

УДК 087.2

DOI: 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-734-743

## Оптимизация построения 3D-модели в СПЖЦ «САРУС» с использованием таблиц переменных

Д. А. Аладкин, И. В. Михайленко, Н. А. Денисова

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

**Аннотация.** В условиях растущих требований к скорости и качеству моделирования эффективное управление параметрами становится ключевым фактором успеха в инженерном и дизайнерском процессах. Перед студентами кафедры специального машиностроения СарФТИ НИЯУ МИФИ поставлена задача тестирования САПР «Система полного жизненного цикла изделия «Цифровое предприятие» (СПЖЦ «САРУС») в связи с переходом РФЯЦ ВНИИЭФ на использование нового комплекса. Процесс тестирования нового САПР предусматривает в Техническом задании выявление и разработку оптимальных алгоритмов создания в ПМ САД 3D-моделей различной сложности с целью обучения будущих пользователей.

Опыт работы в различных САПР (например, Компас-3D, Solid Work и др.) показал, что при построении 3D-моделей результативно используются таблицы переменных. Концепция таблиц переменных заключается в использовании структурированных данных для управления параметрами 3D-моделей. Таблицы переменных позволяют централизованно хранить и изменять ключевые параметры, что упрощает процесс моделирования и минимизирует ошибки при внесении изменений.

В статье рассматривается подход к оптимизации процесса создания 3D-модели на примере создания 3D-модели детали «Сфера» в СПЖЦ «САРУС» с использованием таблиц переменных.

**Ключевые слова:** программный модуль САД, 3D-моделирование, таблицы переменных, параметрическая модель, связывание переменных.

## Optimization of the construction of a 3D model in the SARUS FLCS using tables of variables

D. A. Aladkin, I. V. Mikhailenko, N. A. Denisova

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

**Abstract.** With increasing demands on the speed and quality of modeling, effective parameter management is becoming a key success factor in engineering and design processes. The students of the Department of Special Mechanical Engineering of the SarPhTI of the National Research Nuclear University MEPhI were tasked with testing the CAD "Digital Enterprise Product Full Life Cycle System" (FLCS SARUS) in connection with the transition of the RFNC VNIIEF to the use of a new complex. The process of testing the new CAD provides in the Terms of Reference for the identification and development of optimal algorithms for creating 3D models of various complexity in PM CAD in order to train future users. Experience in various CAD systems (for example, Compass-3D, Solid Work, etc.) has shown that tables of variables are effectively used when building 3D models. The concept of variable tables is to use structured data to control the parameters of 3D models. Variable tables allow you to centrally store and change key parameters, which simplifies the modeling process and minimizes errors when making changes. The article discusses an approach to optimizing the process of creating a 3D model using the example of creating a 3D model of the Sphere part in the FLCS SARUS using tables of variables.

**Keywords:** CAD software module, 3D modeling, tables of variables, parametric model, linking variables.

### Введение

В условиях растущих требований к скорости и качеству моделирования эффективное управление параметрами становится ключевым фактором успеха в инженерном и дизайнерском процессах. Процесс тестирования нового САПР «Система полного жизненного цикла изделия «Цифровое предприятие» (далее – СПЖЦ «САРУС»), разрабатываемого во РФЯЦ-ВНИИЭФ, предусматривает в Техническом задании выявление оптимальных алгоритмов создания в ПМ САД, входящего в СПЖЦ «САРУС», 3D-моделей различной сложности [1].

Опыт работы в различных САПР (например, Компас-3D, Solid Work и др.) показал, что при построении 3D-моделей результативно используются *таблицы переменных*. Концепция таблиц переменных заключается в использовании структурированных данных для управления параметрами 3D-моделей. Таблицы переменных позволяют централизованно хранить и изменять ключевые параметры, что упрощает процесс моделирования и минимизирует ошибки при внесении изменений.

С целью тестирования программного модуля САД СПЖЦ «САРУС» проведен анализ срабатывания функций создания, как пример, 3D-модели детали «Сфера» с использованием таблицы переменных в операции «Редактор переменных» [2]. **Основное её назначение** – быстрое присвоение значений внешним переменным файла, вставляемого в другой документ. Кроме того, таблицу переменных можно использовать для изменения текущих значений переменных в самом файле, содержащем таблицу. В качестве примера к рассмотрению предлагается создание 3D-модели детали «Сфера», имеющей сложную геометрическую форму по классификации А.П. Соколовского [3; 11-12] (рис. 1).

