

УДК 087.2

DOI: 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-704-714

## Аналитическое сравнение выполнения сборок разной сложности в СПЖЦ «САРУС»

И. Ю. Аберясева, Д. П. Волков, Н. А. Денисова

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

**Аннотация.** Авторы принимают участие в версионном функциональном тестировании вновь разрабатываемого комплекса программ «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие» («САРУС»). Цель исследования – проведение аналитического сравнения выполнения сборок разной сложности средствами программного модуля «Система конструкторского проектирования» (ПМ CAD). В CAD-проектировании создание сборочных моделей является одной из ключевых задач. В результате проделанной работы установлено, что ПМ CAD имеет схожие механизмы получения моделей для проектирования сборок с системами аналогичного класса, например, КОМПАС-3D. Однако были выявлены факты несрабатывания функций при использовании импортированных моделей, связанных с отсутствием возможности прямого импорта проприетарных форматов, а именно изменение параметров и атрибутов модели. Авторами работы выдвинуты предложения по развитию механизмов создания сборочных моделей средствами ПМ CAD на основе импортированных моделей.

**Ключевые слова:** конструирование в машиностроении, программный модуль CAD, сборочная модель, 3D-сборка, оптимизация алгоритма сборки.

## Analytical comparison of the assemblies of different complexity in the FLCS «SARUS»

I. Y. Aberyaseva, D. P. Volkov, N. A. Denisova

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

**Abstract.** The authors are participating in versioning functional testing of the newly developed software package "Digital Enterprise Product Lifecycle System" ("SARUS"). The purpose of the study is to conduct an analytical comparison of the performance of assemblies of varying complexity using the software module "Design Engineering System" (PM CAD). In CAD design, creating assembly models is one of the key tasks. As a result of the work done, it was found that PM CAD has similar mechanisms for obtaining models for assembly design, with systems of a similar class, for example, COMPAS-3D. However, the facts of non-functioning of functions, when using imported models were revealed, due to the lack of the possibility of direct import of proprietary formats, namely, changing the parameters and attributes of the model. The authors of the work put forward proposals for the development of mechanisms for creating assembly models using PM CAD based on imported models.

**Keywords:** design in mechanical engineering, CAD software module, 3D modeling, assembly model, 3D assembly, optimization of the assembly algorithm

### Введение

Практическим опытом организации современного производства доказано, что в производстве и проектировании системы автоматизированного проектирования (САПР) играют ключевую роль. Их важность обусловлена множеством факторов, таких как ускорение процессов проектирования и производства, повышение точности и качества продукции, снижение производственных затрат, поддержание инноваций и конкурентоспособности, обеспечение гибкости и адаптивности в условиях меняющихся требований рынка. Без этих технологий современное производство и инженерия были бы гораздо менее эффективными и конкурентоспособными.

В условиях высокой конкуренции требуется разработка и совершенствование новых систем автоматизированного проектирования (CAD) и активное их внедрение на предприятиях машиностроения. CAD-системы предназначены для моделирования технических объектов и разработки проектно-конструкторской документации, соответствующей стандартам и нормативным требованиям. Ключевым элементом такой документации являются сборочные модели, которые обеспечивают полное понимание структуры и состава конечного изделия.

Кафедра технологии специального машиностроения на базе кафедры цифровых технологий СарФТИ НИЯУ МИФИ является одной из экспериментальных групп по изучению, обучению и

внедрению в пользование нового САПР – СПЖЦ «САРУС» [1, 2] и проводит практико-ориентированное исследование по теме *«Количественная оптимизация элементов сборки в изделиях разной сложности в ПМ САД ПО «САРУС»*, которое проходит на обновленной базовой версии продукта 2024.2.1.1-VNF, утверждённой в 2024 году.

Документацией ПО «САРУС» [3] регламентируется, что *сборка изделия* является одним из основных технологических процессов в машиностроении. Поэтому поддержка процесса моделирования сборок является важной задачей программного модуля САД. Задача усложняется высокой размерностью, так как во многих изделиях число деталей, узлов, подборок может достигать сотен тысяч и миллионов. Вместе с тем встречаются модели с относительно небольшим числом компонентов – от нескольких десятков до тысяч. Руководством оператора определены операции и функции, которые поддерживает программный модуль САД «САРУС».

Из опыта работы в аналогичных САД, например, КОМПАС-3D, известно, что в сопряжениях могут участвовать координатные плоскости и оси, начала координат, грани, ребра, вершины тел и поверхностей (в том числе построенных в сборке), точки, вершины кривых, сегменты ломаных, графические объекты в эскизах, а также вспомогательные оси и плоскости. В КОМПАС-3D задаются сопряжения следующих типов: совпадение, касание, соосность, параллельность, перпендикулярность, расположение элементов на заданном расстоянии, Расположение элементов под заданным углом. Любое сопряжение можно удалить или отредактировать [4].

Исходя из практического опыта была определена область нашего исследования ПО «САРУС»:

- сравнить возможность задания соединений в двух САПР;
- за основу создания соединений в ПМ САД возьмем *форму сопрягаемых поверхностей и метод образования соединений*.

Таким образом, основная задача данной работы – исследовать реальность выполнения базовых операций сборки: возможность вставки компонента (детали или под сборки) в сборку; сопряжение компонент друг с другом по системам координат и сопряжениям; возможность имитации движения модели изделия по степеням свободы компонент; возможность движения отдельных компонент как единого целого, так и с учётом степеней свободы, содержащихся в самом компоненте.

