<https://doi.org/10.38013/2542-0542-2021-1-85-92>

УДК 658.512.22:004.896

Внесение конструкторских данных в проектное решение и их модификация в задачах геометрического моделирования

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

¹ Акционерное общество «Ульяновский механический завод», Ульяновск, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», Ульяновск, Российская Федерация

Рассматривается подход к достижению модифицируемости проектных решений в виде электронных 3D-моделей деталей и сборочных единиц в САПР, основанный на их «модульном» представлении – в виде системы 3D-макрообъектов, типовых для заданной предметной области, обладающих физическим смыслом и описываемых набором конструкторских параметров. Вариативность значений выделенных параметров задает класс проектных решений, отличающихся как геометрически, так и структурно, но обобщенных по их конструктивно-функциональной специфике. Основным преимуществом предложенного подхода является обеспечение смысловой целостности проектного решения при его модификации.

Ключевые слова: конструирование, САПР, проектное решение, 3D-модель, модификация, геометрическое моделирование, смысловое содержание, повторное использование, конструкторский замысел, модульный принцип

Для цитирования: Цыганков Д. Э., Шайхеева Г. Р., Горбачев И. В. Внесение конструкторских данных в проектное решение и их модификация в задачах геометрического моделирования // Вестник Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2021. № 1. С. 85–92. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2021-1-85-92>

For citation: Tsygankov D. E., Shaykheeva G. R., Gorbachev I. V. Integration of Design Data into a Design Solution and their Modification in Problems of Geometrical Modelling // Vestnik Koncerna VKO “Almaz – Antey”. 2021. No. 1. P. 85–92. <https://doi.org/10.38013/2542-0542-2021-1-85-92>

Поступила 21.12.2020 Отрецензирована 13.01.2021 Одобрена 02.02.2021 Опубликована 17.02.2021

Введение

В условиях возрастающей роли информационных технологий (в частности, геометрического моделирования) в производственном процессе системы автоматизированного проектирования (САПР) стали неотъемлемым инструментом инженера для решения технических задач на этапе опытно-конструкторских работ. Результатом внедрения САПР является повышение эффективности накопления, систематизации и унификации проектных решений, что также отражается на качестве их повторного использования [1].

Повторному использованию проектных решений на этапе проектирования посвящено множество работ [2], его актуальность и важность в производственном процессе не вызывает сомнений. Одним из способов повторного использования является модификация – изменение наиболее близкого по конструктивному исполнению проектного решения [3] в рамках, определяемых его функциональным назначением. Такой процесс является типовым [4] для всех современных САПР (при представлении проектных решений в виде электронных 3D-моделей), однако требует временных и трудовых затрат. Дополнительной сложностью является невозможность закладывания смыслового содержания в проектное

решение в рамках базового функционала САПР, что приводит к возникновению ошибок в его геометрии и структуре в процессе модификации. Иными словами, отсутствуют механизмы, способные обеспечить сохранение конструктивно-функциональной целостности проектного решения до и после модификации; такой механизм был разработан авторами в рамках собственного подхода.

В качестве примера проектных решений в работе рассматривается класс коаксиальных СВЧ устройств, включающий в свой состав множество различных изделий, таких как соединители, переходы, разъемы, нагрузки и т.д. [5]. Все изделия отличаются конструктивом и назначением, но описываются относительно узкой предметной областью, а также ограниченным перечнем нормативно-технической документации [6], предоставляя широкий творческий простор для конструирования, прежде всего на уровне локальных проектных параметров. Совокупность значений таких проектных параметров определяет конструкцию изделия с различными диапазонами характеристик в плане функциональности, надежности, технологичности и др.

Модифицируемость изделий уровня «Деталь»

Любая проектируемая деталь (как компонент сборочной единицы / узла), отображаясь в САПР в виде 3D-модели, описывается историей ее построения – последовательностью

из n проектных операций (ПО), упорядоченных в так называемое дерево построения, имеющее вид $\langle ПО_1, ПО_2, \dots, ПО_n \rangle$. Одна и та же 3D-геометрия может быть построена множеством различных способов, с совпадением или несовпадением состава ПО и их числа n . На рисунке 1 представлены 3D-модель гайки накидной (компонента соединителя коаксиального) и дерево ее построения. Каждый элемент дерева построения содержит ряд параметров (локальных и ассоциативно связанных с другими элементами), управление значениями которых обеспечивает перестраивание результирующего проектного решения.