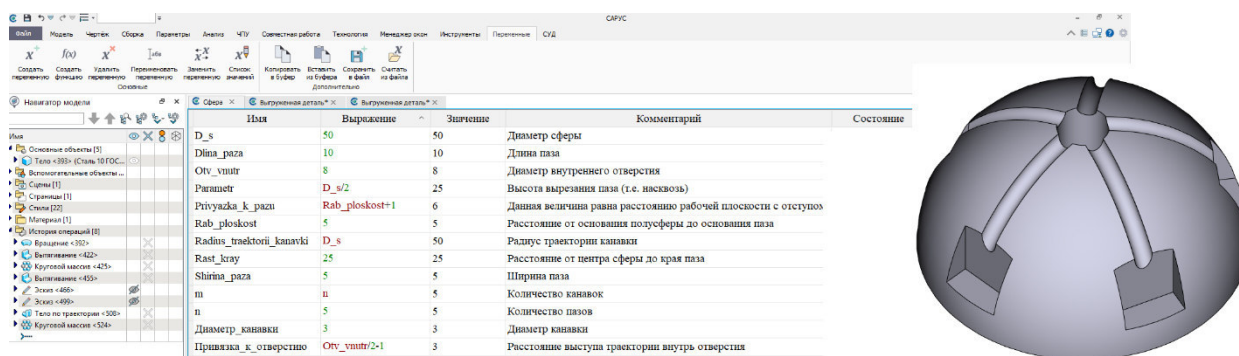


Рис. 1. 3D-модель детали «Сфера», созданная в САПР «САРУС» с использованием таблиц переменных

Одна из особенностей построения 3D-моделей заключается в способе параметризации размеров, которая осуществляется через операции группы «Редактор переменных». На начальном этапе моделирования конструктор базируется на СК, которой следует на протяжении всего процесса [4]. Традиционное построение элементов эскиза всегда сопряжено с изменением численных значений размеров детали. Постоянный пересчёт размеров в процессе построения усложняет задачу и ведёт к трудоёмкости её решения. Для снижения сложности построения в работе проверяется возможность создания эскиза через назначение переменных табличным способом. Это значительно упрощает трудоёмкость моделирования, что можно рассматривать как оптимизацию процесса.

В данной работе мы провели сравнение функции «Таблица переменных» в системе трехмерного моделирования КОМПАС и модуля САД в СПЖЦ «САРУС».

### Постановка задачи

Общее направление практико-ориентированного исследования сформулировано как исследование оптимальных алгоритмов построения криволинейных поверхностей в ПМ САД ПО «СПЖЦ «САРУС». Тестирование началось с изучения алгоритмов построения криволинейных поверхностей в ряде знакомых нам САПР, например, «Компас-3D», и дальнейшего аналитического сравнения сложности и производительности построений с СПЖЦ «САРУС». Далее осуществлялась разработка алгоритмов создания 3D-моделей простых, средней сложности и сложных деталей с разным типом криволинейных поверхностей с применением разных 3D-операций, делался аналитический вывод рациональности построений, выявлялись недостатки построения криволинейных поверхностей в ПО СПЖЦ «САРУС», формулировались рекомендации для доработки ПМ САД [3].

Исходя из общего плана исследования целью данной работы мы определили практико-ориентированное исследование возможности снижения сложности построения 3D-моделей сложных деталей, образованных криволинейными поверхностями при создании эскиза через назначение переменных табличным способом, предлагаемых интерфейсом программного модуля САД, входящего в систему СПЖЦ «САРУС».

#### Задачи:

- Анализ практического опыта способов работы с таблицами переменных в программном обеспечении «КОМПАС-3D».
- Сравнительный обзор функции «Таблица переменных» в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D и модуля САД в СПЖЦ «САРУС».
- Формулировка рекомендаций для доработки ПМ САД.

- Подготовка методических материалов по обучению работы с ПМ CAD вышеназванной программы 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.

Объектом исследования укажем ПМ CAD ПО «СПЖЦ «САРУС».

Предмет исследования – возможности предлагаемых операций построения 3D-моделей деталей с элементами криволинейных поверхностей в системе сквозного проектирования СПЖЦ «САРУС».

## Теория

Таблицы переменных (таблицы значений внешних переменных) – инструмент в системах автоматизированного проектирования (САПР), который содержит предопределённые значения внешних переменных файла. Такие таблицы используются:

- для создания исполнений деталей – например, для типовых деталей, отличающихся размерами, которые помещены в таблицу;
- реализации базы стандартных элементов – таблица переменных помогает реализовать базу данных с изменяемыми параметрами;
- работы с вставкой файла (компонента или фрагмента) с внешними переменными в другой документ – из таблицы выбирается строка, каждая ячейка которой содержит значение одной внешней переменной, и эти значения присваиваются внешним переменным вставляемого файла.

Таблицы переменных позволяют централизованно хранить и изменять ключевые параметры, что упрощает процесс моделирования и минимизирует ошибки при внесении изменений.

Структура таблиц обычно включает колонки для названий переменных, их значений и описаний, что обеспечивает ясность и удобство использования.

Например, «Таблица переменных» в «КОМПАС-3D» организована следующим образом (рис. 1):

- первая строка, начиная со второй ячейки, содержит имена переменных — заголовки столбцов таблицы;
- первый столбец, начиная со второй ячейки, содержит комментарии к строкам;
- остальные ячейки содержат значения переменных.

