



УДК 658.512.22:004.9

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ЭКСПЕРИМЕНТИРОВАНИЕ В ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНФИГУРИРУЕМЫХ ШАБЛОНОВ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Соснин П.И., Чоракаев О.Э.

Ульяновский государственный технический университет,
г. Ульяновск, Российская Федерация

sosnin@ulstu.ru

olegchorakaev@yandex.ru

В статье представляются средства структурного проектирования конфигурируемых шаблонов авиационных деталей. Специфику подхода к проектированию такого вида оснастки определяет использование средств концептуального экспериментирования, в основу которого положено отображение состояний жизненного цикла шаблона на семантическую память вопросно-ответного типа.

Ключевые слова: концептуальное экспериментирование, проектирование, семантическая память, шаблон.

Введение

В авиастроительном производстве для изготовления, контроля и сборки деталей фюзеляжа, крыльев и элерона, включая детали их обшивки, широко используется шаблонное оснащение, в состав которого входят десятки тысяч шаблонов разной степени сложности и назначения. Этот факт обусловлен такими особенностями деталей названного класса, как сложность их геометрических форм, малая жесткость, большие габариты, высокие требования точности изготовления и точности увязки. Кроме того, для увязки деталей, входящих в каждое плоское сечение конструкции самолета, необходима система жестких носителей, фиксирующих контуры внутренних деталей, входящих в состав данного сечения. Так, например, большие по величине детали приходится увязывать на листовых металлических контрольно-контурных шаблонах.

В общем случае, шаблон, не только является носителем геометрии и формы детали, но также включает конструктивные и технологические базы, контуры и оси внутренних деталей, попавших в данное сечение, различные конструктивные и технологические отверстия. Кроме того на шаблоны наносится различная информация: название шаблона, шифр и номер чертежа изделия, марка и толщина материала, указания о линиях сгиба и малки борта, контуры отверстий облегчения, маркировка отверстий и другая информация.

В проектировании металлических листовых шаблонов общего случая приходится творчески решать задачи их конструктивного конфигурирования, учитывающие создание технологических условий [Босинзон, 2010] для применения шаблонов в изготовлении, контроле и сборке авиадеталей. С шаблонами общего случая, в статье связан класс «конфигурируемых шаблонов», примеры которых приведены на рисунке 1.