Конкретно в данной работе рассмотрено аналитическое сравнение выполнения сборочных моделей разной сложности в программном обеспечении СПЖЦ «САРУС», базовая версия которого находится в активном тестировании с целью внедрения в конструкторско-технологические структурные подразделения РФЯЦ-ВНИИЭФ.

### Постановка задачи

Нас будут интересовать оригинальные и заимствованные детали, которые необходимо проектировать в ПО САД. Именно сложность проектирования сборок будет нашим объектом исследования, причем не имеет значения, оригинальные они или заимствованные. Необходимо проследить возможность выполнения операций сборки в ПМ САД СПЖЦ «САРУС» при создании сборок разной сложности.

Определим *цель* текущей работы: провести аналитическое сравнение выполнения сборок разной сложности.

Исходя из цели исследования, за основу возьмем по большей части заимствованные сборки, состоящие из деталей различной сложности [5].

Основные *задачи* работы:

- 1) выбрать две сборочные модели, на примере процесса сборки которых будут проведен сравнительный анализ;
- 2) выбрать систему проектирования, осуществимую в СПЖЦ «САРУС»;
- 3) создать сборочные модели в «САРУС» и произвести замер времени, затрачиваемого на процесс сборки;
- 4) создать сборочные модели в КОМПАС-3D и произвести замер времени, затрачиваемого на процесс сборки;
- 5) сравнить полученные результаты замеров времени, затрачиваемого на процесс создания сборочных моделей в сравниваемых системах.

## **Теория**

### *1. Краткое описание характеристики и назначения сборок*

Сборочная модель – это цифровая 3D-модель, которая представляет собой сборку из нескольких отдельных компонентов или деталей в единое изделие. Она используется в системах CAD для визуализации, анализа и документирования взаимодействия различных частей изделия между собой. Современные CAD-системы должны обеспечивать баланс между функциональной полнотой и удобством работы, предлагая конструкторам эффективные инструменты для создания сложных сборок при минимальных временных затратах. Особое значение приобретает оптимизация процессов позиционирования и соединения компонентов, а также продуманная организация пользовательского интерфейса.

Рассмотрим основные характеристики сборочной модели.

#### 1) Составные элементы:

- Модель включает все детали, узлы и компоненты, из которых состоит изделие.
- Каждая деталь может быть создана отдельно, а затем интегрирована в сборку.

#### 2) Взаимное расположение:

- Детали размещаются в соответствии с их реальным положением в изделии.
- Учитываются соединения, зазоры, крепления и другие параметры.

3) Иерархия: сборочная модель может быть многоуровневой, включая подузлы (например, двигатель как подузел в автомобиле).

4) Параметризация: изменение одной детали может автоматически отражаться на всей сборке, если модель параметризована.

5) Документирование: на основе сборочной модели создаются чертежи, спецификации и другие документы, необходимые для производства.

### *2. Описание процесса создания сборочной модели*

Из рассмотренных выше характеристик очевидно, что создание сборочной модели – многоэтапный процесс, который требует тщательной проработки каждого компонента и их взаимодействия. Мы основывались на основных этапах создания сборочной модели в системах CAD [6]:

#### 1. Подготовка и планирование

- Определение цели: четкое понимание, для чего создается сборочная модель (проектирование, производство, презентация и т.д.).
- Анализ требований: изучение технических условий, стандартов и нормативов, которые должны быть соблюдены.
- Разработка структуры сборки: определение иерархии компонентов (узлы, подузлы, детали) и их взаимосвязей.

#### 2. Создание отдельных деталей

- Проектирование компонентов: каждая деталь создается отдельно в CAD-системе. Это может быть как простая деталь (например, болт), так и сложный узел (например, корпус устройства).
- Параметризация: если необходимо, детали создаются с использованием параметров, чтобы их можно было легко изменять в будущем.
- Проверка геометрии: убедиться, что каждая деталь соответствует техническим требованиям.

#### 3. Сборка компонентов

- Импорт деталей: все созданные детали загружаются в файл сборки.
- Позиционирование: детали размещаются в пространстве сборки с использованием ограничений (constraints) и сопряжений (mates). Например, совмещение осей, фиксация расстояний или углов.
- Проверка взаимодействия: убедиться, что детали правильно соединены и нет пересечений.

## **Результаты экспериментов**

### *1. Описание выбранных сборочных моделей*

Для проведения данной работы были выбраны две сборочные единицы: «Кривошип» и «Кондуктор перекидной». Рассмотрим каждую сборку.

Кривошип (рис. 1) – вращающееся звено кривошипного механизма, служащего для передачи движения от шатуна к валу. При этом поступательное движение поршня паровой машины преобразуется во вращательное движение вала.

Кривошип состоит из эксцентрично расположенных пальца и вала, соединенных посредством плеча. Способ соединения вала и пальца с плечом могут быть различными. Их выбирают в зависимости от условий, в которых будет работать данный механизм. В нашем случае соединение реализовано с помощью шпоночного соединения и винтового крепления.

