

УДК 087.2

DOI: 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-724-733

Оптимизация выполнения криволинейных поверхностей в CAD «САРУС» путём параметризации

А. С. Костина, И. И. Макаров, Н. А. Денисова

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

Аннотация. В рамках исследования программного модуля «Система конструкторского проектирования» (ПМ CAD) комплекса программ «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие» («САРУС»), внедряемого на цифровом предприятии РФЯЦ-ВНИИЭФ, построение криволинейных поверхностей является достаточно актуальной задачей, так как большинство проектируемых деталей разной степени сложности имеют криволинейные поверхности. В ходе проведенного практико-ориентированного исследования сработаваемости функций создания моделей в модуле CAD системы «САРУС» была успешно продемонстрирована эффективность параметризации как метода оптимизации построения криволинейных поверхностей. Использование параметризации значительно упростило процесс проектирования, обеспечив гибкость и точность моделирования. Благодаря наложению ограничений и корректному выбору типов дуг удалось избежать ошибок построения и добиться полной управляемости модели. Это особенно важно при работе со сложными фасонными формами, где традиционные методы могут оказаться недостаточно эффективными.

Ключевые слова: программный модуль CAD, 3D-моделирование, криволинейная поверхность, параметризация, наложение ограничений.

Optimization of curved surfaces in CAD "SARUS" by parameterization

A. S. Kostina, I. I. Makarov, N. A. Denisova

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

Abstract. As part of the study of the software module “Design System” (PM CAD) of the software package “Digital Enterprise Product Lifecycle System “Digital enterprise” (SARUS), implemented at the RFNC-VNIIEF digital enterprise, the construction of curved surfaces is a fairly urgent task, since most of the designed parts of varying degrees of complexity have curved surfaces. In the course of a practice-oriented study of the actuation of model creation functions in the CAD module of the SARUS system, the effectiveness of parameterization as a method for optimizing the construction of curved surfaces was demonstrated successfully. The use of parameterization has greatly simplified the design process, providing flexibility and accuracy of modeling. Due to the imposition of restrictions and the correct choice of arc types, it was possible to avoid construction errors and achieve full controllability of the model. This is especially important when working with complex shapes, where traditional methods may not be effective enough.

Keywords: CAD software module, 3D modeling, curved surface, parameterization, constraint imposition.

Введение

В результате тестирования нового САПР «САРУС» (далее по тексту – САРУС), внедряемого в работу на производственных площадках ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», студентами кафедры ТСМ СарФТИ выполнен большой объём проблемно-ориентированного исследования, направленного на развитие системы в области программного модуля «Система конструкторского проектирования» (ПМ CAD), который является компонентом СПЖЦ «САРУС» и представляет собой CAD-систему [1].

На описываемом этапе практико-ориентированного исследования методом тестирования нами продолжено изучение функциональных возможностей и алгоритмов срабатывания команд программного модуля CAD.

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 СПЖЦ «САРУС» 1.0.17.9 и 2023.1.0.1-RC16 при проверке работоспособности ряда функций «Скругление» в СПЖЦ «САРУС» установлено, что все алгоритмы, кроме управления опциями перекрытия скруглений – взаимной обрезки или сопряжения скруглений с наращиванием материала, оказались работоспособными. Также была продемонстрирована работа

данных алгоритмов на деталях с усложненными элементами формы в СПЖЦ «САРУС». Здесь все алгоритмы работали исправно, даже в местах пересечений скруглений, чего, кстати, не удалось сделать на детали простейшей формы (I группы конструктивной сложности) [4].

Было отмечено, что разработчик проводил тестирование алгоритма работы функций, но не на деталях, а на поверхностях или примитивных конструкциях [5]. При незначительном усложнении сочетания поверхностей при построении 3D-моделей возникали трудности и сбои программы. Поэтому была поставлена цель исследования возможности применения операций, предлагаемых интерфейсом ПМ CAD, входящему в систему «САРУС», по построению криволинейных поверхностей в 2D- и 3D-режимах в деталях *простой формы* с теоретическим анализом предлагаемых функций построения.

Был проведен сравнительный анализ с известным САПР «КОМПАС-3D». Здесь у СПЖЦ «САРУС» были свои достоинства и недостатки. К первым относятся более корректное построение скругления с переменным радиусом, а также возможность построения скругления с перекрытием отверстия (скругление повторяет форму отверстия), что в «КОМПАС-3D» не получилось сделать. Из недостатков СПЖЦ «САРУС» по отношению к «КОМПАС-3D» можно отметить отсутствие некоторого функционала, который есть в «КОМПАС-3D», а именно: полное скругление, остановка скругления в точке и обход с гладкой стыковкой на пересечении двух ребер. Также «КОМПАС-3D» корректно выполнил алгоритм управления опциями перекрытия скруглений – взаимной обрезки или сопряжения скруглений с наращиванием материала. Однако и в той, и в другой САПР есть факты несрабатывания функций.