Комментарий	z	d	D	b	d1	a	c	r
Легкая серия, z=6	6	23	26	6	22.1	3.54	0.3	0.2
Легкая серия, z=8	8	32	36	6	30.4	2.71	0.4	0.3
Средняя серия, z=8	8	36	42	7	33.5	1.02	0.4	0.3
Средняя серия, z=10	10	82	92	12	77.1	3	0.5	0.5

Рис. 1. Окно «Таблица переменных» в Системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D

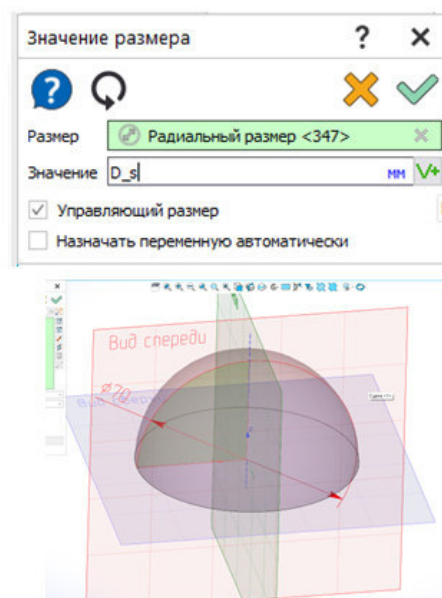


Рис. 2. Пример параметризации образмериванием диаметра окружности в СПЖЦ «САРУС»

Можно выделить особенности работы с «Таблицей переменных» в «КОМПАС-3D»: если в файле уже есть внешние переменные, можно использовать функцию «Читать внешние переменные», тогда в таблице появятся столбцы, соответствующие имеющимся внешним переменным файла.

Можно выбрать способ отображения во время вставки файла в другой документ таблицы «по умолчанию» – отображение всей таблицы или отображение первого столбца (только комментариев к строкам).

Методы параметризации включают:

1. *Параметрические модели* представляют собой подход, при котором модель определяется через набор параметров. Эти параметры могут быть изменены для анализа различных сценариев и оптимизации результатов. Например, инженерные конструкции: параметры, такие как размеры и материалы, могут быть настроены для достижения оптимальных характеристик конструкции (рис. 2).

2. *Связывание переменных* позволяет установить взаимосвязи между различными параметрами модели. Это может помочь в более точном управлении системой и улучшении ее производительности.

3. *Алгоритмы автоматизации* для динамического обновления моделей на основе изменений исходных данных, что повышает эффективность и точность проектирования.

Преимущества использования таблиц переменных в САПР:

- Удобство работы с несколькими исполнениями детали. Таблицы переменных позволяют унифицировать деталь, работать с несколькими вариантами без необходимости создавать отдельные эскизы.

- Возможность изменять геометрию без редактирования эскизов. Переменные позволяют работать с геометрией в параметрическом режиме, что упрощает процесс.

- Использование для поиска оптимального решения в оптимизационных задачах. Значения переменных, полученные в результате решения таких задач, могут применяться для создания проекта анимации.

- Использование для создания анимации. Например, с помощью переменных можно создавать эффект зубчатого зацепления, не прибегая к методу подбора.

Таким образом, таблицы переменных облегчают работу в САПР, позволяя выполнять различные задачи с минимальными усилиями и временем и способны:

- ✓ автоматизировать процесс: быстро обновлять модели при изменении значений в таблице;
- ✓ упрощать управление: легко редактировать и отслеживать параметры;
- ✓ к гибкости: возможности быстро адаптироваться к новым требованиям без необходимости ручного редактирования каждой модели.

Существуют некоторые ограничения таблиц переменных в САПР:

- Требования к формату файла. Например, в «КОМПАС-3D» импортируемая таблица не должна содержать полностью пустых строк или столбцов, а ячейки значений переменных могут содержать только действительные числа.

- Ограничения при импорте данных. Если таблица содержит данные неверного формата, то при импорте они заменяются на «0». Такое же сообщение появляется, если в импортируемой таблице есть пустые или объединённые ячейки.

- Ограничения при работе с ограничениями. Если наложено меньше ограничений, чем требуется, некоторые параметры не могут быть однозначно определены и могут изменяться в некотором диапазоне значений. В таких случаях говорят, что чертёж имеет степени свободы.

- Ограничения при работе с сборками. Переопределённая сборка содержит больше ограничений, чем требуется для взаимного расположения деталей в пространстве. Несовместимая сборка содержит параметрические ограничения, текущие значения которых невозможно удовлетворить.

## Результаты экспериментов

1. *Описание процесса создания 3D-моделей в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D с использованием таблиц переменных.*

Рассмотрим создание 3D-модели поэтапно. Выполнение каждого этапа проиллюстрировано на рисунках 3–8.

На этапе 1 (рис. 3) создаем эскиз (рис. 3, а) и задаем переменную (рис. 3, б).

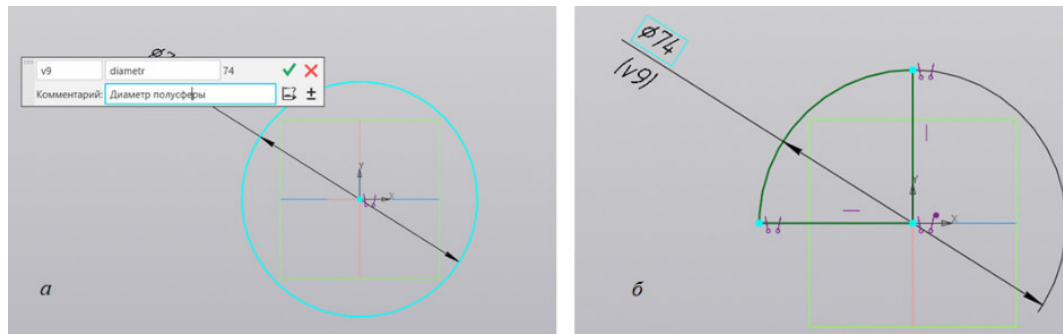


Рис. 3. Этап 1: а – создание эскиза; б – задание переменной

Этап 2 – создаем чертеж полусферы (рис.4, а) и при задании размера укажем переменную «diameter», также можно добавить в столбец «Комментарий» запись «Диаметр полусферы» для памяти и удобства дальнейшего использования таблицы. Выбираем функцию «Элемент вращения» и выбираем ось вращения для создания полусферы. Во вкладке переменные заполнилась первая строка таблицы (рис. 4, б).