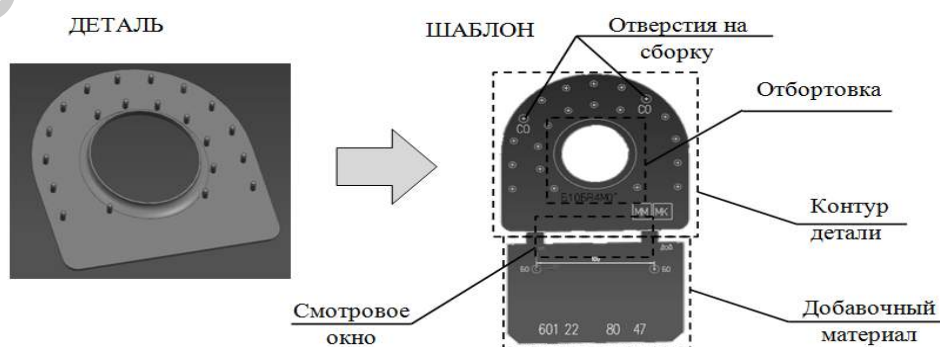


Рисунок 1 - Образец шаблона и детали

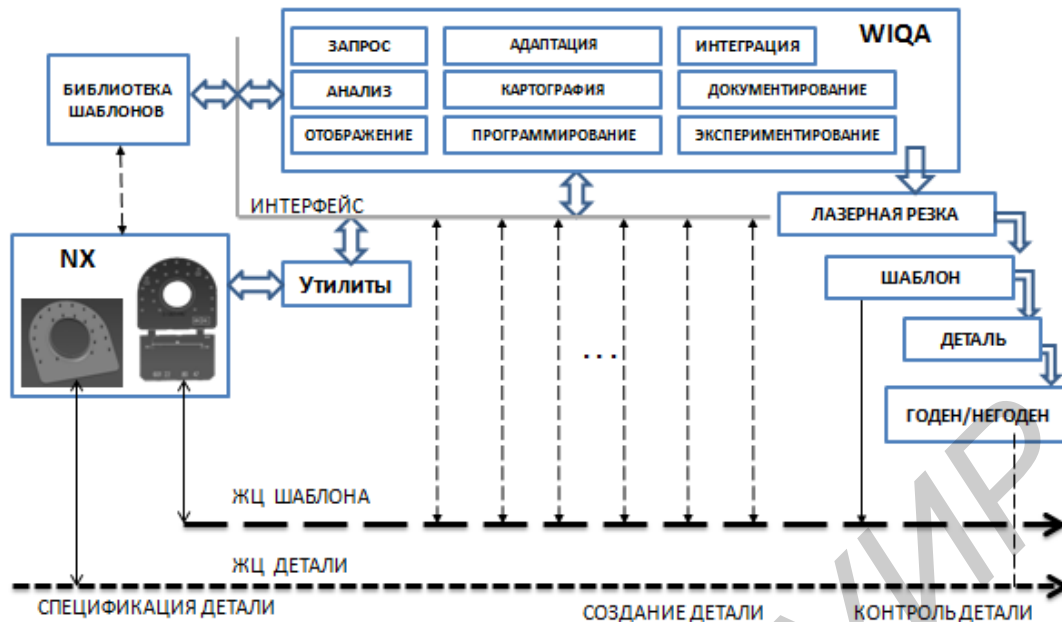


Рисунок 2 - Жизненный цикл конфигурируемого шаблона

Образец шаблона представлен вместе с деталями для демонстрации того «дополнительного», что пришлось включить в шаблон его разработчиком. Следует отметить, что геометрия конфигурируемого шаблона существенно сложнее геометрии детали, для работы с которой он создан.

Ниже для структурного проектирования конфигурируемых шаблонов предлагается ряд средств, предоставляющих разработчикам таких шаблонов проводить эксперименты с их семантическими моделями, в том числе с моделями, имитирующими изготовление шаблонов с использованием числового программного управления лазерной резки [Colombo, 2013]. Для проведения экспериментов предлагается использовать вопросно-ответную моделирующую среду WIQA, средства которой были адаптированы к инструментальной поддержке жизненного цикла шаблонов [Соснин, 2014].

Обобщённая схема структурного проектирования шаблонов

Выбор и реализация той части структуры шаблона, которая дополняет включенную в шаблон форму (и размеры) определенной сечения детали, выводит на ряд проектных задач, допускающих альтернативные решения. Даже в тех случаях, когда для проектирования шаблонов применяется библиотека их «лучших образцов», которые подтвердили свою «рациональность» в производстве уже освоенных типов самолетов, в переходе к производству нового самолета шаблонную оснастку придется создавать заново, разумеется, используя освоенные шаблоны, модифицируя их, и разрабатывая новые шаблоны. То есть творческий характер проектирования шаблонов и их взаимосвязки останется [Сосонкин,

2008]. Именно такое положение дел и подсказывает целесообразность включения экспериментов (не с шаблонами, а с их моделями) в жизненный цикл проектирования (особенно сложных, конфигурируемых) шаблонов.

Предлагаемые средства структурного проектирования шаблонов и схема их комплексирования (в контексте жизненного цикла шаблона) приведены на рисунке 2.

Проектирование шаблона начинается после того, как спецификации детали нашли свое геометрическое представление в NX-системе (ранее «Unigraphics»). Информация о детали, включая геометрию той плоскости детали, для которой разрабатывается шаблон, с помощью специальной утилиты передается в инструментально-моделирующую среду WIQA, во-первых, для отображения детали на семантическую память этой системы [Соснин, 2014], а, во-вторых, для анализа этой информации и формирования запроса к библиотеке шаблонов.

