

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОДИФИКАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ В CAD-СИСТЕМЕ

Цыганков Д.Э., Шайхеева Г.Р.

АО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск

Ключевые слова: САПР, проектное решение, механический узел, 3D-модель, конструкция, модификация, дерево построения, структурная вариативность, семантическая корректность.

Аннотация. Авторами предложен подход к автоматизированной модификации проектных решений в виде сборочных 3D-моделей механических узлов, основным отличием которого является сохранение семантической корректности конструкции в задачах разработки новых и повторного использования полученных ранее проектных решений.

AUTOMATION OF MECHANICAL UNITS MODIFICATION IN THE CAD-SYSTEM

Tsygankov D.E., Shaikheeva G.R.

Ulyanovsk mechanical plant, Ulyanovsk

Keywords: CAD, design solution, mechanical unit, 3D-model, construction, modification, creation tree, structural variation, semantic correctness.

Abstract. The authors proposed an approach to the automated modification of design solutions in the form of assembly 3D-model of mechanical units. The main difference of this approach is the fixation of the semantic correctness of the construction in the tasks of developing a new and reusing previously obtained design solutions.

На сегодняшний день электронная 3D-модель проектируемого изделия на стадии опытно-конструкторских работ (что относится, прежде всего, к этапу технического проектирования – *конструирования*) в полной мере представляет собой проектное решение [1], которое в PLM-среде является полноценным конструкторским документом (КД) [2].

Актуальность концепции повторного использования полученных ранее проектных решений не вызывает сомнений; такой подход, как отмечается в [3] позволяет оперативно внедрять инновации, сокращать сроки производства и улучшать качество выпускаемых изделий с повышением эффективности этапов их жизненного цикла. Если для «традиционной» КД (на бумажных носителях) повторное использование заключается в заимствовании отдельных фрагментов (вручную), то для электронной 3D-модели – в ее **модификации**. В работе [3] проведен подробный анализ основных трудностей, с которыми сталкиваются машиностроительные предприятия при модификации проектных решений в виде электронных 3D-моделей в САПР; к ним относятся следующие:

- внесение изменений в 3D-модель требует глубоких знаний CAD-системы;
- после изменений появляются ошибки в геометрии и структуре 3D-модели;
- успешно модифицировать 3D-модель может только ее автор (конструктор).

Отмеченные аспекты приводят к значительным временным и трудовым затратам [3]. Таким образом, можно сделать вывод, что решение проблемы

автоматизированной модификации проектных решений в САПР повысит эффективность процесса технического проектирования в задачах разработки новых и повторного использования полученных ранее проектных решений.

Во всех современных САПР, основанных на технологии *Constructive Solid Geometry (CSG)*, построение 3D-модели заключается в оперировании т.н. фичерсами (*англ. feature*) – 3D-фрагментами с фиксированным поведением и структурой данных [4]. Построение такого элемента обеспечивает базовая проектная операция (БО) из функционала используемой САД-системы.

3D-модель полностью определяется деревом ее построения – структурой, содержащей упорядоченную последовательность БО с заданными значениями проектных параметров, что формализованно может быть представлено в виде:

$$Дер(Мод^{3D}): \bigcup_{i=1}^n БО_i \{ nna_k^{BO} \} \mapsto Мод^{3D} \{ nna_j^{Mod} \}, \quad (1)$$

где $Дер(Мод^{3D})$ – это дерево построения 3D-модели, содержащее n базовых операций $БО_i$, каждая из которых описывается набором из k параметров par_j .

Модификация 3D-модели в САПР реализуется путем задания значений параметров базовых операций par_j , а также их порядком в дереве построения и ассоциативными связями друг с другом.

Традиционно дерево построения представляет собой абстракцию нижнего уровня: набор, порядок и параметры фичерсов выбираются конструктором и зачастую имеют фиксированный смысл лишь при отношении к геометрии более высокого уровня; наименования элементов определяются их геометрией.

В работе [5] впервые предложен подход конструктивно-функционального представления проектных решений в САД-системе, заключающийся в переходе от абстрактного геометрического дерева построения 3D-модели к конструкции изделия – в виде системы конструктивно-функциональных элементов. Пример такого представления 3D-модели в САПР изделия уровня «Деталь» изображен на рисунке 1. Данное изделие уровня «Деталь» является корпусом из состава микрополоскового модуля СВЧ.