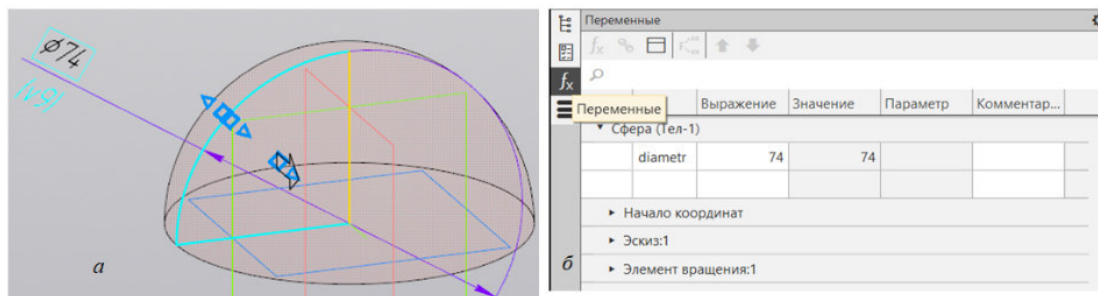


Рис. 4. Этап 2: а – создание чертежа полусферы; б – задание переменной в «Таблице переменных»

Этап 3 – создадим эскиз для сквозного отверстия в центре полусферы (рис. 5, а). Применяем операцию «Вырезать выдавливанием» и указываем высоту равную половине диаметра полусферы, прописывая её как «diameter/2» (рис. 5, б). В таблице переменных появляется новый параметр, численное значение которого мы можем изменять, тем самым меняя численное значение размера модели (рис. 5, в).

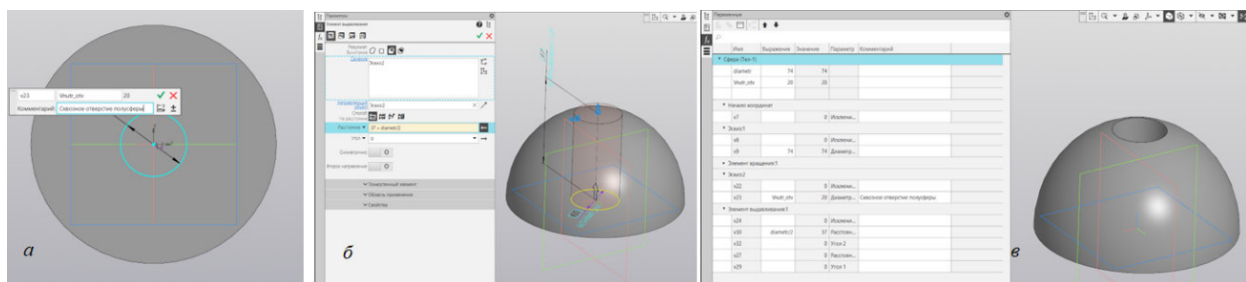


Рис. 5. Создание сквозного отверстия в центре полусферы

Этап 4. Аналогичным образом выполняем дальнейшие операции, при этом параметризируя все переменные. В конечном итоге мы имеем 3D-модель детали со связанной с ней таблицей параметров (рис. 6, а). Для того чтобы таблица переменных работала, нужно каждой переменной задать статус «внешняя» (рис. 6, б). Сохраняем таблицу переменных, привязанную к данной модели, файлом формата «Excel» (рис. 6, в).