На текущий момент времени библиотека шаблонов находится за рамками среды WIQA и содержит образцы шаблонов, ответственность за выбор которых и загрузку в NX несёт проектировщик. После этого, геометрия подходящего образца шаблона также загружается в семантическую память среды WIQA. Подчеркнём, что на тех интервалах жизненного цикла детали и жизненного цикла исходной модели, которые уже рассмотрены, действия по проектированию шаблона должны осуществляться в соответствии со стандартом СТП 687.07.0873-2004. Отличие только в том, что все эти действия и последующие (в процессе жизненного цикла шаблона) выполняются под управлением (псевдо-кодовой) программы, в среде WIQA, причём отображения детали и

исходной версии шаблона выполняют роль входных данных для осуществления действий непосредственно в моделирующей среде.

Инструментально-технологическая среда структурного проектирования шаблонов

Прежде чем продолжить представление предлагаемых в статье средств структурного проектирования, раскроем причины выбора инструментария WIQA и его специфику с позиций разработки конфигурируемых шаблонов. Система WIQA разработана для инструментальной поддержки концептуального экспериментирования [Соснин, 2008] проектировщиков в процессах решения проектных (но не только) задач. Для проектировщика любой осуществляемый им концептуальный эксперимент – это мысленный эксперимент, содержание и процесс которого оперативно отображаются на семантическую память, а результаты отображения используются по ходу экспериментирования с определенными полезными целями. Средства и специфика концептуального проектирования, ориентированного на его отображение на семантическую память инструментария WIQA, детально раскрыты в публикациях [Соснин, 2014] и [Sosnin, 2014].

Особенности семантической памяти инструментария WIQA раскрывают структура и содержание ячейки памяти, представленной на рисунке 3 и ориентированной на загрузку вопросно-ответных единиц (вопроса или ответа или их композиции).

Спецификации ячейки включают богатую атрибутику, семантика которой может быть

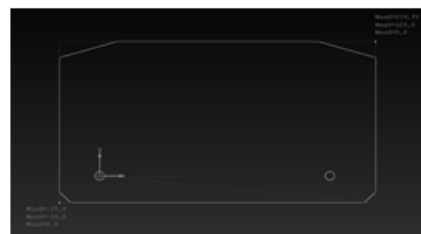
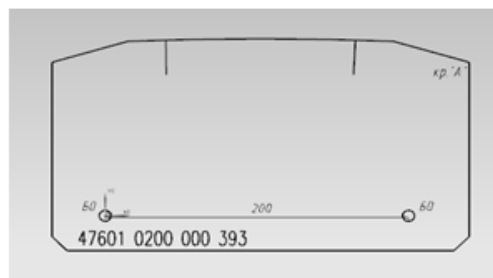
доопределена проектировщиком с помощью прикрепления к любой из ячеек дополнительных атрибутов файлов и ссылок, если в этом появляется необходимость. Но особо важным для QA-памяти является то, что над ней определен расширяемый (при необходимости) псевдо-кодовый язык программирования L^{WIQA} . Программы на этом языке могут исполняться с помощью пооператорного (пошагового) интерпретатора, интерпретатора с компиляцией выбранных групп операторов и компилятора, причем, проектировщик в таком исполнении выполняет роль «интеллектуального процессора» [Соснин, 2014], взаимодействующего с компьютерным процессором.