В качестве САПР в настоящей работе используется «Компас-3D».

Сформированная 3D-модель как проектное решение содержит в себе комплект значений всех конструкторских параметров, при этом содержит их неявно, т.е. разработчик устанавливает ассоциативные связи между своим замыслом и функционалом САПР, используя операции и термины последней без возможности их дальнейшего восстановления. Единственной структурой, способной хранить в себе проектные параметры и их значения, является дерево построения 3D-модели [3].

Основная сложность хранения проектных данных, обладающих конструкторским смыслом, заключается в невозможности их ассоциативности с электронной 3D-моделью

	XXXX.758342.xxx Гайка
	Начало координат
	(+)Эскиз : 1
	Элемент вращения : 1
	(+)Эскиз : 2
	Элемент выдавливания : 1
	(+)Эскиз : 3
	Элемент выдавливания : 2
	Массив по концентрической сетке : 1
	Спираль цилиндрическая : 1
	(+)Эскиз : 4
	Элемент по траектории : 1

Рис. 1. Сформированная 3D-модель детали и дерево ее построения

в рамках базового функционала САПР. По этой причине авторами разработан подход, заключающийся в представлении 3D-модели изделия системой 3D-макрообъектов, типовых для текущей предметной области, каждый из которых является, по сути, классом параметрически заданных шаблонов и описывается набором конструкторских параметров. В зависимости от значений параметров выбирается (за счет программной реализации и/или ветвлений) актуальный шаблон, формирующий на выходе экземпляр 3D-фрагмента, основным и принципиальным отличием которого является фиксированная конструктивно-функциональная специфика в контексте проектируемого изделия (для заданной предметной области). То есть такой объект уже не является абстрактной геометрией, а обладает конструкторским смыслом [7].

Создание 3D-макрообъектов реализуется структурно-функциональной декомпозицией [8] проектных решений заданной предметной области. Они разделяются по своему типу на конструктивно-функциональную базу (КФБ), задающую основу конструкции будущего изделия, и конструктивно-функциональный фрагмент (КФФ), вносящий вклад в типовое назначение изделия. На рисунке 2 представлено дерево 3D-модели гайки (см. рис. 1) в виде системы 3D-макрообъектов, а также окно ввода значений проектных параметров. Дерево построения содержит одну КФБ и произвольный набор КФФ, а параметры, описывающие КФБ, являются исходными ко всем КФФ.

Часть проектных параметров задается вводом значений при наличии таких ограничений, как минимальное, максимальное, недо-

пустимое значения; другая часть – выбором значений из предварительно заданного дискретного ряда. Выделение параметров и последующая установка ассоциативных связей и параметризация на их основе 3D-макрообъекта производится алгоритмически – в процессе программной реализации. Макрообъект (МкОб) формально представляется в виде $МкОб = \langle np_{к1}, np_{к2}, \dots, np_{кn}, np_{в1}, np_{в2}, \dots, np_{вm} \rangle$, где $np_{к}$ – входной параметр, обладающий конструкторским смыслом, $np_{в}$ – внутренний параметр, используемый САПР для построения 3D-геометрии, для которого справедлива запись: $np_{vi} = \varphi(np_{к1}, \dots, np_{кn})$, $i = \overline{1, m}$.

После учета ограничений на значения входных параметров необходима проверка конструктивно-функциональной целостности, подразумевающей не только выполнение условий на значения каждого параметра $np_{к}$, но и их совместную корреляцию, исключающую возможность нарушения исходного конструкторского замысла, заложенного в 3D-геометрию. И только после ее подтверждения формируется 3D-макрообъект.

Номинальные значения проектных параметров задаются в процессе формирования 3D-модели на уровне соответствующих макрообъектов. Далее сформированная конструкция модифицируется путем изменения требуемых параметров, при этом все изменения, касающиеся нескольких макрообъектов, выполняются синхронно, тем самым обеспечивается корректность конструкции на уровне геометрии и заложенного конструкторского замысла. На рисунке 3 представлено конфигурирование 3D-модели гайки (см. рис. 1) по значениям выделенных

Рис. 2. Дерево построения 3D-модели как система типовых макрообъектов

проектных параметров; несмотря на различия конструкций, все детали обобщаются по признаку их функционального назначения. Очевидно, что подобного уровня автоматизации не достичь в рамках базовой параметризации в САПР.