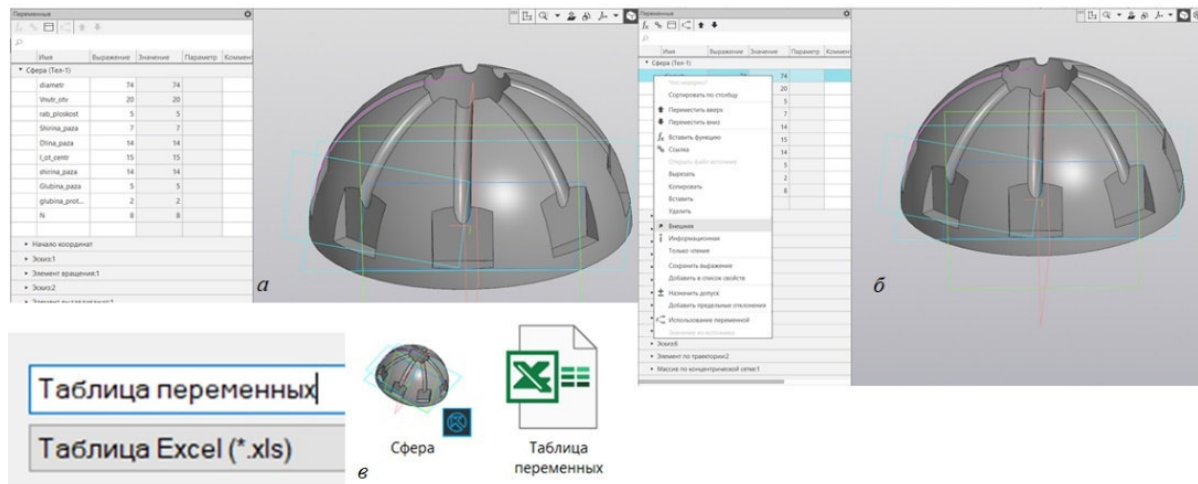


Рис. 6. Итог создания 3D-модели детали «Сфера»:

а – 3D-модель детали «Сфера» со связанной с ней таблицей переменных;

б – присвоение переменным статуса «Внешний»;

в - сохранение таблицы переменных, привязанную к данной модели, файлом формата «Excel»

Этап 5. При изменении численных значений в файле формата «Excel» параметры модели не изменяются сразу. Для этого необходимо открыть модель, перейти во вкладку «Таблица переменных» и кликнуть по функции «Читать из файла» (рис. 5, а).

Далее появится окно, где необходимо подтвердить замену данных таблицы (рис. 7, б).

Затем кликаем на любой столбец из таблицы, появляется кнопка «Присвоить значения переменным», прожимаем её и завершаем операцию, кликнув на функцию «Перестроить модель» (рис. 7, в).

На рисунке 8 показаны модели после изменения численных значений таблицы переменных.

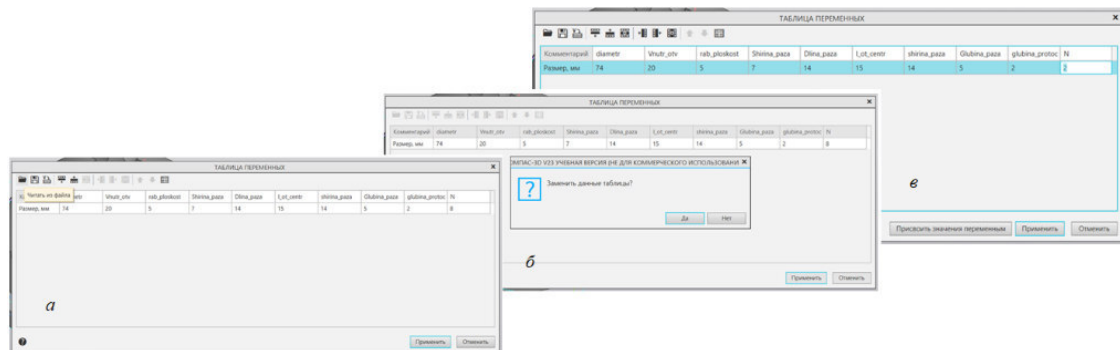


Рис. 7. Этап 5 «Корректировка параметров 3D модели при помощи численных значений таблицы переменных»

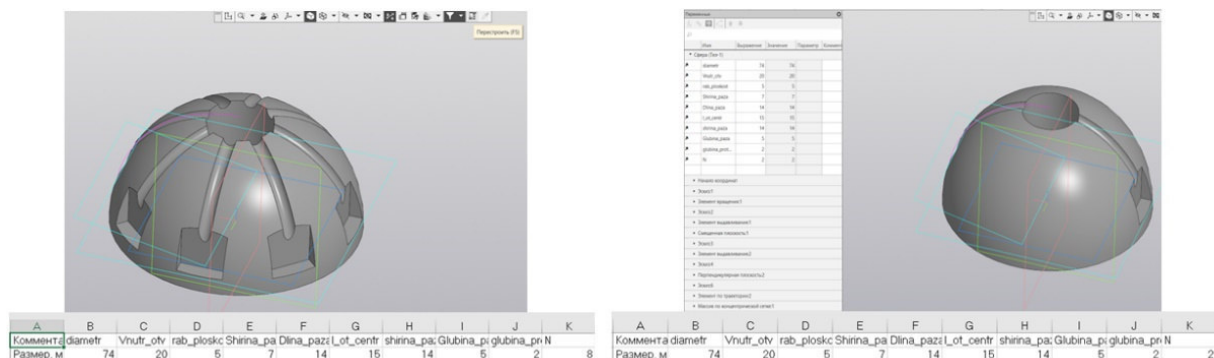


Рис. 8. Демонстрация моделей после изменения численных значений таблицы переменных

Таким образом, мы показали возможность быстрого изменения параметров 3D-модели, изменяя численные значения таблицы переменных в «КОМПАС-3D».

## 2. Исследование процесса создания 3D-моделей в СПЖЦ «САРУС» с использованием таблиц переменных

Процесс создания 3D-модели осуществлялся на обновленной базовой версии продукта 2024.2.1.1-VNF, утверждённой в 2024 году, тоже поэтапно. Выполнение каждого этапа проиллюстрировано на рисунке 9.