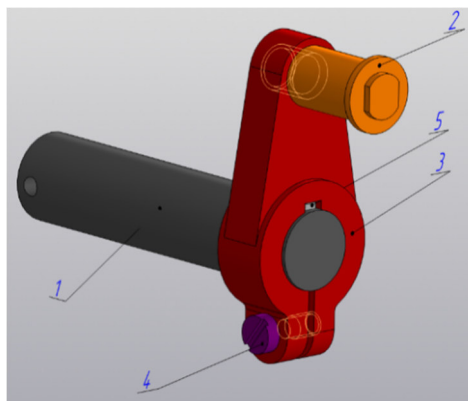


Рис. 1. Сборочная модель «Кривошип»

Сборочная модель «Кривошип» состоит из следующих компонентов: 1 – вал; 2 – палец; 3 – плечо; 4 – винт М6-6gx16 (ГОСТ 1491-80); 5 – шпонка А6х4х14 (ГОСТ 29175-91).

Вторая сборочная единица «Кондуктор перекидной» (рис. 2). Кондуктор перекидной, как универсальный механизм может использоваться в различных областях техники и промышленности. Его основное назначение — изменение направления движения или передача усилия между элементами под углом. Кондуктор перекидной имеет широкий спектр применения в различных отраслях: от машиностроения до бытовой техники. Его универсальность заключается в способности изменять направление движения или усилия, что делает его незаменимым в сложных механизмах.

Перекидной кондуктор представляет собой приспособление для сверления отверстий через втулки (поз. 5 и 6) в двух противоположных фланцах детали, устанавливаемой на базу (поз. 2) и закрепляемой быстросъемной шайбой (поз. 4) и гайкой (поз. 15).

В состав кондуктора входят 20 деталей, восемь из которых стандартные изделия:

- поз. 13 – болт М8-8g x 60.36 ГОСТ 3033-79 (1 шт.);
- поз. 14 – винт АМ6-8g x 12.58 ГОСТ 1491-80 (6 шт.);
- поз. 15 – гайка М10-7Н.5 ГОСТ 5915-70 (1 шт.);
- поз. 16 – гайка М10-7Н.5 ГОСТ 5916-70 (1 шт.);
- поз. 17 – шпилька М10-8g x 40.58 ГОСТ 22038-76 (1 шт.);
- поз. 18 – штифт 4п6 x 18 ГОСТ 3128-70 (4 шт.);
- поз. 19 – штифт 6п6 x 40 ГОСТ 3128-70 (1 шт.);
- поз. 20 – штифт 8п6 x 50 ГОСТ 3128-70 (1 шт.).

На корпусе 1 винтами 14 укреплена база 2, на фланец которой устанавливается и выступающей частью Ø25 центрируется обрабатываемая деталь. Плита 3 при этом откинута. В базу 2 ввернута шпилька 17, застопоренная низкой гайкой 16. На другой конец шпильки наворачивается гайка 15. С помощью быстросъемной шайбы 4 и гайки 15 обрабатываемую деталь жестко закрепляют в кондукторе, надвинув на верхний торец детали шайбу 4. После установки и закрепления детали кондукторная плита 3 поворачивается вокруг штифта 20 до горизонтального положения. Запрессованные в плиту 3 опоры 7 должны при этом накладываться на такие же опоры в корпусе 1. Откидной болт 13 с гайкой 10, установленный на штифте 19, накидывается на плиту 3. С помощью гайки 10 плита 3 закрепляется неподвижно. Через запрессованные в плиту втулки 5 производят сверление пяти отверстий Ø4 в верхнем фланце детали. Для сверления через втулки 6 четырех

отверстий  $\varnothing 5$  в противоположном фланце детали необходимо, взяв кондуктор за ручки (11, 12, 18), перекантовать его вместе с деталью на  $180^\circ$  и поставить на пяты 8. Просверлив отверстия, кондуктор снова поворачивают на  $180^\circ$  в прежнее положение, открепляют и откидывают плиту 3, ослабляют гайку 15, снимают шайбу 4 и вынимают готовую деталь.