Был сделан вывод, что работать с функциями «Скругление» в СПЖЦ «САРУС» возможно на базовом уровне программного обеспечения CAD.

В Техническом задании для реализации третьего этапа научной работы запланированы следующие действия:

- разработка алгоритмов создания 3D-моделей **деталей средней сложности** с разным типом криволинейных поверхностей с применением разных 3D-операций;
- формулирование аналитического вывода рациональности построений;
- выявление недостатков построения криволинейных поверхностей в ПО «СПЖЦ ЦП»; формулирование рекомендаций для доработки ПМ.

Постановка задачи

Обновлённая версия «САРУС» 2024.2.1.1-VNF позволила сократить обучающую часть работы студентов в связи с более совершенным интерфейсом и удобным уровнем его применения. Студенты выполняют построения 3D-моделей деталей с поверхностями достаточной сложности.

Поэтому **целью тестирования** на данном этапе мы ставим исследование возможности применения операций, предлагаемых интерфейсом ПМ CAD, входящему в систему «САРУС», по построению криволинейных поверхностей в 2D- и 3D-режимах в **деталях средней сложности с элементами сложной формы** с теоретическим анализом предлагаемых функций построения. Конструктивную сложность в соответствии с классификацией, предложенной в отчёте по выполнению второго этапа исследования [3], рассмотрим для деталей геометрических форм, которые требуют специальных расчетов (стаканы, петли, линзы и др.).

Задачи:

- тестирование ПМ CAD по срабатыванию выполнения функций, операций и команд построения, рекомендуемых разработчиком при построении 3D-моделей, исходя из обозначенной в цели конструктивной сложности деталей и с использованием ранее сформулированных рекомендаций исследования применения операций: ЛСК, булевы операции, скругления;
- описание логики выбора и разработки оптимальных алгоритмов построения криволинейных поверхностей в ПМ CAD «САРУС» в 3D-моделях деталей средней сложности с элементами сложной формы:
 - 1) проанализировать построение основания детали «Фланец» с применением операции «Круговой массив»;
 - 2) проанализировать построение эскиза с применением операций группы «Параметризация».

- анализ работоспособности алгоритмов построения криволинейных поверхностей при построении 3D-моделей;
- подготовка методических материалов по обучению работы с ПМ CAD «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.

Теория

В выводах по начальному этапу исследования, исходя из того, что студенты тестирували ПО без каких-либо предлагаемых алгоритмов построения, используя только свои навыки работы в известных ПО, были заданы следующие критерии анализа работоспособности тестируемого ПМ сравнительного характера:

- 1) функциональное назначение;
- 2) удобство и понятность интерфейса, интуитивный уровень его освоения;
- 3) производительность – быстрота построения одинаковых деталей.

На следующем этапе у нас уже появились алгоритмы построения 3D-моделей, выполненных и описанных по результатам этапа 1, критерии слегка скорректировали:

- 1) функциональное назначение конкретных операций и исследование двух алгоритмов построения в САРУС и сравнение их с алгоритмом построения в КОМПАС-3D;
- 2) удобство и понятность интерфейса, интуитивный уровень его освоения;
- 3) производительность – быстрота построения одинаковых деталей.

Аналитическое сравнение в данном случае также имеет качественный характер. Даже производительность зависит не только от количества операций, необходимых для построения 3D-модели. Здесь большую роль играют опыт конструктора, умение применить оптимальный алгоритм построения, ведь одну и ту же модель можно создать, используя разные операции [2].

Этап 3 отличается уже рефлексивным пониманием ПМ CAD «САРУС»: имея операции и функции построения, идентичные большинству САПР в области 3D-моделирования, эта САПР имеет отличную от, например, известного и хорошо освоенного КОМПАС-3D, логику построения.

При попытке освоить программный модуль (ПМ) CAD интуитивным способом пользователи встречаются с непониманием несрабатывания функций, когда, казалось бы, все действия и приёмы выполняются. Практическая работа в ПМ показала, что при построении 3D-моделей даже сложных деталей они действительно срабатывают, только надо правильно спроектировать и задать во всплывающем окне все необходимые действия.

Предлагаем несколько рекомендаций при начальном освоении ПМ.

1. Построить 3D-модель здесь можно двумя способами: по примитивам и по эскизу. Третий способ – комбинированный, тоже возможен и часто оптимален.

2. Большую роль здесь играет система координат (СК или ЛСК (локальная)). При построении разных элементов детали её необходимо перемещать по осям в соответствии с размерами и расположением элемента детали в пространстве, особенно при построении по примитивам. Если при построении по эскизу существует новая плоскость, ЛСК перемещается автоматически при указании этой плоскости [6].

3. Булевы операции рекомендуются к постоянному вниманию: если булева операция не задана или отмечена неправильно, построение будет невозможно [7].

4. При выборе операции всплывает окно. Его необходимо внимательно изучить и выбрать те функции, которые необходимы в Вашем случае. Обратите внимание на галочку ОК во всплывающем окне. Если она зелёная, операция выполнена полностью, по ней можно кликать для завершения операции.