Этап 1. Создаём окружность произвольного диаметра и образмериваем её (рис. 9, а). Далее во вкладке «Размер», в графе «Значение», вместо численного значения задаём наименование параметра (по красной стрелке показано увеличенное диалоговое окно с заданием параметров, выделенное красным прямоугольником). В нашем случае наименование параметра «D\_s», его можно задавать как в латинской, так и в русской раскладке (рис. 9, б).

Далее необходимо воспользоваться командой «V+», справа от графы «Значение» (на рис. 9, в показано синей стрелкой, для создания новой переменной). Переходим во вкладку «Параметры» и используем команду «Редактор переменных». После этого будет создан новый документ, содержащий таблицу со всеми параметрами. На данном этапе таблица содержит лишь одну заданную переменную «D\_s». В таблице переменных, в столбце «Выражение» (рис. 9, в по зеленой стрелке), мы можем изменять численное значение размера, тем самым изменяя размер в 3D-модели. В столбце «Комментарий» задаем необходимое описание параметра, например, «Диаметр сферы».

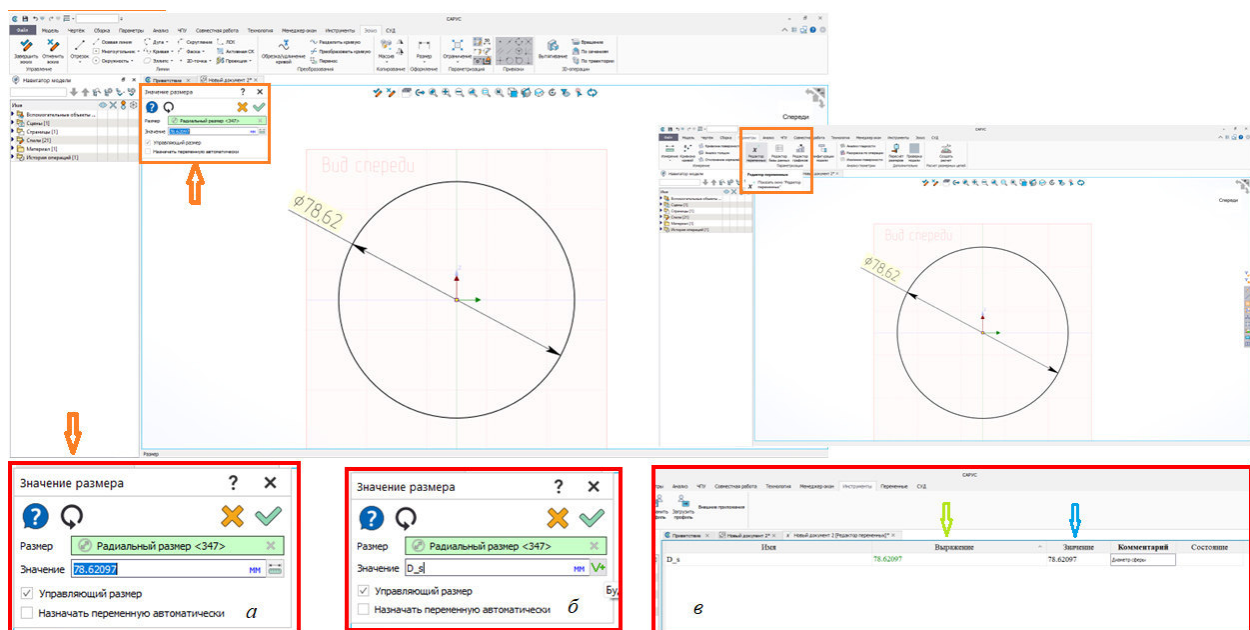


Рис. 9. Этап 1. Создание эскиза

Этап 2. Далее создаем полусферическую деталь с заданным диаметром с помощью команды «Вращение».

Создаем рабочую плоскость, параллельную плоскости вида сверху, и во вкладке плоскости, в графе «Расстояние», вместо численного значения задаем наименование переменной «Rasst\_ot\_osnov». Используем команду «V+» для добавления новой переменной, которая автоматически появится в таблице (рис. 10).

Полусферическую деталь с заданным диаметром создаем с помощью команды «Вращение».