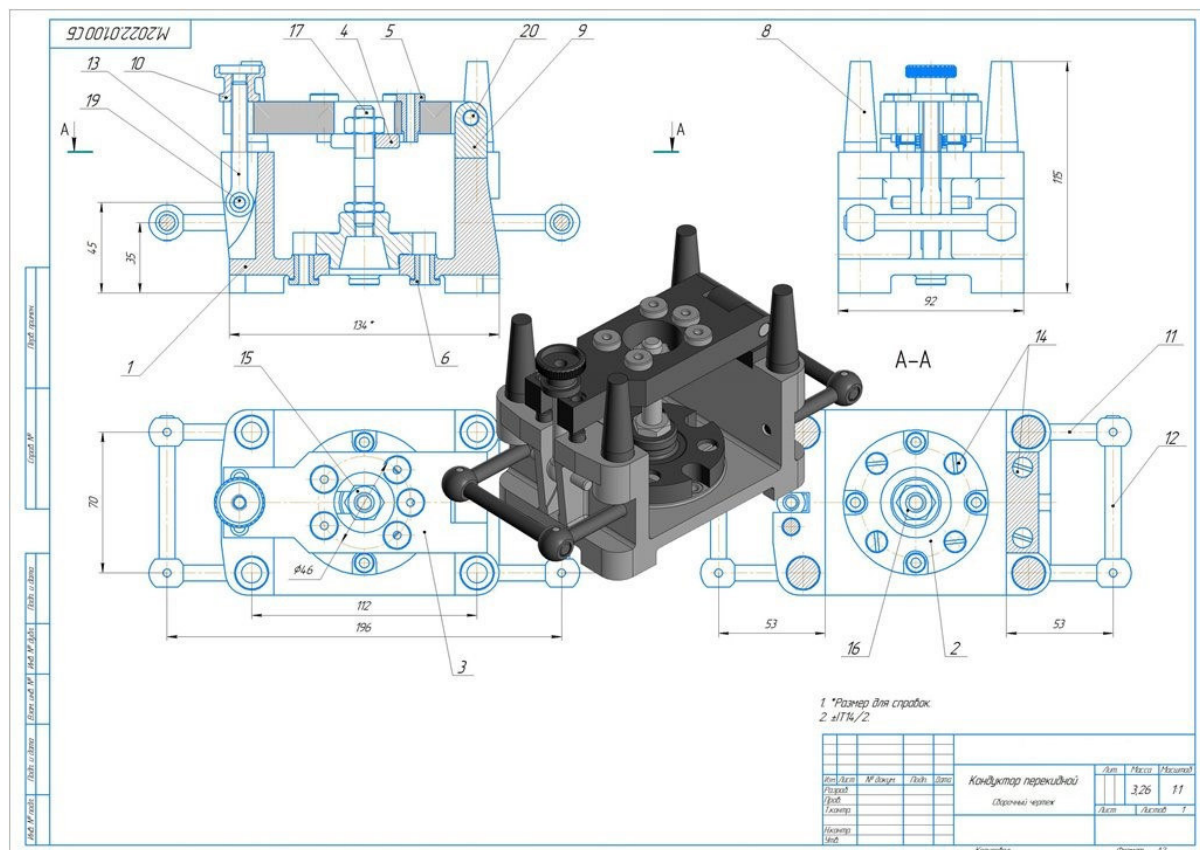


Рис. 2. Кондуктор перекидной

## 2. Сравнимые системы проектирования

СПЖЦ «САРУС» (далее – САРУС) – технологически независимая система управления полным жизненным циклом изделий для промышленных предприятий. Система представляет собой программное обеспечение (ПО) PLM-класса (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделий), входит в число основных классов индустриального ПО, разрабатываемого в соответствии с Дорожной картой развития высокотехнологичных областей «Новые производственные технологии», утвержденной Правительством РФ в 2021 году [1].

Система САРУС разработана предприятием Госкорпорации «Росатом» РФЯЦ-ВНИИЭФ. Брендовое название цифрового продукта созвучно месту его создания – городу Сарову Нижегородской области. Система САРУС создавалась с 2018 года в интересах атомной отрасли и оборонно-промышленного комплекса (ОПК) как моноплатформенное решение, полностью независимое от зарубежных технологий и элементов. Подтверждена её кроссплатформенность – продукт может работать как на операционной системе Windows, так и на российской операционной системе Astra Linux. В числе преимуществ также стоит отметить применение суверенного российского геометрического ядра RGK (Russian Geometric Kernel) для работы с 3D-объектами. Полная импортонезависимость и защищенное исполнение являются ключевыми преимуществами САРУС сегодня.

Система САРУС может применяться на предприятиях, использующих различные типы производства. Осуществленная апробация САРУС на предприятиях Росатома позволяет уверенно предлагать её заказчикам из других отраслей машиностроения в качестве цифрового продукта, имеющего опыт практического применения в условиях высоких требований атомной индустрии [1].

Как было сказано выше, САРУС находится на стадии разработки и местом его создания является Саров. Кроме этого, Саровский физико-технический институт выступает в качестве тестировщика данного ПО [2]. Поэтому оптимизация создания сборочных моделей путем выдвижения предложений по введению новых команд или доработки интерфейса будет производиться в программном обеспечении (ПО) САРУС в версии 2024.2.1.1-VNF.

Для объективного выдвижения предложений по введению новых команд или доработки интерфейса рационально будет сравнить САРУС с ПО, которое уже представлено на рынке. На основе этого сравнения и будут выдвинуты предложения для оптимизации создания сборок. Студенты в СарФТИ НИЯУ МИФИ среди множества САД-систем наиболее подробно изучают российскую систему трехмерного проектирования КОМПАС-3D, которая была выпущена на рынок в 1989 году. Поэтому САРУС будет сравниваться с КОМПАС-3D в версии V22.

КОМПАС-3D разработан российской компанией «АСКОН» и предназначен для проектирования изделий основного и вспомогательного производств в таких отраслях промышленности, как машиностроение (транспортное, сельскохозяйственное, энергетическое, нефтегазовое, химическое и т.д.), приборостроение, авиастроение, судостроение, станкостроение, вагоностроение, металлургия, промышленное и гражданское строительство, товары народного потребления и т. д. В основе КОМПАС-3D лежит российское геометрическое ядро С3D (создано С3D Labs, дочерней компанией АСКОН) и собственные программные технологии. Но для установки системы применяется автономный установщик Microsoft.NET Framework 4.8, являющийся разработкой американской компании Microsoft. Поэтому КОМПАС-3D считается отечественной разработкой, но с применением зарубежных составляющих [4].