При построении активно пользуемся документами [5, 8, 9, 10].

Перед началом работы необходимо хорошо ознакомиться с «Лентой» документа «Модель», где выбираются операции и осуществляются функции построений заданных поверхностей (рис. 1). Здесь есть возможность выбора способа построения «По эскизу» с геометрическим построением в 2D (a) или

«Примитиву» с автоматизированным построением простейших геометрических фигур (*б*); выбрать 3D-операции для построения объёмной поверхности (*в*); построить элементы модели (*г*); а также использовать вспомогательные (*д*) и дополнительные (*е*) функции построения и т.д.



Рис. 1. Панель «Лента» в программном модуле CAD «САРУС»

Результаты экспериментов

1. Анализ построения основания детали «Фланец» с применением операции «Круговой массив».

1.1. Анализ детали «Фланец»

Особенностью детали «Фланец» (рис. 2) можно определить наличие дискового элемента с волнистой гранью. Все остальные элементы детали имеют достаточно простую форму и понятный алгоритм построения 3D-модели.

- a) Рассмотрим построение основания в виде диска с волнистой поверхностью.
 - b) Проведём построение с показом истории операций детали «Фланец».

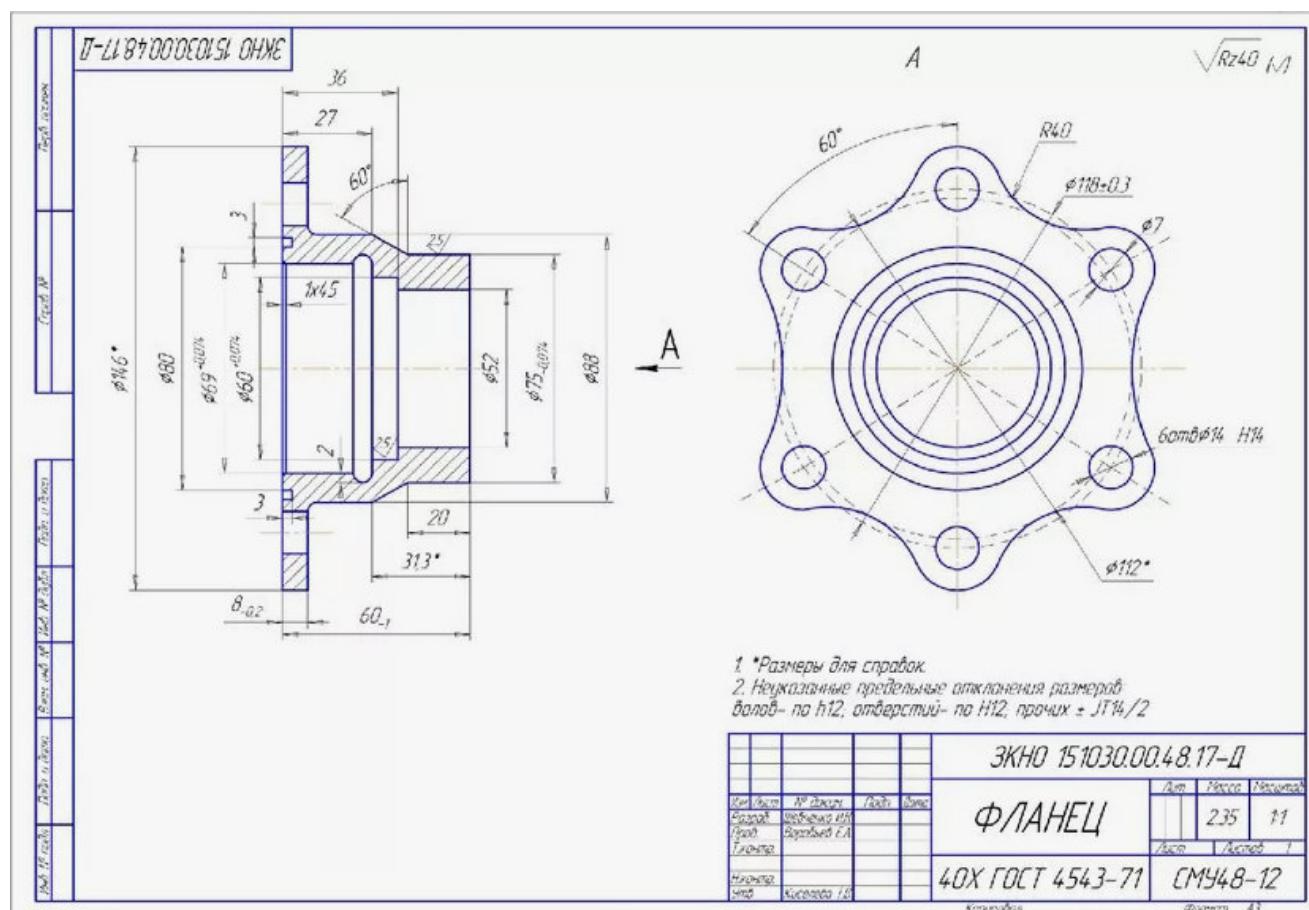


Рис. 2. Чертеж детали «Фланец»

1.2. Построение основания по эскизу с применением операции «Круговой массив».