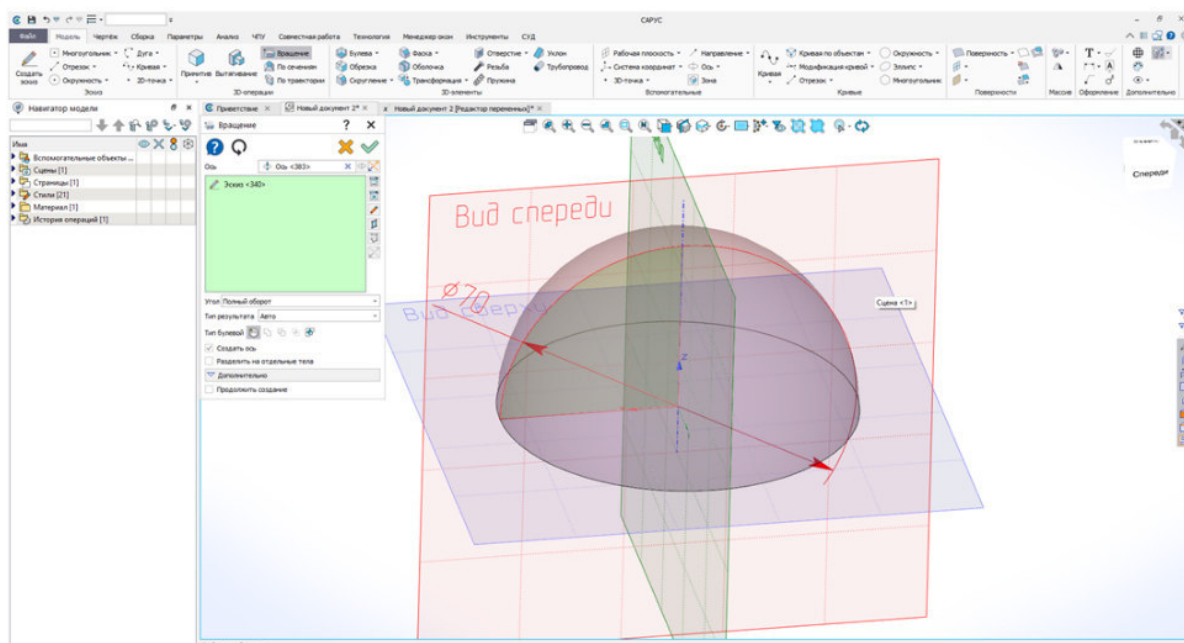


Рис. 10. Этап 2. Создание полусферы

Этап 3. В рабочей плоскости создаем эскиз будущего паза, образмериваем его, с проставлением наименований новых переменных, вместо численных значений (рис. 11).

С помощью операции «Вычитание» вырезаем паз, предварительно заменив в графе «Значение длины» численное значение на наименование переменной «Parametr».

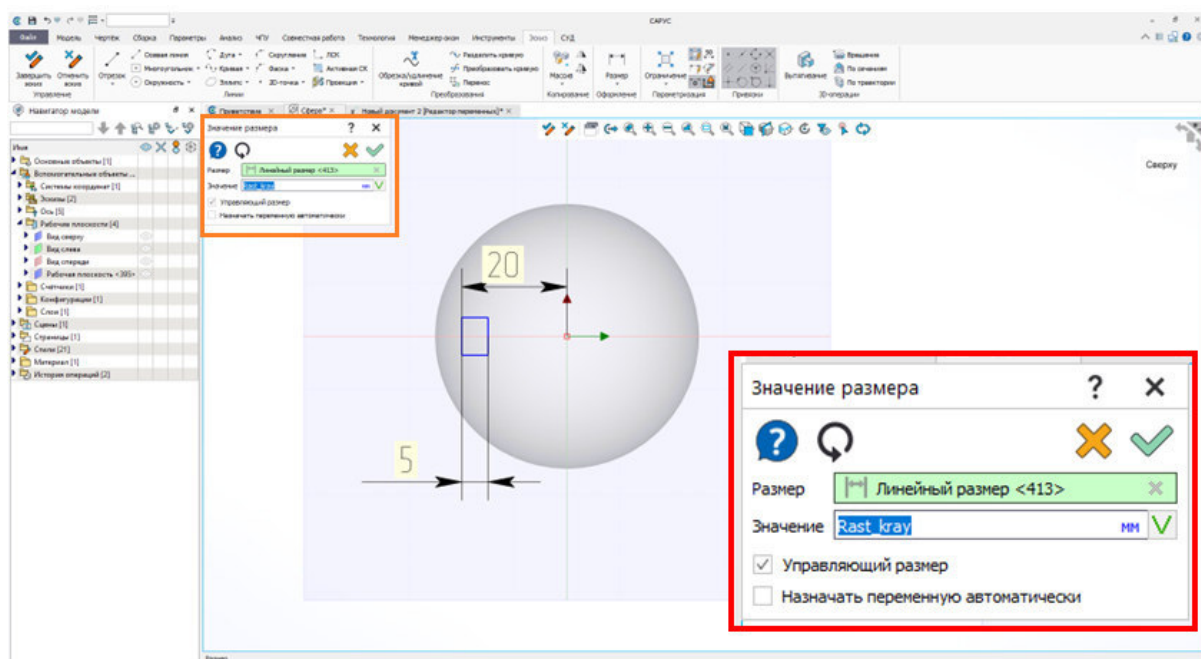


Рис. 11. Этап 3. Задание переменной для требуемой геометрии

Этап 4. Аналогичным образом проделываем дальнейшие операции, при этом параметризуя все переменные. В конечном итоге, мы имеем 3D-модель детали (рис. 12, а1), со связанной с ней таблицей переменных (рис. 12, б1).

Изменяя значения в таблице переменных, мы можем с легкостью редактировать параметры 3D-модели на необходимые нам численные значения (рис. 12, а2, б2).

После завершения работы, можно сохранить таблицу переменных, связанную с файлом, в текстовый документ формата «txt.», содержащий параметры 3D-модели, которую мы также можем



редактировать, изменяя при этом 3D-модель (рис. 12, *в1*, *в2*). Впоследствии при открытии модели для внесения изменений нам необходимо будет воспользоваться командой «Считать из файла».