Рис. 1. Конструкторское дерево построения 3D-модели в САД-системе

Как видно на рисунке 1, описывающее 3D-модель дерево построения состоит из набора конструктивно-функциональных 3D-элементов, относящихся к узкой предметной области микрополосковых СВЧ устройств:

– *конструктивно-функциональная база (КФБ)*, задающая основу конструкции изделия (отсек под плату микрополосковую);

– *конструктивно-функциональный фрагмент (КФФ)*, выполняющий функцию, вносящую вклад в номинальный функционал изделия (посадочные места под разъемы – переходы СВЧ, лапки установочные, выборка под крышку и др.).

3D-модель детали согласно технологии конструктивно-функционального представления [5] состоит из одной КФБ и произвольного набора КФФ; такое дерево построения уже не является абстракцией, а позволяет однозначно верно воспроизводить заложенный конструкторский замысел, исключая возможность нарушения его *семантической целостности*.

Данный термин предложен авторами как критерий обобщения проектных решений [6], отличающихся как геометрически, так и структурно, но имеющих схожие конструктивное исполнение и функциональное назначение.

Конструктивно-функциональное представление в САПР электронной 3D-модели изделия уровня «Деталь» может быть описано следующим образом:

$$\text{Дер}(\text{Мод}^{3D}) : \bigcup_{i=1}^n \text{МкО}_i \{ \text{пар}_k^{\text{МкО}} \} \mapsto \text{Констр}(\text{Изд}) \{ \text{пар}_j^{\text{Изд}} \}, \quad (2)$$

где МкО_i – это геометрический макрообъект, представляющий собой набор фичерсов, объединенный до целостной (неделимой) структурной единицы, соответствующей строго одному конструктивно-функциональному элементу изделия. Представление конструкции изделия $\text{Констр}(\text{Изд})$ в виде системы таких макрообъектов соответствует *модульному принципу* [7].

Внутри каждого макрообъекта задаются параметрические связи между геометрическими элементами (на уровне 2D-эскиза и 3D-тела) и числовыми значениями проектных параметров, а также ассоциативные связи между ними и точки привязки к сформированной ранее 3D-геометрии. Каждый макрообъект в общем случае представляет собой целый класс 3D-объектов, отличающихся как геометрически, так и структурно (за счет нелинейных зависимостей, а также за счет реализации и/или ветвлений), но обобщенных по их конструктивно-функциональной специфике, содержащейся в их наименовании.

Формирование новой 3D-модели детали реализуется путем выбора КФБ с последовательным добавлением в нее КФФ с фиксацией в дереве построения (с учетом ассоциативных связей друг с другом). Так как при построении каждого макрообъекта проверяются входные данные на их соответствие предварительно заданным правилам, то сформированная 3D-модель является конструктивно и функционально корректной. Модификация 3D-модели детали обеспечивается обращением к каждому макрообъекту и изменением значений его атрибутов (ассоциативно связанных с атрибутами других объектов), в результате чего 3D-модель структурно и геометрически перестраивается, сохраняя семантическую целостность, т.е. остается конструктивно и функционально корректной.

Формирование сборочной 3D-модели узла реализуется путем выбора первого компонента, привязываемого к геометрической системе координат, с дальнейшим добавлением компонентов, для каждого из которых указываются структурные элементы, обеспечивающие выполнение сопряжений, что требует

значительно меньше проектных операций (в сравнении с сопряжениями между набором геометрических элементов). Модификация сборочной 3D-модели узла обеспечивается управлением значениями атрибутов ее компонентов (через дерево построения); эти изменения, в общем случае, изменяют и конструкцию, и взаимное расположение компонентов (за счет ассоциативных связей), т.е. 3D-сборка автоматически перестраивается, но при этом остается конструктивно и функционально корректной.

Для наглядности далее представлена автоматизированная модификация сборочной 3D-модели изделия уровня «Узел» – сборочной единицы «Корпус» из состава микрополоскового модуля СВЧ (рисунок 2).