- Эскиз представляет собой 6 отв. $\varnothing 14$, расположенных на окружности $\varnothing 118$ и углом 60° между ними. Для точного построения строим одну окружность и с помощью команды «круговой массив», копируем окружности с выставлением нужного угла между ними.

- С помощью центра одной из построенных окружностей строим дугу R15. Повторяем операцию «круговой массив», размножая построенную дугу (рис. 3).

Сразу замечаем сбой построения (отмечен красным эллипсом на рис. 3). Забегая вперёд, заметим, что не удалось этот элемент построения исправить при реализации данного алгоритма (рис. 4).

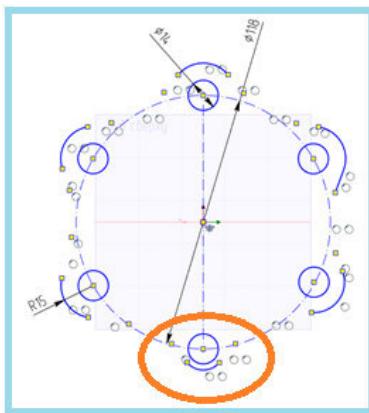


Рис. 3. Эскиз построения с применением операций «круговой массив» со сбоем построения

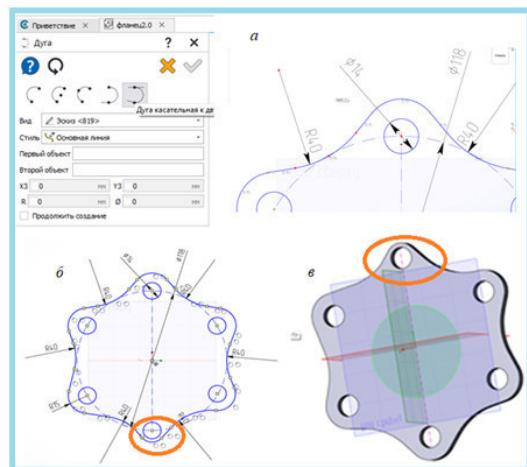


Рис. 4. Построение рассматриваемого элемента по эскизу:
 а – с помощью команды «дуга» под тип «дуга, касательная к двум прямым» – создание объекта «дуга» между двумя кривыми; б – эскиз со сбоем; в – 3D-модель элемента, построенная операцией «Вытягивание»

Мы проводили практико-ориентированное исследование операции «Скругление» при построении моделей на протяжении тестирования ПО «САРУС». Эта операция достаточно сложна, всегда вызывала моменты несрабатывания. Однако в последней версии показала достаточно хороший результат.

В данном случае мы пытаемся построить 2D-скругления. Выполнялось большое количество перестроений разными способами, но с одной логикой, которые не принесли положительного результата. Анализируя результат построения, можно заключить, что, видимо, большое число элементов вызывает сбой программы и применение множества криволинейных поверхностей в одной операции в данной версии программы ограничено.

Вывод: необходимо искать другой способ построения рассматриваемого элемента в 2D-формате.

2. Анализ построения эскиза основания с применением операций группы «Параметризация»

2.1. Параметризация является мощным инструментом в современном конструкторском проектировании, и ее внедрение в рабочие процессы способствует повышению качества и эффективности разработки сложных деталей. Необходимо пояснить, что процесс, если не имеешь опыта, достаточно трудоёмкий, построения должны быть аккуратными и точными. Зато здесь при построении не имеют значения размеры – они устанавливаются для завершения этапов построения.