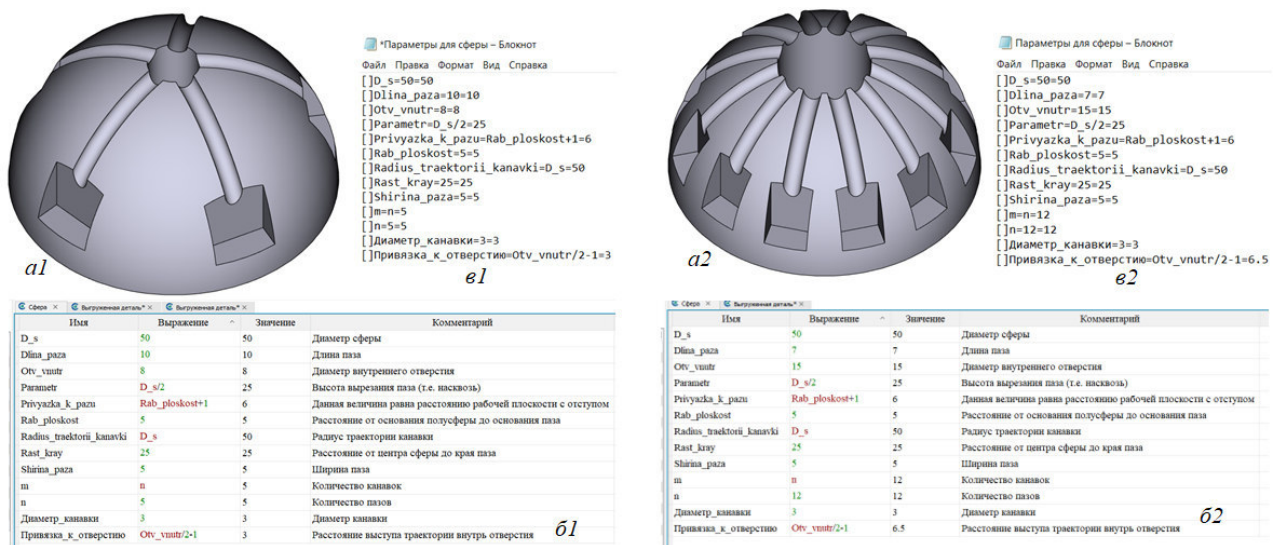


Рис. 12. Этап 4. Демонстрация моделей после изменения численных значений таблицы переменных

## Обсуждение результатов

### 1. Сравнительный анализ функции «Таблица переменных»

После сравнения алгоритмов построения мы увидели, что результат в виде 3D-моделей в обеих программах создан. Однако в процессе работы есть что обсудить.

В таблицу 1 сведены критерии оценки результативности программ, сформулированные по результатам практического опыта и оцененные по оптимальности и удобству реализации функций.

**Интуитивность интерфейса:** в CAD-модуле СПЖЦ «САРУС» интерфейс понятен на интуитивном уровне, нет необходимости долго искать нужную команду.

**Простота реализации:** в CAD-модуле СПЖЦ «САРУС» для реализации функции «Таблица переменных» необходимо использовать меньшее количество операций.

**3D-моделирование:** в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D построение делается проще и быстрее. Это может быть связано в первую очередь с тем, что программа более привычна и имеется опыт работы с ней.

**Корректировка параметров модели:** применить отредактированные данные из сохраненного файла с таблицей переменных намного проще и удобнее в CAD-модуле СПЖЦ «САРУС», по сравнению с системой трехмерного моделирования КОМПАС-3D.

**Визуализация таблицы:** при добавлении переменных в CAD-модуль СПЖЦ «САРУС» таблица переменных имеет более оптимальную визуализацию.

Таблица 1. Сравнительный анализ функции «Таблица переменных» в ПМ CAD САРУС и ПО «КОМПАС-3D»

Характеристика	CAD модуль СПЖЦ «САРУС»	Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D
Интуитивность интерфейса	+	-
Простота реализации	+	-
3D моделирование	-	+
Корректировка параметров модели	+	-
Визуализация таблицы	+	-
Итог	4	1

## **Заключение**

В статье было продемонстрировано создание параметризованных моделей в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D и САД-модуле СПЖЦ «САРУС».

Можно сделать вывод, что функция параметризации размеров и создания таблиц переменных интуитивно понятна и оптимизирована в САД-модуле СПЖЦ «САРУС», также данное программное обеспечение имеет ряд преимуществ для работы на площадках ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ:

- импортонезависимость программного обеспечения, отсутствие санкционных рисков;
- защищенность данных: продукт сертифицирован на обработку данных, содержащих сведения, составляющие государственную тайну;
- полное соответствие требованиям российского законодательства.

Работа предназначена для специалистов в области 3D-моделирования, инженеров и всех заинтересованных в повышении эффективности работы с трехмерными данными специалистов.

## **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 V3 «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.

## **Список литературы**

1. Денисова Н.А., Федоренко Г.А. Применение в учебном процессе вуза тестирования программного модуля САД 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. 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.
3. Отчёт о научно-исследовательской работе «Исследование цифровых технологий и возможностей их отраслевого применения, разработка и тестирование компонентов СПЖЦ V3. (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. 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, 2024. С. 795-804.