На панели интерфейса выбираем команду Отверстие (12.3). В появившемся окне выбираем команду Глухое отверстие (12.4). Затем задаем параметры, указанные в столбце настройки (12.2). Исходные тела – выделяем поверхность, на которой будет будущее отверстие. Положение – указываем точку, которую мы построили ранее.
12.3		3. Аналогичный порядок действий выполняется для построения центрового отверстия на нижней поверхности вала
12.4		
		Эскиз 1
		Эскиз 2

Обсуждение результатов

При разработке сценария на примере детали «Вал» было проведено сравнение с построением этой же 3D-модели в ПО «КОМПАС-3D» и сделаны следующие выводы:

1. *Затраты времени в сравнении с программой «Компас-3D».* «САРУС» – 29 мин., «КОМПАС-3D» – 24 мин. Полученные результаты показывают незначительные различия скорости создания модели. Разница в 5 минут связана с более долгой загрузкой (срабатывания команд) в программе «САРУС» (при создании фасок или скруглений), параметризация эскизов требует больше времени, чем в «КОМПАС-3D», а также возникновение некоторых программных ошибок, которые быстро решаются, но затрачивается время на их исправление.

2. *Влияние владения командами CAD СПЖЦ «САРУС».* Несколько раз была построена 3D-модель детали «Вал» различными способами. По мере повторения одного и того же алгоритма время, затрачиваемое на построение модели, становилось с каждым разом все меньше, поскольку выработался навык и были освоены базовые команды.

3. *Тенденции развития.* При исключении программных ошибок, недочетов и более быстрой загрузке срабатывания команд по мере их исправления и введения обновлений CAD СПЖЦ «САРУС» будет иметь колоссальное преимущество во времени, функционале и применяемости.

Выводы

Проведенное исследование выявило основные сложности, за счёт которых увеличивается затрачиваемое время на построение 3D-модели. Разработанный «Пользовательский сценарий» включает алгоритм построения, который является наиболее оптимальным и подходит для освоения базовых команд для пользователя.

При создании 3D-модели используются основные команды ПМ CAD, которые являются ключевыми для понимания и дальнейшего освоения данной программы. Овладев базовыми командами, пользователь получает знания и навыки для проектирования более сложных конструкций.

Источник финансирования

Договор от 25 марта 2024 г. № 96-2024/244 на выполнение научно-исследовательской работы по теме «Проведение научных исследований в интересах ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» с использованием результатов для актуализации образовательных программ подготовки специалистов с высшим профессиональным образованием для ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Задача 10 «Исследование программно-аппаратных решений в области цифровых технологий, возможностей их отраслевого применения, разработка и версионное тестирование компонентов полностью защищенной системы полного жизненного цикла среднего класса СПЖЦ В3 «САРУС».

Благодарности

Авторы благодарят кафедру цифровых технологий СарФТИ-НИЯУ МИФИ под руководством О.В. Кривошеева, к.т.н., зав. кафедрой, зам. директора ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» по технологиям полного жизненного цикла – директора Института цифровых технологий (ИТЦ) – главного конструктора СПЖЦ;

- научно-исследовательский отдел поддержки и внедрения Института цифровых технологий РФЯЦ-ВНИИЭФ (руководитель Г.С. Лазарев).

Список литературы

1. Денисова Н.А., Федоренко Г.А. Применение в учебном процессе вуза тестирования программного модуля CAD вновь создаваемого САПР «САРУС» // GraphiCon 2023: труды 33-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению (Москва, 19–21 сент. 2023 г.). М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2023. С. 848–859.

2. Отчёт о НИР «Исследование цифровых технологий и возможностей их отраслевого применения, разработка и тестирование компонентов СПЖЦ В3» (Договор на выполнение НИР от 2 марта 2023 г. № 96-2023/203, Задача 10). Инв. номер НО/38-278.10-2023-О от 15.11.23. 2023. С. 64–88.

3. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование цифровых технологий и возможностей их отраслевого применения, разработка и тестирование компонентов СПЖЦ В3». (Договор на выполнение НИР от 2 марта 2023 г. № 96-2023/203, Задача 10). Инв. № НО/37-278.10-2023-О. 2024. С. 8–27.

4. Отчет о научно-исследовательской работе «Исследование цифровых технологий и возможностей их отраслевого применения, разработка и тестирование компонентов СПЖЦ В3». (Договор на выполнение НИР от 2 марта 2023 г. № 96-2023/203, Задача 10). Инв. № НО/37-278.10-2023-О. 2025. С. 14–46.

5. Пряткова Ю.Б., Денисова Н.А. Роль системы координат в построении 3D-модели в СПЖЦ «САРУС» // GraphiCon 2024 : материалы 34-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению (Россия, Омск, 17–19 сент. 2024 г.). Омск : Изд-во ОМГТУ, 2024. С. 795–804.

6. Комплекс программ в защищённом исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие»: Основная версия программного модуля. «Система конструкторского проектирования» (версия 2) / Руководство оператора 07623615.00423-06 34 01. 2021. 338 с.