### 3. Создание сборочных моделей в ПО КОМПАС-3D

Процесс создания сборки в КОМПАС-3D включает в себя следующие общие шаги:

1. Подготовительный этап. Перед началом работы необходимо тщательно изучить конструкторскую документацию (КД), на основе которой будет создаваться сборка.
2. Создание файла сборки. В главном меню выбрать: «Файл» → «Создать» → «Сборка». После создания файла активируется панель инструментов «Сборка» для дальнейшего редактирования.
3. Добавление базовой детали. Использовать команду «Вставить компонент из файла» в разделе «Компоненты». В качестве первой детали рекомендуется выбирать элемент, являющийся основой для большинства других компонентов (например, «Корпус» для сборки «Нагнетатель»).
4. Позиционирование детали. Задать пространственное положение базовой детали. Подтвердить выполнение команды добавления компонента.
5. Добавление последующих компонентов. Повторить процедуру добавления для каждой следующей детали (аналогично п. 3-4).
6. Создание сопряжений. Для корректного взаимного расположения деталей используются различные типы сопряжений: геометрические: совпадение, соосность, параллельность, перпендикулярность; позиционные: заданное расстояние, определенный угол; специальные: касание, симметрия, зависимое положение.
7. Завершение сборки. Последовательно повторить этапы 5-6 для всех оставшихся компонентов до полного формирования сборки.

Время, за которое удалось создать сборочные модели «Кривошип» и «Кондуктор перекидной» в результате использования вышеописанных шагов и применения массивов при данной конфигурации ПО КОМПАС-3D, представлено в таблице 1. Замер времени производился 3 раза.

Таблица 1. Замер времени построения в КОМПАС-3D

Элемент \ Замер времени	1	2	3	Среднее время
«Кривошип»	6,43 мин.	6,28 мин.	6,16 мин.	6,29 мин.
«Кондуктор перекидной»	28,44 мин.	27,54 мин.	27,33 мин.	28,17 мин.

В итоге среднее время создания сборочных моделей «Кривошип» в ПО КОМПАС-3D равно 6,29 мин., а «Кондуктор перекидной» – 28,17 мин.




#### 4. Создание сборочных моделей в СПЖЦ «САРУС»

Во время тестирования разработан полный пользовательский сценарий создания обеих сборок.

Приведем краткое его описание аналогично этапам, показанным выше, исключая очевидные операции.

1. Подготовительный этап выполнен.

2. Начало создания файла сборки. В окне «Приветствие» выбираем документ «Сборочная модель».

В ленте выбираем функцию «Вставить компонент» В строке «Файл» выбираем команду  Появляется окно с деталями, которые были выполнены раньше (рис. 3). Выбираем деталь «Вал».

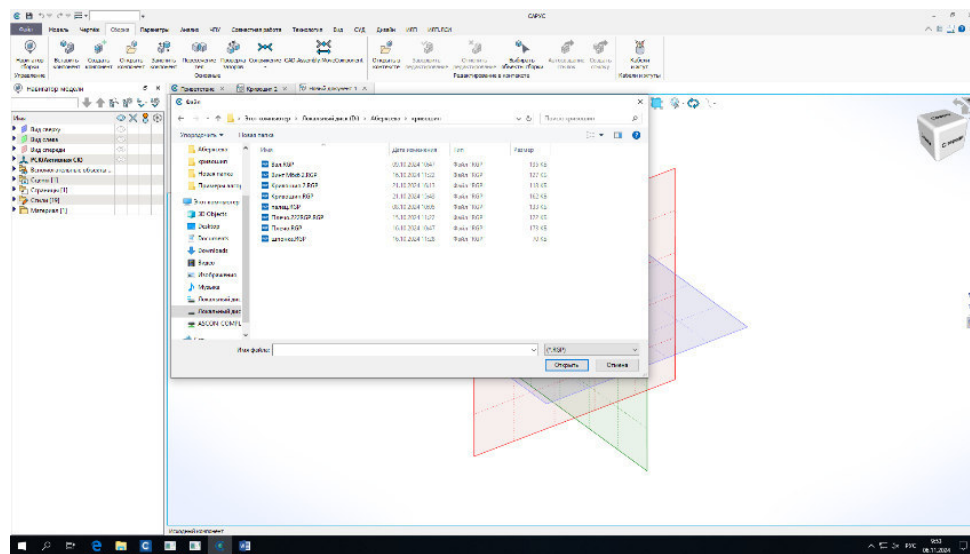



Рис. 3. Диалоговое окно для выбора компонентов сборки

3. Добавление базовой детали. В окне «Компонент» ничего не изменяем и выбираем функцию  . Затем воспользуемся командой «Сопряжение». В открытом окне выбираем команду «Фиксация», даем согласие нажатием иконки с зеленой галочкой (при согласии выполнения операции этим приемом всегда обязательно пользуемся). После фиксации повторяем использование команды «Вставить компонент», но теперь выбираем деталь «Шпонка» (рис. 4).

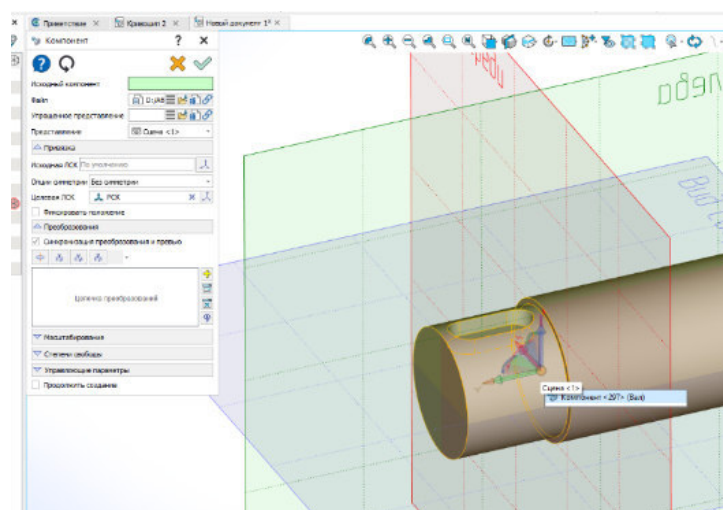


Рис. 4. Функция добавления компонента

4. Позиционирование детали. Курсором мышь наводим на центр системы координат (СК) детали «Шпонка» и перемещаем ее немного влево под углом, для удобства дальнейшего сопряжения. После выполнения данного действия используем зеленую галочку. Для наглядности процесса можно