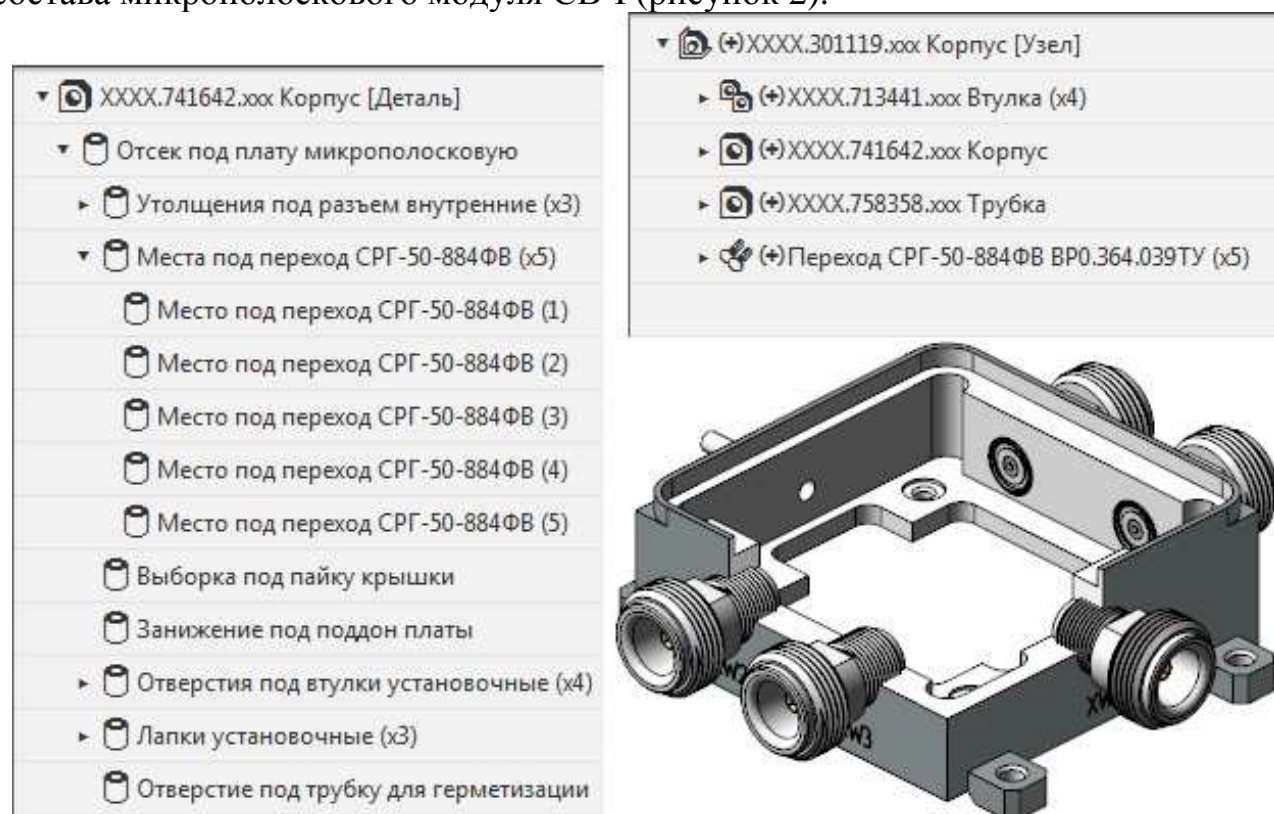


Рис. 2. Сборочная 3D-модель узла «Корпус» и дерево построения компонента – детали «Корпус» до модификации

Результат модификации сборочной 3D-модели изделия уровня «Узел» представлен на рисунке 3, на котором видно, что при изменении типов СВЧ переходов автоматически перестроилась деталь корпуса (рисунок 1).

Автоматизация модификации проектных решений на уровне сборочных 3D-моделей в САД-системе является дальнейшей стадией развития технологии конструктивно-функционального проектирования в САПР [5].

Основное преимущество – возможность структурной и геометрической вариативности проектных решений с исключением возможности появления ошибок и выхода за условные рамки класса семантического подобия – по их конструктивно-функциональной специфике.