Модификация проектного решения изменением значений параметров макрообъектов соответствует модульному принципу [9], преимущество которого заключается в унификации типовых элементов, способствуя минимизации временных затрат на формирование нового проектного решения. Модифицируемое проектное решение сохраняет конструктивную корректность (не только геометрии и структуры изделия, но и его смыслового содержания) за счет задаваемой на уровне макрообъекта системы предусловий.

Внесение конструкторских данных в проектное решение на уровне 3D-макрообъекта позволяет перейти от терминов САПР к терминам узкой предметной области.

Модифицируемость изделий уровня «Сборочная единица»

Конфигурирование конструкции деталей-компонент (см. рис. 3) задает вариативность изделий на уровне сборочных единиц (узлов), определяемую диапазоном требуемых характеристик. На рисунке 4 представлена структура и сборочный чертеж разъема из состава коаксиального соединителя (вилки), состоящего из 5 деталей. Такая 3D-сборка является относительно простой (в плане моделирования) и содержит ~10 сопряжений между компонентами.

Вариативность данной сборочной единицы, вызванная различиями в конструкторских параметрах на уровне ее деталей-компонент, представлена на рисунке 5. Как видно, сборки отличаются конфигурациями деталей «Корпус» (поз. 1) и «Гайка» (поз. 5) и имеют различные присоединительные (к ответной части корпуса) размеры. Локальные параметры, такие как «Тип рифления», «Количество

Рис. 3. Конфигурирование 3D-модели детали по значениям проектных параметров

	▼ (+) XXXX.301613.xxx Разъем
☞	▶ Системы координат
☞	▼ (+) Компоненты
☞	▶ (+) XXXX.713568.xxx Корпус
☞	▶ (+) XXXX.723211.xxx Ободок
☞	▶ (+) XXXX.745119.xxx Прокладка
☞	▶ (+) XXXX.754176.xxx Кольцо
☞	▶ (+) XXXX.758442.xxx Гайка
☞	▶ Сопряжения

Рис. 4. Дерево построения (структура) сборочной 3D-модели (подсборки).

Обозначения на чертеже: 1 – корпус, 2 – ободок, 3 – прокладка, 4 – кольцо, 5 – гайка; d – резьба внутренняя, D – резьба внешняя, l – длина участка присоединительного (с резьбой внешней)

торцевых пазов» и др., задаются на уровне соответствующих деталей. Специальные параметры, такие как «Расстояние от гайки до корпуса» и «Длина участка резьбы» (регламентируются согласно стандарту [6]), описывающие непосредственно сборочную единицу (узел), задаются только через ее дерево построения и впоследствии определяют значения локальных параметров деталей-компонент.

Важный аспект заключается в сопряжении компонент сборки не к геометрическим, а к структурным элементам друг друга, что позволяет сохранять корректность конструкции при ее повторном использовании (модификации), включающем изменение исходной геометрии, нивелируя потребность в переопределении всех сопряжений заново. Это актуально при высокой сложности проектируемого узла, так как необходимы значительные временные и трудовые затраты на его

формирование, а также при изменении структуры компонентов из-за неизбежного нарушения целостности сборки.

Наибольший интерес в плане автоматизации модифицируемости проектных решений вызывают законченные функциональные единицы по причине возможности управления их конструкцией, используя проектные параметры верхнего уровня. В качестве примера такой единицы рассматривается соединитель коаксиальный – вилка кабельная типа III «Экспертиза» по ГОСТ 20265-83, на рисунке 6 представлена структура его 3D-сборки: она состоит из 2 подборок и 6 деталей. Стоит напомнить, что каждый из структурных компонентов сборки представляет собой систему 3D-макрообъектов вида $Mod^{3D} = \Sigma M_{kOb} \langle np_{kj} \rangle$, $j = \overline{1, n}$, комплект значений параметров которых определяет экземпляр (конфигурации) проектного решения. Иными словами, дерево

Рис. 5. Конфигурирование сборочной 3D-модели (подсборки)

	▼ (+)XXXX.434522.xxx Вилка
☞	▼ Системы координат
☞	▶ Начало координат
☞	▼ (+)Компоненты
☞	▶ (+)XXXX.301613.xxx Разъем
☞	▶ (+)XXXX.304591.xxx Стержень
☞	▶ (+)XXXX.711124.xxx Втулка
☞	▶ (+)XXXX.715351.xxx Корпус
☞	▶ (+)XXXX.723231.xxx Цанга
☞	▶ (+)XXXX.745112.xxx Прокладка
☞	▶ (+)XXXX.745322.xxx Прижим
☞	▶ (+)XXXX.758493.xxx Шайба

