УДК 004.896::658.512.26

Д.Э. Цыганков1, Г.Р. Шайхеева1, И.В. Горбачев2

(г. Ульяновск, 1АО «Ульяновский механический завод»,  
2ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»)

**АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОАКСИАЛЬНЫХ СВЧ УСТРОЙСТВ**

COAXIAL MICROWAVE DEVICES CONSTRUCTIVE & FUNCTIONAL DESIGN AUTOMATION

*Рассматривается подход к автоматизации конфигурирования и модификации проектных решений в САПР на основе модульного принципа, позволяющий перейти к терминам предметной области при создании 3D-модели и обеспечить удобство ее повторного использования.*

*The article is deals an approach to design solution configuration and modification in a CAD-system. The approach based on a modular principle and allows operating on the terms of the designed product subject area in the process of its 3D-model creation and increases the convenience of its design data reuse.*

*Ключевые слова: САПР, конструкция, 3D-модель, модификация, проектирование, конструктивно-функциональное представление, автоматизация.*

*Keywords: CAD-system, construction, 3D-model, modification, design, constructive & functional representation, automation.*

На сегодняшний день, в условиях все более возрастающей роли информационных технологий в производственном процессе, САПР стали неотъемлемым инструментом в задачах эскизного и технического проектирования на этапе опытно-конструкторских работ. Следствием чего является возможность накопления и систематизации проектных решений в удобном для повторного использования виде [1]. Актуальность повторного использования проектных решений не вызывает сомнений: разработка нового изделия на уровне функционального узла зачастую основана на каком-либо уже полученном ранее результате, внедренном и проработанном в производстве. Т.е. разработка как процесс может представлять собой **модификацию** наиболее близкого проектного решения в САПР. Это наиболее удобно (в плане визуализации и проработки) при представлении проектных решений в виде электронных 3D-моделей [2], хоть и сопровождается рядом сложностей, из которых основные – временные и трудовые затраты, требуемые для модификации [3].

Класс коаксиальных СВЧ устройств, включающий в свой состав множество изделий, таких как переходы (волноводные/полосковые), соединители, разъемы, нагрузки и т.д., отличающихся как конструктивом, так и назначением, описывается относительно узкой предметной областью, а также ограниченным набором нормативной документации [4], что проявляется в широком творческом просторе для конструирования.

Принимаемые в процессе конструирования локальные проектные решения имеют свои плюсы и минусы, как с точки зрения конструкции (надежности, обеспечения электрических параметров), так и с точки зрения технологичности; их комбинация приводит к требуемому и желаемому результату.

На рисунке 1 представлена вариативность гайки накидной – детали из состава соединителя коаксиального (вилки) типа III по ГОСТ 20265-83: имея идентичный функционал, данные компоненты отличаются конструктивом и, следовательно, технологическим процессом их изготовления.

E:\Новая пап222ка\САПР и моделирование в современной электронике\Картинки\Рисунок 1\Рисунок 1 - Вариативность конструкции гайки из состава вилки коаксиальной - копия (3).tif  
*Рис. 1. Вариативность конструкции гайки из состава вилки коаксиальной*

Конфигурирование детали на уровне конструктивных элементов соответствует модульному принципу [5], важнейшим преимуществом которого является типизация и унификация проектных решении на уровне типовых элементов, следствием чего является минимизация временных затрат на формирование проектного решения в виде 3D-модели. При этом стоит отметить, что одна и та же требуемая (номинальная) функциональность может быть достигнута множеством различных модификаций.

Подобные локальные конфигурации деталей-компонент в общем случае задают вариативность параметров (а также способ собираемости) изделий на уровне подузлов и узлов, которая, в свою очередь, определяет диапазон требуемых функциональных параметров.

На рисунке 2 представлена сборка фиксирующей части разъема из состава вышеупомянутой вилки, состоящая из 4 деталей-компонент. Такая сборочная 3D-модель содержит ~10 сопряжений между компонентами.

E:\Новая пап222ка\САПР и моделирование в современной электронике\Картинки\Рисунок 2\Рисунок 2 – Пример подсборки из состава вилки коаксиальной - копия (3).tif  
*Рис. 2. Пример подсборки из состава вилки коаксиальной*

Вариативность данной подсборки, вызванная различиями в конструкторских параметрах на уровне деталей-компонент, представлена на рисунке 3. Как видно, сборки отличаются параметрами деталей «Корпус» и «Гайка».