воспользоваться функцией «Полупрозрачное изображение». Выбираем команду «Совпадение». Выбираем грани, как показано на рисунке 5, а. Видим, что деталь «Шпонка» расположена неверно (рис. 5, б). Курсором мыши наводим на последнее сопряжение и правой клавишей мыши открываем окно, где выбираем команду «Редактировать». В появившемся окне выбираем команду «Обратное направление». Если ничего не изменилось, команду необходимо повторить. На рисунке 5, в размещение детали «Шпонка» завершено.

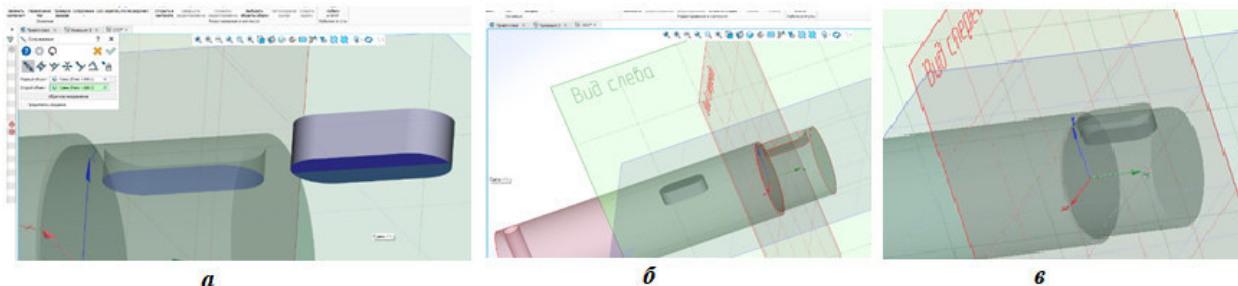


Рис. 5. Настройка правильного позиционирования компонентов сборки

5. Добавление последующих компонентов. Повторить процедуру добавления для каждой следующей детали (аналогично п. 3-4), например, повторяем использование команды «Вставить компонент», но теперь выбираем деталь «Плечо».

6. Создание сопряжений. Курсором мышь наводим на центр СК детали «Плечо» и перемещаем ее немного вправо, для удобства дальнейшего сопряжения (рис. 6, а). После выполнения данного действия используем ✓. В ленте выбираем команду «Сопряжение». В появившемся окне выбираем команду «Соосность» (рис. 6, б). Выбираем цилиндрические поверхности, после чего используем ✓ (рис. 6, в). В команде «Сопряжение» выбираем «Параллельность». Выбираем поверхность, как показано на рисунке 7, а, и плоскость «Вид слева». Воспользуемся командой «Совпадение». Выбираем поверхность и грань, показанные на рисунке 7, б. Размещение детали «Плечо» завершено (рис. 7, в).