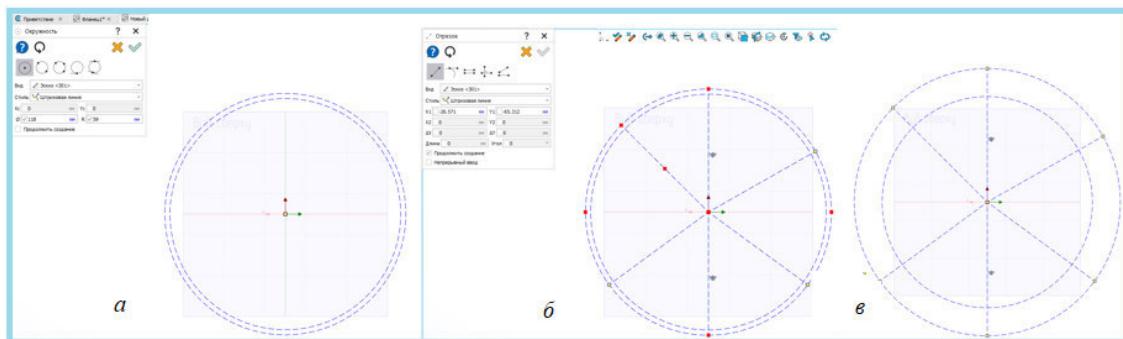


Рис. 5. Подготовка эскиза к параметризации

а) На выбранной плоскости строим две соосные окружности диаметром 118 мм и 112 мм штриховой линией. Эта линия играет роль вспомогательной при построении, но является образующей при параметризации (рис. 5, а). Проводим из центра окружностей шесть отрезков тоже штриховой линией, соблюдая примерное их расположение. Отрезки привязываем к окружности диаметром 118 мм (рис. 5, б). Привязку можно проверить, потянув за окружность, – при изменении диаметра она тянет за собой отрезки (рис. 5, в).

б) В группе «Параметризация» выбираем операцию «Ограничение» (рис. 6). Каждое ограничение на эскизе отобразится специальным значком (рис. 6, а). Фиксируем размеры окружностей: они стали черного цвета, что говорит о срабатывании ограничений параметризации.

Ставим ограничения на расположение отрезков:

- ставим один угловой размер 60° (рис. 6, б);
- позицию остальных линий можно ограничить ещё рядом угловых размеров. Но они будут загромождать эскиз. Выбираем симметрию;
- если эскиз правильно параметризован, он становится черным (рис. 6, в);
- эскиз может быть переопределён или сформирован с ошибкой. Тогда он принимает оранжево-желтый цвет (рис. 6, г).

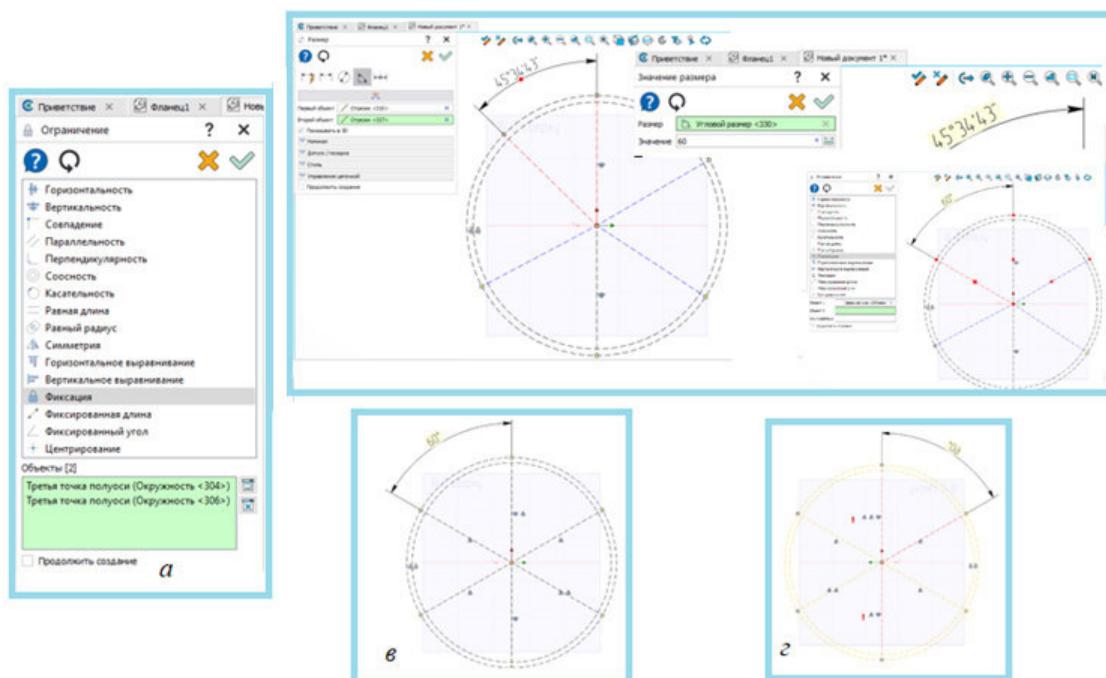


Рис. 6. Этап параметризации эскиза: наложение ограничений

в) Формируем криволинейную поверхность. Для этого выбираем операцию «Дуга» (рис. 7):

- для выпуклых дуг выбираем тип дуги «по центру, точке и углу». Строим без размеров, но небольшим радиусом, сопоставимым с размерами чертежом детали (рис. 7, а);

- вогнутые дуги строим по типу «дуга, касательная к двум прямым». Точки, определяющие прямую, выбираем на выпуклой дуге, иначе получаем «абракадабру» – сбой построения, как, например, на рисунке 8. Нижнюю точку дуги определяем, как она строится – впоследствии сделаем ограничение по касательности к окружности диаметром 112 мм, согласно чертежу (рис. 7, б);

- ставим ограничения ко всем дугам – по равенству диаметров, предварительно поставив радиус вогнутой дуги 40 мм. Ограничиваем вогнутые дуги касательной к диаметру 112 мм;

- лишние кривые обрезаем, найдя в группе «Линии» операцию «Кривые: обрезка/удлинение кривой»;

- полностью параметризованный эскиз постепенно приобретёт черный цвет. Если что-то останется синим, надо найти ограничение, которого не хватает (рис. 7, в).