Применение программных средств инструментария WIQA к задаче проектирования конфигурируемых шаблонов потребовало расширить язык L^{WIQA} за счет включения в него грамматику специального раздела данных (для спецификации шаблонов разных типов) и операторов (управления процессом проектирования, и имитации лазерной резки в формах, подобных ее осуществлению по программам числового управления). Более того, в работе с псевдо-кодовыми аналогами команд числового управления лазерной резкой поддерживается две интерпретации, одна из которых используется для имитации резки в поле специализированного графического редактора инструментария WIQA. А вторая интерпретация позволяет перейти от псевдо-кодовой программы, имитирующей определенную резку, к ее версии в рабочих G-кодах с инструкциями для подготовки к резке и оперативному взаимодействию с лазерным оборудованием, что демонстрирует пример, приведенный на рисунке 4.



Рисунок 3 - Структура ячейки вопросно-ответной памяти

НАЧАЛО ()
 Установить мощность (СКВОЗНОЙ РЕЗ)
 ПОЛИЛИНИЯ по массиву точек
 ОКРУЖНОСТЬ С ЦЕНТРОМ () и диаметром 8
 ОКРУЖНОСТЬ С ЦЕНТРОМ () и диаметром 8
 Установить мощность (РИСКИ)
 ЛИНИЯ()
 НАНЕСТИ НОМЕР ДЕТАЛИ
 Установить мощность (ИНФОРМАЦИЯ)
 ОБОЗНАЧЕНИЕ БО
 ОБОЗНАЧЕНИЕ КРОМКИ
 КОНЕЦ()



```
N1 G17 G40 G21 G71 G90 G94 G49 G61 F2000
N2 S1000
N3 G0 X229.93 Y-25 F2000
N4 M3
N5 G1 X239.93 Y-15 F1130
N6 G1 X239.93 Y110
N7 G1 X189.93 Y125
N9 G0 X15 Y125 F2000
N11 G1 X-35 Y110 F1130
N12 G1 X-35 Y-15
N13 G1 X-25 Y-25
N14 G1 X229.93 Y-25
N16 G0 X204 Y0 F2000
N18 G3 X204 Y0 I-4 J0 F1130
N20 G0 X4 Y0 F2000
N22 G3 X4 Y0 I-4 J0 F1130
N24 G1 X0 Y0 F2000
N25 M30
```

Рисунок 4 - Пример псевдо-кодовой программы с ее аналогом в G-кодах

На уровне геометрии шаблонов и примитивов лазерной обработки расширение языка включает следующий набор правил (в символике расширенной БНФ-нотации):

КОНТУР = {ПРИМИТИВ}.

ПРИМИТИВ = ОТРЕЗОК | ДУГА | СПЛАЙН.

ТЕКСТОВЫЙ БЛОК = {СИМВОЛ}, ТОЧКА ЧИСЛО

ОТРЕЗОК = 'L1(' ТОЧКА ', ' ТОЧКА ')'

ОТРЕЗОК = ['G0 X', ЧИСЛО 'Y', ЧИСЛО 'J', 'G1 X', ЧИСЛО 'Y', ЧИСЛО.

ДУГА = 'A1 (' ТОЧКА ', ' ТОЧКА ', ' ТОЧКА ', ЧИСЛО ') | ОКРУЖНОСТЬ.

ДУГА = 'G3 X', ЧИСЛО 'Y', ЧИСЛО 'I' ЧИСЛО 'J' ЧИСЛО | 'G4 X' ЧИСЛО 'Y' ЧИСЛО 'I' ЧИСЛО 'J' ЧИСЛО.

ОКРУЖНОСТЬ = 'C1(ТОЧКА ', ЧИСЛО ')'

СПЛАЙН = 'SP(' ТОЧКА ', ' ТОЧКА ', ' ТОЧКА ')'

СПЛАЙН = {'G3 X', ЧИСЛО 'Y', ЧИСЛО 'I', ЧИСЛО 'J' ЧИСЛО | 'G4 X', ЧИСЛО 'Y', ЧИСЛО 'I', ЧИСЛО 'J', ЧИСЛО }.

ТОЧКА = (' ЧИСЛО ', ЧИСЛО ')'

ЧИСЛО = {ЦИФРА}.