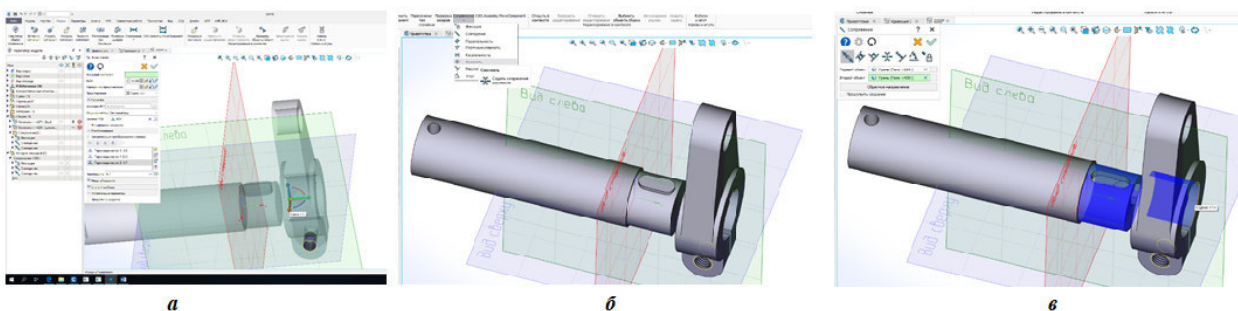


Рис. 6. Создание сопряжения компонентов сборки

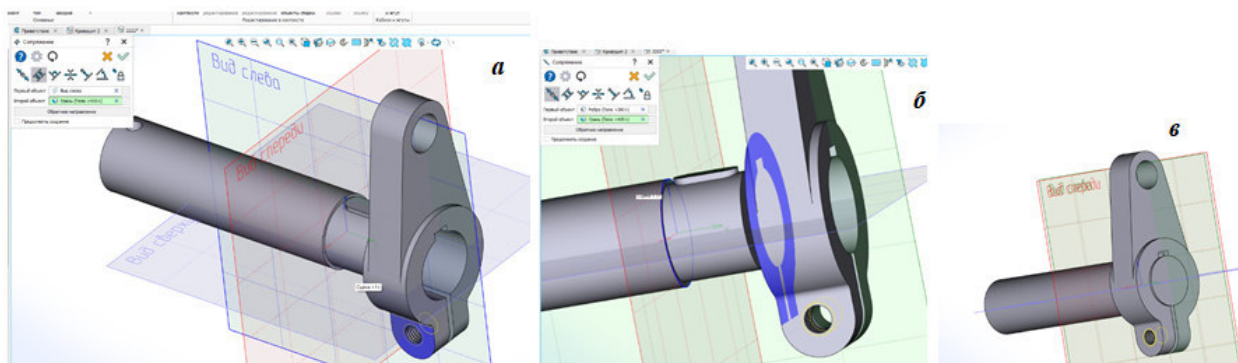


Рис. 7. Завершение сопряжения компонентов сборки



7. Завершение сборки. Последовательно повторить этапы 5-6 для всех оставшихся компонентов до полного формирования сборки: деталь «Палец» (рис. 8, а); последнюю деталь «Винт». Желательно ее расположить так, как это указано в чертеже (рис. 8, б). Если детали расположены неверно, используем команду «Редактировать». Сборка завершена (рис. 8, в).

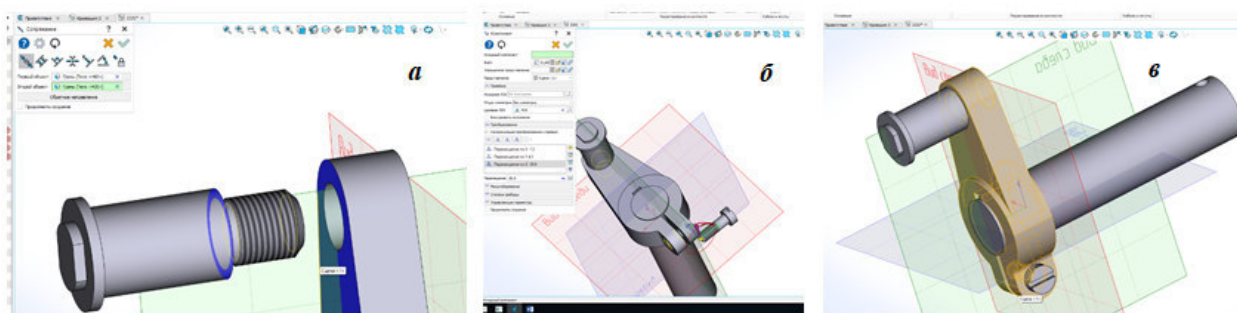


Рис. 8. Завершение создания сборки изделия «Кривошип»

В СПЖЦ «САРУС» есть и другой метод построения сборочной модели – построение сборки через локальную систему координат (ЛСК). Но на данной версии этот метод выдает ошибку, поэтому воспользоваться и продемонстрировать ее не удалось, так как новая ЛСК располагается не в центре отверстия, где мы изначально выбираем (рис. 9).

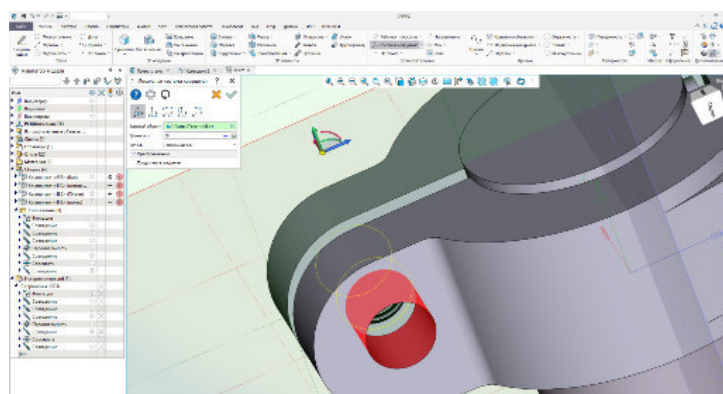


Рис. 9. Попытка построения сборки методом ЛСК

Сборку изделия «Кондуктор перекидной» выполняем аналогично. По результатам тестирования представлен пользовательский сценарий.

Время, за которое удалось создать сборочные модели «Кривошип» и «Кондуктор перекидной» в результате использования вышеописанных шагов ПО САРУС, представлено в таблице 2. Замер времени производился 3 раза.

Таблица 2. Замер времени построения в СПЖЦ «САРУС»

Элемент \ Замер времени	1	2	3	Среднее время
«Кривошип»	8,13 мин.	8,32 мин.	8,47 мин.	8,3 мин.
«Кондуктор перекидной»	32,45 мин.	31,33 мин.	30,4 мин.	31,39 мин.

В итоге среднее время создания сборочных моделей «Кривошип» в СПЖЦ САРУС равно 8,3 мин. и «Кондуктор перекидной» – 31,39 мин.

### Обсуждение результатов

#### 1. Сравнение процесса создания сборочных моделей в ПО КОМПАС-3D и СПЖЦ САРУС

Для наглядного представления полученных результатов сведем их в таблицу в виде разницы времени, затрачиваемого на создание сборочных моделей в ПО САРУС и КОМПАС-3D.

Таблица 3. Разница времени, затраченного на создание сборочных моделей «Кривошип» и «Кондуктор перекидной» в КОМПАС-3D и СПЖЦ «САРУС»

Элемент \ Замер времени	1	2	3	Среднее время
«Кривошип»	1,7 мин.	2,04 мин.	2,3 мин.	2,01 мин.
«Кондуктор перекидной»	4,01 мин.	3,79 мин.	3,07 мин.	3,22 мин.