Рис. 6. Дерево построения (структура) сборочной 3D-модели. Обозначения на чертеже: 1 – разъем (подсборка), 2 – стержень (подсборка), 3 – втулка, 4 – корпус, 5 – цанга, 6 – прокладка, 7 – прижим, 8 – шайба; h – диаметр отверстия под изолятор (оплетку) кабеля, H – диаметр отверстия под внешнюю оболочку кабеля

XXXX.434522.xxx Вилка		
Обозначение	XXXX.434522.xxx	-
Наименование	Вилка	-
Тип соединителя	Тип III по ГОСТ 20265-83	▼ -
Тип разъема	Вилка кабельная	▼ -
Сечение канала	7,00 / 3,04	мм
Марка кабеля	РК-50-3-11	▼ -
Длина общая	32,90	мм

XXXX.723231.xxx Цанга		
Диаметр контакта	2,60	мм

XXXX.711124.xxx Втулка		
Диаметр втулки	5,00	мм

Рис. 7. Проектное решение в виде сборочной 3D-модели

построения сборочной 3D-модели есть система ассоциативно взаимосвязанных параметрических 3D-шаблонов, управляемых значениями исходных проектных параметров.

Данная вилка как конструктивно законченное изделие в соответствии со стандартом [6] описывается такими параметрами, как «Тип соединителя», «Тип разъема», «Марка кабеля» и др., являющимися «верхнеуровневыми», так как описывают не локальную геометрию, а итоговую конструкцию в плане ее функционального назначения. Экземпляр проектного решения в виде сборочной 3D-модели вилки и часть его конструкторских параметров представлены на рисунке 7. Как видно, параметр «Марка кабеля» определяет конструкцию на уровне двух компонент: втулки (поз. 3, размер H) и цанги (поз. 7, размер h), в то время как первые два параметра определяют параметры и структуры практически всех компонент.

Экземпляры проектных решений, формируемые из единого дерева построения сборочной 3D-модели, отличаясь значениями конструкторских параметров и, как следствие, структурой, обобщаются до уровня класса семантического подобия, т.е. подобия по конструктивному исполнению и функциональному назначению. Унификация и систематизация проектных решений на основе такого уровня подобия является верхним уровнем абстракции и не реализуется в стандартном функционале САПР.

Сформированное проектное решение в виде сборочной 3D-модели функционального узла впоследствии предоставляет возможность для автоматизированной генерации отдельных 2D-фрагментов, компилирующих информационные образы типовых 3D-макрообъектов с отображением исполнительных размеров, позиционных обозначений и иной информации, которые после ручной доработки представляют собой полноценный конструкторский документ, соответствующий ЕСКД.

Заключение

Конфигурирование сборочных 3D-моделей узлов по функциональным параметрам в рамках единого класса позволяет повысить эффективность автоматизации при повторном использовании проектных решений в задачах геометрического моделирования за счет сохранения заложенного в исходное решение конструкторского замысла [10]. Устранение ошибок в 3D-геометрии и, как следствие, необходимости ее перестраивания позволяют значительно снизить временные и трудовые затраты на формирование проектного решения путем модификации.

Сохранение конструктивно-функциональной целостности проектных решений в процессе модификации позволяет создавать библиотеки унифицированных объектов различного уровня с широким диапазоном вариативности. Такие библиотеки закрепляются за конструкторскими секторами,

специализирующимися на узкой предметной области.

Внесение конструкторских данных в проектное решение и последующая модификация их значений на примере класса коаксиальных СВЧ устройств реализуются разработанным комплексом программных средств [11], выполненным в виде надстройки к САПР «Компас-3D». Дальнейшее развитие предлагаемого подхода связано с интеграцией с САЕ-системой для возможности конфигурирования конструкции изделия по итогам электромагнитного расчета для получения требуемых параметров.

Сведения о финансировании

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) и Ульяновской области в рамках научного проекта №18-47-730028.