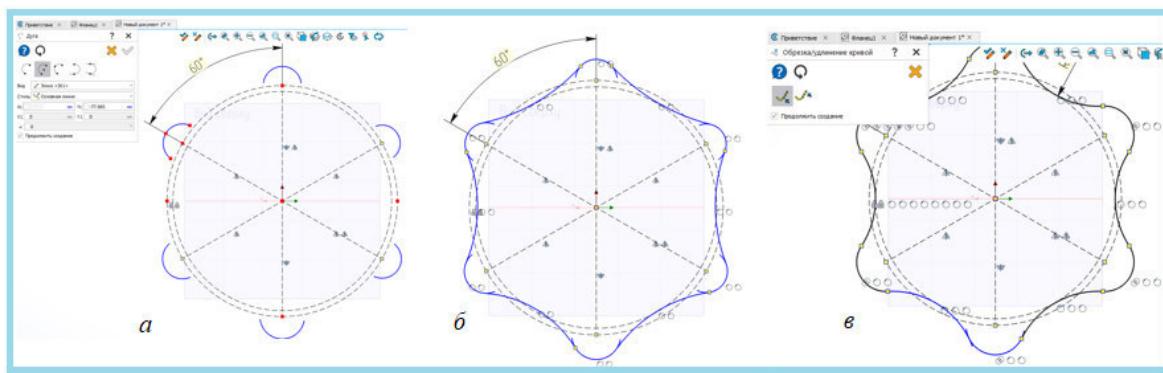


Рис. 7. Построение и параметризация дуг

г) Эскиз завершаем построением шести окружностей диаметром 14 мм (рис.8, а). Аккуратность построения соблюдаем, выделяя только те кривые, ограничения по которым выполняем. Иначе получаем обещанную ранее «абракадабру» (рис. 8, б). Отверстия также можно ограничить равенством диаметров и найти недостающее ограничение, например, проставить размер (рис. 8, в). Но для дальнейшего построения их включать в параметризированный эскиз необязательно. 3D-модель, выполненная операций «Вытягивание» на расстояние 8 мм, создается (рис. 8, г).

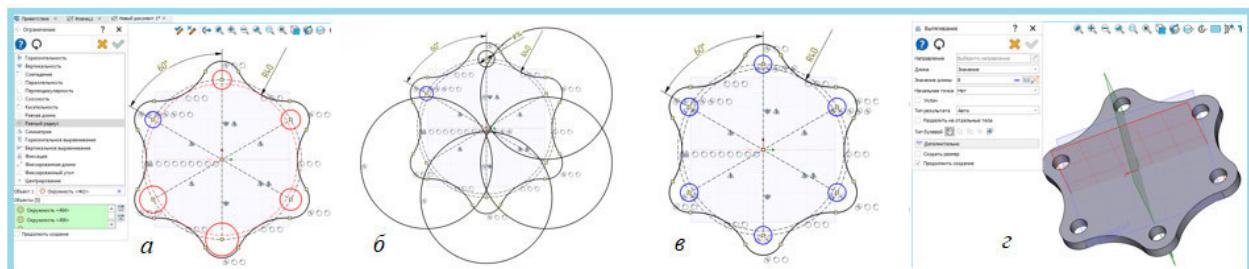


Рис. 8. Результат построения 3D-модели с криволинейной поверхностью с применением группы операций «Параметризация»

3. Завершение создания 3D-модели детали «Фланец»

3.1. Построение 3D-модели детали «Фланец» продолжим с применением ранее изученных операций. 3D-модель детали «Фланец» показана на рисунке 9, навигатор построения модели – на рисунке 10.

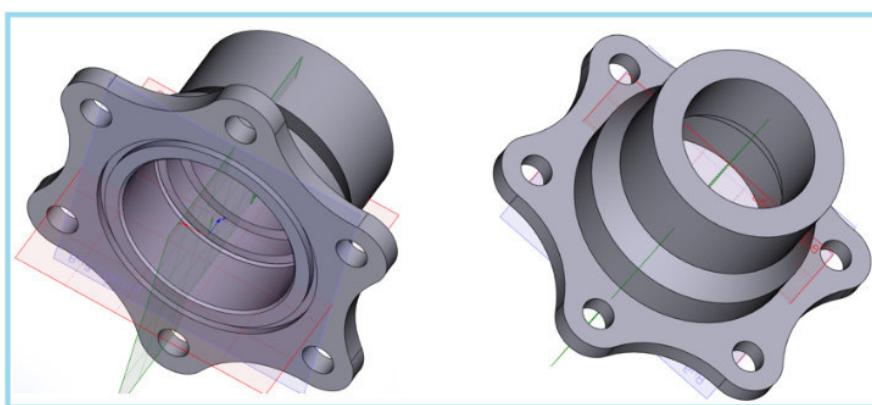


Рис. 9. 3D-модель детали «Фланец», представленная в разной ориентации

Обсуждение результатов

В данной версии ПО «САРУС» 2024.2.1.1-VNF возможность построения сложных деталей, вплоть до IV конструктивной группы сложности, определяемых как «особо сложные детали (преимущественно отливки) с пространственными расположениями поверхностей» [3].