E:\Новая пап222ка\САПР и моделирование в современной электронике\Вставки\Рисунок 3\Рисунок 3 – Вариативность конструкции подсборки из состава вилки коаксиальной.tif  
*Рис. 3. Вариативность конструкции подсборки из состава вилки коаксиальной*

Один из важнейших аспектов конструктивно-функционального проектирования заключается в сопряжении компонент не к геометрическим, а к **структурным** элементам друг друга, что позволяет сохранять корректность конструкции и нивелирует потребность в переопределении всех сопряжений. Представленные на рисунке 3 модификации могут быть получены путем изменения параметров деталей-компонент без перестраивания 3D-сборки.

Различаясь структурой и составом компонент, данные изделия относятся к единой предметной области и образуют **класс**, определяющий их конструктивно-функциональную специфику. Возможность конфигурирования изделий в строгих рамках единого класса повысит эффективность автоматизации в задачах повторного использования проектных решений, а также позволит воспроизводить заложенный в исходное решение конструкторский замысел.

Технология конструктивно-функционального проектирования, впервые представленная в работе [6] направлена на разработку изделий, образующих единый класс. Данный подход основан на модульном принципе, дополненным критерием конструктивно-функциональной целостности. Конструктивно-функциональное представление проектного решения в САПР заключается в его отображении в виде системы типовых элементов в дереве построения 3D-модели (см. рис. 1). На уровне каждого такого элемента задаются наборы параметров, описывающие его возможные исполнения, а также ассоциативные связи, обеспечивающие привязки к другим элементам при формировании 3D-модели изделия (см. рис. 3). Задаваемая на уровне такого элемента система предусловий обеспечивает формирование только конструктивно корректного проектного решения [7], т.е. анализируется, прежде всего, не геометрия или структура изделия, а его смысловое содержание (при обязательной корректности и геометрии и структуры).

Сформированное проектное решение в виде 3D-модели впоследствии предоставляет возможность автоматической генерации 2D-фрагментов, представляющих собой компиляцию информационных образов типовых конструктивно-функциональных элементов с отображением значений исполнительных размеров, которые после ручной доработки в итоге представляют собой полноценный рабочий чертеж (конструкторский документ). То же самое касается и сборочных 3D-моделей: отдельные размеры могут быть указаны как исполнительные/справочные и отображаться на сборочном чертеже.

Автоматизация конструктивно-функционального проектирования коаксиальных СВЧ устройств на этапе конструирования реализуется разработанным комплексом программных средств [8]; дальнейшее развитие предлагаемого подхода связано с интеграцией с CAE-системой и возможностью конфигурирования конструкции разрабатываемого изделия по итогам проведенного электромагнитного расчета для получения требуемых параметров.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научного проекта №18-47-730028.*

**Список литературы**

1. *Ларссон, Я.* Важность повторного использования проектных решений / *Я. Ларссон (J. Larsson)* // САПР и графика. – 2014. – № 2 (208). – С. 70-73. – URL: <https://sapr.ru/article/24386> (дата обращения: 03.09.2020).

2. *Райкова, Л.С.* 3D-визуализация как современная технология повышения качества проектных решений / *Л.С. Райкова, С.С. Анисимов, Д.А. Петренко* // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2014. – № 1(2). – С. 20-24

3. *Цыганков, Д.Э.* Автоматизация модификации механических узлов в CAD-системе / *Д.Э. Цыганков, Г.Р. Шайхеева* // Автоматизированное проектирование в машиностроении: материалы VII Международной научно-практической конференции. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2019. – № 7. – С. 93-97.

4. ГОСТ 20263-83. Соединители радиочастотные коаксиальные. Присоединительные размеры. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 12 с.

5. *Базров, Б.М.* Модульная технология в машиностроении / *Б.М. Базров*. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.

6. *Цыганков, Д.Э.* Методы и средства конструктивно-функционального проектирования механических узлов радиотехнических изделий на основе процессной модели проектной деятельности: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12. – Ульян. гос. техн. ун-т, Ульяновск, 2018. – 248 с.

7. *Похилько, А.Ф.* Формирование функционально адаптируемого представления класса технических объектов / *А.Ф. Похилько, И.В. Горбачев, Д.Э. Цыганков* // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XVIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – Ч.2. – С.123-124.

8. Свидетельство № 2019666872. Модуль проектирования соединителей радиочастотных коаксиальных типа III «Экспертиза» по ГОСТ 20265-83: свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ / *Д.Э. Цыганков, М.Г. Царев, Г.Р. Шайхеева*; заявитель и правообл. Ульян. гос. техн. ун-т. – № 2019665973; заявл. 06.12.2019; зарегистр. 16.12.2019; опубл. 16.12.2019, Бюл. № 12. – 1 с.

*Материал поступил в редколлегию 06.10.20.*