Отсюда следует: процесс создания сборки в САРУС затрачивает больше времени на 2,01 минуты на создание «Кривошип» и 3,22 минуты на построение «Кондуктор перекидной», чем в КОМПАС-3D.

Полученный результат вызван, в первую очередь, задержкой отклика при вызове команды. Данная проблема связана с несколькими факторами:

1) аппаратные ограничения – слабые характеристики ПК: недостаток оперативной памяти; низкая производительность процессора;

2) оптимизация работы программы – большое количество компонентов: каждая деталь и сопряжение требуют вычислительных ресурсов; фоновые процессы: другие программы (антивирус, браузер) могут загружать систему.

В ПО САРУС команда «Вставить компонент» объединяет вставку компонента из файла, библиотеки и исходного компонента. Поэтому в диалоговом окне команды приходится выбирать необходимый источник файла и соответственно вызывать его. На это также затрачивается часть времени за счет излишних передвижений курсора и процесса выбора.

При необходимости добавить в модель несколько одинаковых деталей в САРУС за один сеанс команды «Вставить компонент» возможно добавить только одну деталь. Для добавления остальных таких же деталей необходимо снова использовать команду «Вставить компонент», но в этот раз в рабочем окне в поле «Исходный компонент» необходимо выбрать нужную деталь и только после этого возможно ее скопировать. На это действие также затрачивается некоторое количество времени.

Кроме этого, часть времени затрачивается на поиск или вызов необходимых команд. Примером служат массивы. Большая часть команд, необходимых для создания сборки, находятся на инструментальной панели во вкладке «Сборка», но массивы расположены во вкладке «Модель». Поэтому для вызова массивов приходится переходить из вкладки «Сборка» во вкладку «Модель», вызывать необходимый вид массива и после завершения работы с массивами возвращаться обратно во вкладку «Сборка» для продолжения дальнейшей работы.

Единственным существенным минусом на данный момент является отсутствие библиотек стандартных изделий в СПЖЦ «САРУС». В КОМПАС-3D в версии v22 учебной версии данная библиотека тоже отсутствовала.

На данный момент в ПО САРУС команда «Локальная система координат» работает некорректно. Также была замечена ошибка при использовании команды «Совпадение». После выполнения данной функции цилиндрические детали (чаще всего) меняют направление на 180°. Чтобы расположить деталь верно, требуется использование дополнительной команды. Иногда при изменении в сборке цилиндрические детали, в которых было изменено направление, принимают исходное положение, что требует повторного использования команд «Редактировать» и «Обратное направление». В некоторых случаях использование команд «Редактировать» и «Обратное направление» требуется неоднократно для расположения одной детали, на что тоже затрачивается время.

В КОМПАС-3D удастся сэкономить часть времени за счет возможности быстрого вызова некоторых команд, например, «Вставить компонент», с помощью нажатия правой клавиши мыши и открытия дополнительной миниатюрной панели инструментов, тем самым минимизировать передвижение курсора.

### Заключение

Проведенное исследование производительности систем автоматизированного проектирования выявило существенную разницу во временных затратах при создании сборочных моделей. На примере сборочных моделей «Кривошип» и «Кондуктор перекидной» было установлено, что САРУС демонстрирует более низкую скорость работы по сравнению с КОМПАС-3D. Этот результат требует детального рассмотрения и системного подхода к оптимизации.

**Ключевые выводы** исследования:

1. Факторы, влияющие на производительность:
  - архитектурные особенности систем;
  - алгоритмы обработки сопряжений;
  - эффективность использования аппаратных ресурсов;
  - удобство интерфейса и рабочих инструментов.
2. Предложения по оптимизации САРУС:
  - Технические улучшения:
  - ✓ ускорение алгоритмов обработки сборок;
  - ✓ оптимизация механизма создания сопряжений;
  - ✓ улучшение работы с аппаратными ресурсами.
3. Интерфейсные доработки:
  - упрощение последовательности операций;
  - введение "горячих клавиш" для частых действий;
  - улучшение визуализации в режиме реального времени.
4. Функциональные расширения:
  - введение шаблонов типовых соединений;
  - автоматизация повторяющихся операций;
  - улучшение системы предварительного просмотра.

Проведенное исследование подтвердило необходимость оптимизации процессов создания сборок в САРУС. Реализация предложенных улучшений позволит сократить временные затраты и повысить эффективность работы конструкторов, приблизив показатели системы к уровню КОМПАС-3D. Дальнейшие исследования могут быть направлены на детальный анализ конкретных "узких мест" в алгоритмах работы системы.

**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. Об утверждении стратегии развития аддитивных технологий в Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 14.07.2021 № 1913-р (ред. от 21.10.2024).
2. 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 имени М.В. Келдыша РАН, 2023. С. 848-859.
3. Комплекс программ в защищенном 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.
4. КОМПАС-3D. Система трехмерного моделирования. Сайт «ascon.ru». URL: <https://ascon.ru/products/kompas-3d/>
5. Отчет 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/38-278.10-2023-О от 15.11.2023. С. 8-27.
6. Выполнение сборочной модели в комплексе программ в защищенном исполнении «Система полного жизненного цикла изделий «Цифровое предприятие» / С. Е. Наседкина, Д. С. Коротков, Е. В. Множинская, К.О. Махов // Математика и математическое моделирование: сборник материалов XVIII Всероссийской молодежной научно-инновационной школы. Саров: СарФТИ, Интерконтакт, 2024. С. 537.