Как и в любом ПО, здесь необходимо нарабатывать практический опыт, определяемый не столько интуитивностью пользования CAD, сколько рефлексивным пониманием логики работы CAD «САРУС». Логика вырабатывается пользователем, некоторые основные её положения мы попытались отразить в данном методическом руководстве.

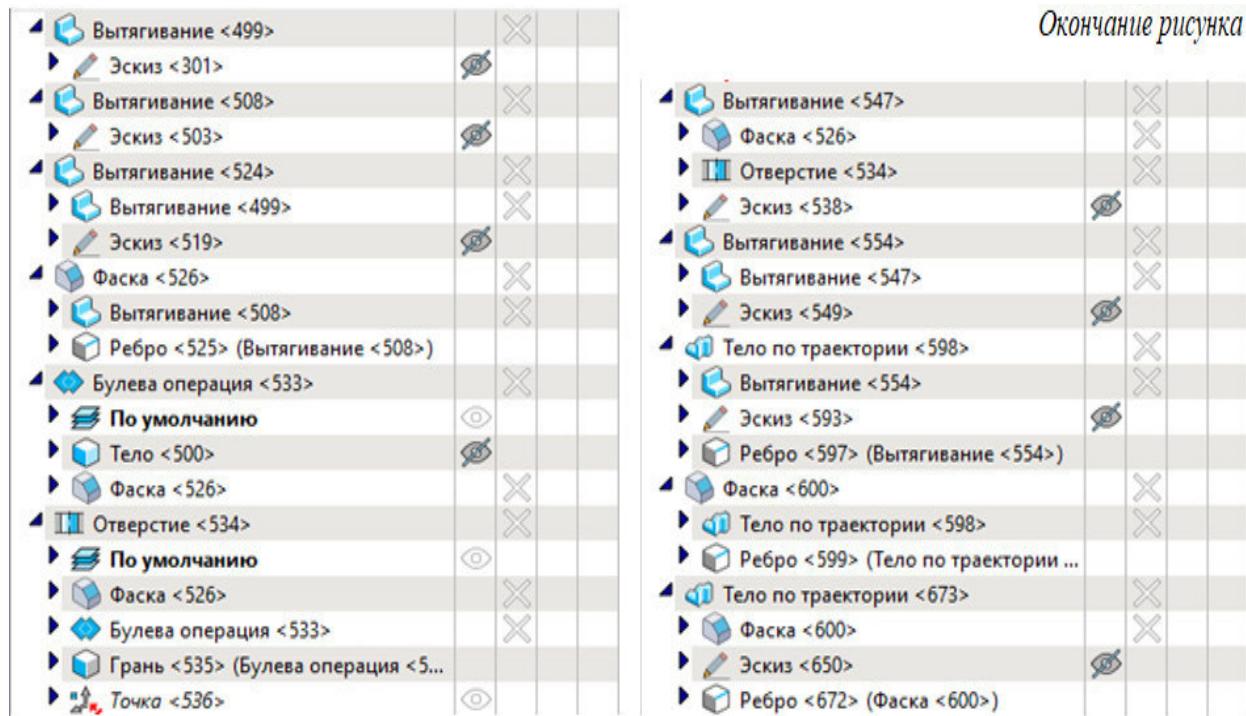


Рис. 10. История операций построения детали «Фланец»

Во избежание ошибок построения при большом количестве линий в эскизе, рационально использовать операции группы «Параметризация». При этом важно обратить внимание на то, что эскиз приобретает черный цвет. Это значит, что он определен. В Навигаторе модели в Истории построения эскиз не должен быть подсвечен красным знаком (!). Проверить, определён ли эскиз, можно, изменения размеры.

Для успешной работы в CAD рекомендуется при пробных работах изучить как можно больше операций и функций для выбора оптимального алгоритма построения. Сделаем заключение по функциям и операциям, применяемым нами при создании 3D-модели.

Следует иметь в виду, что в данной CAD на сегодняшний момент трудоёмкость построения выше, чем в других, давно используемых CAD, например, «Компас-3D». Требуются частые расчёты размеров и координат, поэтому рекомендуется выбрать способ информационного обмена, удобный для пользователя (можно расчёты «держать в голове», можно записывать и т.п.). Однако эта трудоёмкость часто обусловлена правилами работы с платформой ПО. Так, выставленные в 3D-модели координаты не изменяются или корректируются незначительно в CAM «САРУС» при разработке управляющих программ [6].