Список литературы

1. Войт Н. Н., Кириллов С. Ю., Бригаднов С. И., Уханова М. Е. и др. Разработка метода формирования библиотек экземпляров проектных решений на базе онтологии для применения концепции повторного использования на производстве // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2020. Т. 18, № 1. С. 27–36.
2. Ларссон Я. Важность повторного использования проектных решений // САПР и графика. 2014. № 2 (208). С. 70–73. URL: <https://sapr.ru/article/24386> (дата обращения: 30.10.2020).
3. Цыганков Д. Э., Шайхеева Г. Р. Автоматизация модификации механических узлов в САД-системе // Автоматизированное проектирование в машиностроении: материалы VII Международной научно-практической конференции. Новокузнецк: НИЦ МС, 2019. № 7. С. 93–97.
4. Федоров В. К., Гужевкин К. С., Гвоздарев Р. С. Разработка модификаций базовых моделей изделий РЭС методом внесения изменений в конструкцию аналога // Качество. Инновации. Образование. 2012. № 4 (83). С. 61–63.
5. Джуринский К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. М.: Техносфера, 2006. 216 с.
6. ГОСТ 20263-83. Соединители радиочастотные коаксиальные. Присоединительные размеры. М.: Издательство стандартов, 1984. 12 с.
7. 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. Ульянов. гос. техн. ун-т. Ульяновск, 2018. 248 с.
8. Цыганков Д. Э., Похилько А. Ф. Представление проектируемого изделия системой структурно-функциональных элементов // Современные проблемы проектирования, производства и эксплуатации радиотехнических систем: сборник научных трудов. Ульяновск: УлГТУ, 2016. С. 250–252.
9. Базров Б. М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
10. Цыганков Д. Э. Технология структурно-семантического 3D-моделирования в комплексном процессе конструирования // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2017. № 4. С. 91–97.
11. 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; заявит. и правообл. Ульян. гос. техн. ун-т. № 2019665973; заявл. 06.12.2019; зарегистр. 16.12.2019; опублик. 16.12.2019, Бюл. № 12. 1 с.

Об авторах

Цыганков Денис Эдуардович – кандидат технических наук, инженер-конструктор 1-й категории лаборатории приемных устройств особого конструкторского бюро Акционерного общества «Ульяновский механический завод», Ульяновск, Российская Федерация.

Область научных интересов: методы автоматизации конструкторской деятельности, моделирование и проектирование СВЧ-устройств микрополоскового и коаксиального исполнений.

Шайхеева Гюзель Ринатовна – инженер-конструктор лаборатории приемных устройств особого конструкторского бюро Акционерного общества «Ульяновский механический завод», Ульяновск, Российская Федерация.

Область научных интересов: средства геометрического моделирования в процессе проектирования, схематическое моделирование радиоэлектронных СВЧ-устройств.

Горбачев Иван Владимирович – кандидат технических наук, доцент, начальник учебного управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный технический университет», Ульяновск, Российская Федерация.

Область научных интересов: системы автоматизированного проектирования, интеллектуализация управления производственными процессами, основанная на знаниях.

Integration of Design Data into a Design Solution and their Modification in Problems of Geometrical Modelling

Tsygankov D. E.¹, Shaykheeva G. R.¹, Gorbachev I. V.²

¹ *Ulyanovsk mechanical plant, Ulyanovsk, Russian Federation*

² *Ulyanovsk state technical university, Ulyanovsk, Russian Federation*

This article considers an approach to achieving modifiability of design solutions in the form of digital 3D parts and assembly units in CAD systems. This approach is based on a modular principle, according to which a design solution is represented by a system of 3D macro-objects. Such macro-objects are typical of a given subject area, have semantic content and are described by a set of design parameters. The variability of selected parameters forms a class of design solutions, which, although differing in terms of geometry and structure, have common structural and functional specific features. The main advantage of the proposed approach consists in the provision of the semantic integrity of a design solution during its modification and reuse.

Keywords: design process, CAD systems, automation, design solution, 3D model, modification, geometrical modelling, semantic content, reuse, design intent, modular principle

Information about the authors

Tsygankov Denis Eduardovich – Cand. Sci. (Engineering), Designer Engineer of the first category, JSC Ulyanovsk Mechanical Plant, Ulyanovsk, Russian Federation.

Research interests: design activities, automation methods, modelling and development of coaxial and strip microwave devices.

Shaykheeva Gyuzel Rinatovna – Designer Engineer, JSC Ulyanovsk Mechanical Plant, Ulyanovsk, Russian Federation.

Research interests: geometric modelling, designing technologies, schematic modelling of radio-electronic microwave devices.

Gorbachev Ivan Vladimirovich – Cand. Sci. (Engineering), Assoc. Prof., Head of Educational Department, Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russian Federation.

Research interests: computer-aided design systems, knowledge-based intellectualization of industrial process control.