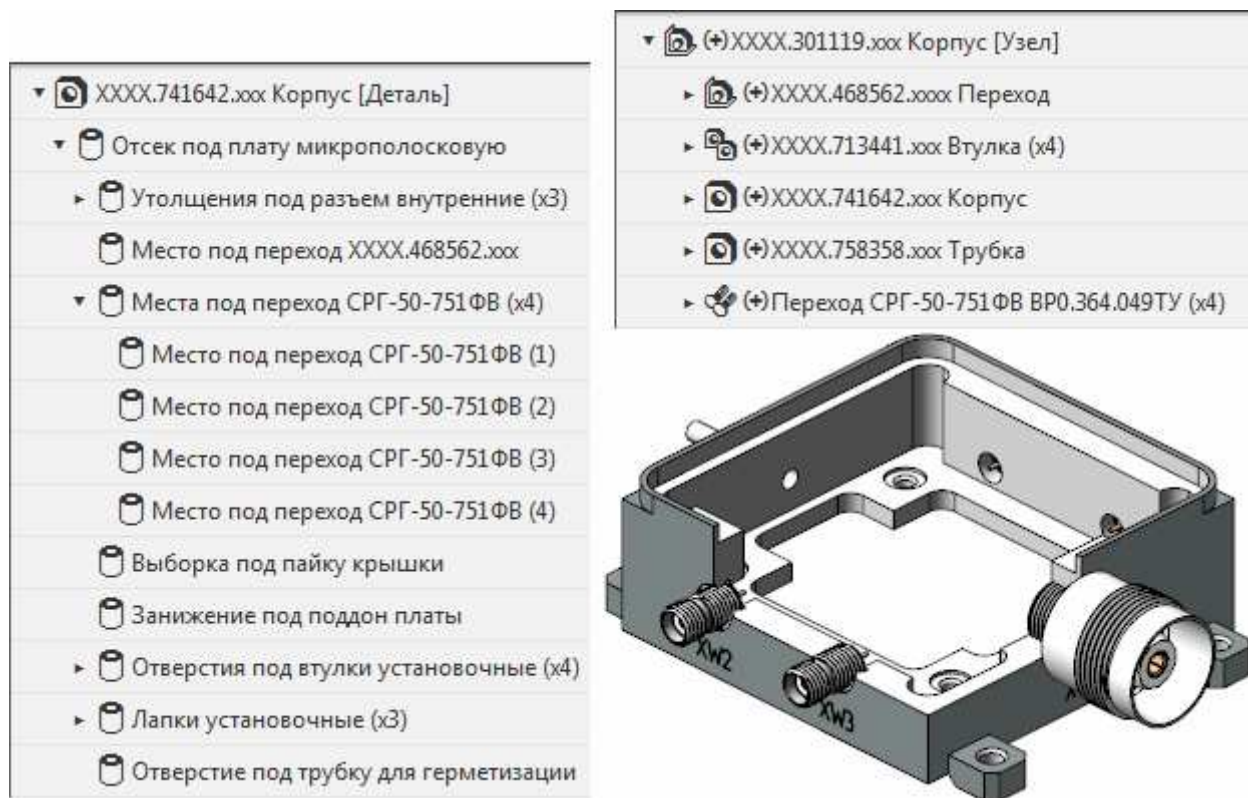


Рис. 3. Сборочная 3D-модель узла «Корпус» и дерево построения ее компонента – детали «Корпус» после модификации

Список литературы

1. Дуданов Е.И. Применение PDM-систем на промышленных предприятиях машиностроения / Е.И. Дуданов, М.С. Кузьмичев // Материалы XXII научно-практической конференции Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва / сост. А.В. Столяров; отв. за вып. П.В. Сенин. – Ч. 1. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. – С. 277-282.
2. Электронная модель изделия как носитель конструкторско-технологической информации / Е.И. Самаркина, А.И. Самаркин, С.И. Дмитриев, Е.А. Евгеньева // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2019. – № 6. – С. 284-288.
3. Ларссон Я. Важность повторного использования проектных решений / J. Larsson // САПР и графика. – 2014. – № 2 (208). – С. 70-73. – URL: <https://sapr.ru/article/24386>
4. Малюх В.Н. Введение в современные САПР: курс лекций. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 192 с.
5. Цыганков Д.Э. Методы и средства конструктивно-функционального проектирования механических узлов радиотехнических изделий на основе процессной модели проектной деятельности: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.12. – Ульянов. гос. техн. ун-т, Ульяновск, 2018. – 248 с.
6. Цыганков Д.Э. Технология структурно-семантического 3D-моделирования в комплексном процессе конструирования // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2017. – № 4. – С. 91-97.
7. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368с.

Сведения об авторах:

Цыганков Денис Эдуардович – к.т.н., инженер-конструктор 1-й категории особого конструкторского бюро АО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск;
Шайхеева Гюзель Ринатовна – инженер-конструктор особого конструкторского бюро АО «Ульяновский механический завод», г. Ульяновск.