Булева операция здесь имеет свою логику применения. «Сверхзадачей» булева алгоритма является способность работать и выдавать адекватный результат на произвольных пользовательских данных. Булева операция дает инженеру полную свободу в формообразовании, не привлекая каких-либо кинематических соображений (как, например, операция «заметания» вдоль траектории). Платой за гибкость является повышенная сложность подготовки операндов, так как булев алгоритм не является предметно-ориентированным, т.е. формируя конструктивный элемент посредством БО, инженер должен сам позаботиться о соблюдении всевозможных ограничений моделирования» [7].

При построениях выявлено некорректное выполнение некоторых функций:

- «САРУС» не имеет функцию отображать степени свободы, что немаловажно при построении параметризированного эскиза;

- «САРУС» не ловит оси начала координат при попытке создания кругового массива;
- «САРУС» не позволяет отменить выделенную линию путем повторного нажатия на нее;
- «САРУС» не ловит привязки к центру созданной ранее окружности;
- «САРУС» не позволяет вырезать в двух направлениях сразу, в каждом направлении на свою глубину, т.е. не создает отдельные параметры для каждого направления;
- «САРУС» некорректно отображает операцию «круговой массив»;
- в ПО «САРУС» некорректно работает строка отката в дереве;
- «САРУС» некорректно производит операцию «усечение кривой»;
- «САРУС» на данный момент не имеет рабочей функции «создать исполнение». Она есть, но только в замысле;
- «САРУС» начинает зависать и вылетать, если делать много операций за один подход; также при сохранении в абсолютно случайном порядке программа зависает и вылетает.

Однако, надо отметить, что эти недостатки выявлены из-за недостаточного опыта работы в САПР.

Заключение

В ходе проведенного исследования была успешно продемонстрирована эффективность параметризации как метода оптимизации построения криволинейных поверхностей в модуле CAD системы «САРУС». На примере детали «Фланец» проанализированы ключевые этапы работы, включая применение операций «Круговой массив» и группы «Параметризация», что позволило выявить преимущества и особенности данного подхода.

Использование параметризации значительно упростило процесс проектирования, обеспечив гибкость и точность моделирования. Благодаря наложению ограничений и корректному выбору типов дуг удалось избежать ошибок построения и добиться полной управляемости модели. Это особенно важно при работе со сложными фасонными формами, где традиционные методы могут оказаться недостаточно эффективными.

Результаты работы подтвердили, что параметризация не только ускоряет процесс создания 3D-моделей, но и повышает их точность и адаптивность к изменениям. Это открывает новые возможности для проектирования в рамках системы «САРУС» и других CAD-решений.

Доработки в СПЖЦ «САРУС» требуют многие функции. Наиболее явные из них – удаление и редактирование отрезков и линий эскиза, доработка в целом команды «Обрезка/удлинение прямой», «Разделение кривой», потому что в некоторых случаях эти команды работают некорректно. При выполнении возврата предыдущей операции велика вероятность перестройки эскиза в абсолютно случайном порядке и с непредсказуемым исходом, впоследствии восстановление наработки является труднодостижимой задачей.

В основном нам нравится логика построения деталей в СПЖЦ «САРУС». Программа отличается своим функционалом от других CAD, CAM-систем тем, что в ней есть полный жизненный цикл изделия. В моделировании присутствуют новые команды, которые еще не доводилось применять, но если они будут так же полезны, как примитивы, то СПЖЦ «САРУС» станет намного интереснее и полезнее многих CAD, CAM-систем.

По результатам исследования разработано методическое пособие «СПЖЦ «САРУС». Пользовательские сценарии создания 3D-моделей деталей средней сложности и сложных с пояснениями и иллюстрациями; методическое руководство по выполнению практических работ по дисциплине «Система полного жизненного цикла изделий "Сарус" RPLM V3» студентами, обучающимися по направлению 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительного производства.

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 – директор института цифровых технологий (ИТЦ) – главный конструктор 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. 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. С. 8–27.
4. Самарина Е.А., Денисова Н.А. Исследование операции «Скругление» в программном обеспечении «Система полного жизненного цикла «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. 766–775.
5. 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.
6. Прыткова 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.
7. Жарков Н.А., Денисова Н.А. Особенности применения булевых операций в программном модуле «Система конструкторского проектирования» // 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. 805–812.
8. Комплекс программ в защищённом исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие»: Программный модуль «Система конструкторского проектирования». Пояснительная записка технического проекта- 07623615.00423-12 81 01.Часть 1. 2021. 924 с.
9. Комплекс программ в защищённом исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие»: Программный модуль «Система конструкторского проектирования». Описание программы 07623615.00423-05 13 01. Часть 2. 2021. 80 с.
10. Комплекс программ в защищённом исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие»: Программный модуль «Система конструкторского проектирования». ПЗ ТП 07623615.00423-04 81 01-4. Часть 4. 2021. 282 с.