ЦИФРА = '0' | '1' | '2' | '3' | '4' | '5' | '6' | '7' | '8' | '9'.

СИМВОЛ = 'a' | 'b' | ... | 'Я'.

У правил две интерпретации, одна из которых является «декларативной» и используется для построения геометрических форм и символьных спецификаций «чертежа» шаблона, а вторая используется как средство псевдо-кодового программирования лазерной обработки заготовки, подготовленной для шаблона. В этом плане отображение шаблона на семантическую память используется как исходный код псевдо-кодовой программы декларативного типа. Именно такая интерпретация фигурно-символьного представления шаблона привела авторов к решению ввести в

процесс проектирования шаблона его картографической модели [Чоракаев, 2014].

Картографическое представление шаблонов

Картографическое представление шаблона подразумевает, что документ определяющий шаблон составляется путем добавления набора слоев, каждый из которых объединяет данные, собранные по определенному признаку. Порядок отображения слоев зависит от его положения, слои находящиеся внизу списка отображаются первыми, остальные слои – сверху.

На рисунке 5 для одного из шаблонов, приведенного выше, его картография разбивается на слои, исходя из очередности его изготовления на станке лазерного раскроя:

- слой 1 содержит заготовку с координатной плоскостью (**Z**);
- слой 2 содержит элементы внешнего сквозного контура (Gr_i^{HDO});
- слой 3 содержит элементы внутреннего сквозного контура (Gr_i^{HDI});
- слой 4 содержит элементы, отображаемые рисками (Gr_i^{PD});
- слой 5 содержит текстовые блоки (I_{text}).

Такое разбиение на слои является типовым для любых конфигурируемых шаблонов, но в процессах экспериментирования полезно выделять слой дополнительных элементов, связанных с условиями создания шаблонов, например, их контроля, или их применения для позиционирования детали и шаблона, а также для различных видов крепления, например, такие элементы как пластины и упоры.

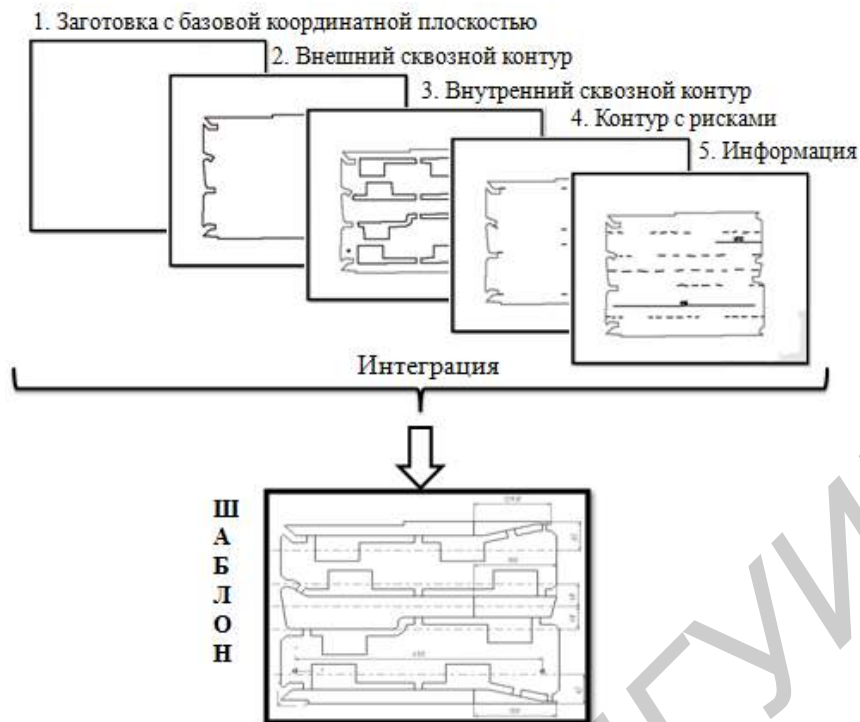


Рисунок 5 - Картографическое представление шаблона

Для объединения элементов в картографический слой используется функция селекции S^k , а для совмещения (проецирования) картографически-ориентированных слоев вводится операция «», по аналогии с конкатенацией в программировании. Тогда шаблон представляется следующим образом:

$$sh = [S^k(Z)][S^k(G_{det})][S^k(G_{add})][S^k(I_{text})][S^k(G_{oe})]$$

Картографическое описание шаблона **SH** в конечном итоге должна быть отображена на выходных документах, основными из которых является *программа обработки* – отображает слой для сквозной вырезки и нанесения рисок, различные только мощностью лазерного луча и *эскиз для расчетно-технологической карты* – графическое представление шаблона (рис. 6)

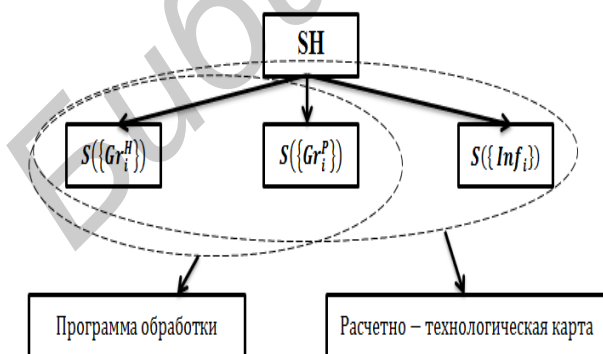


Рисунок 6 - Преобразование картографической модели

В отличие от детали при проектировании шаблонов приходится учитывать условия, в которых шаблон будет использоваться для изготовления детали, ее контроля и при сборке с другими

детальями, а также условия изготовления самого шаблона. Для учета описанных факторов требуется инструмент для проверки решений на модели, а не в металле, где каждое отклонение приводит к потере материальных ресурсов. Картографически-ориентированный подход позволяет уменьшить объем экспериментирования, применяя представленное выше выделение картографических слоев.

При разработке шаблона, представленного на рисунке 5, приходится начинать с выделения контролируемых контуров детали и размещения мысленных копий детали в пространстве (рисунок 7). Эти контролируемые контуры проецируются на плоскость листа заготовки шаблона с учетом размеров стандартных заготовок детали, для ее последующей обрезки, что предполагает размещения на шаблоне упоров. Для совмещения шаблона с контролируемой или изготавливаемой деталью применяются струбцины, под которые в теле шаблона необходимо предусмотреть окна. На следующих этапах проектирования, конструктивные элементы объединяются в одно тело с помощью добавочного материала, который служит для крепления рабочих контуров между собой, для придания жесткости конструкции, размещения информации и базовых отверстий для контроля самого шаблона.

Так что при проектировании шаблона приходится работать со слоями в порядке, который отличается от последовательности слоев на рисунке 4, рекомендуемой для их изготовления с помощью лазерной резки.

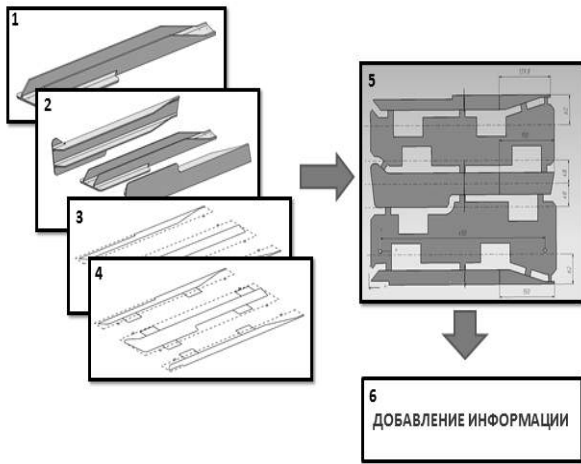


Рисунок 7 - Применение картографии в процессе проектирования шаблона

Концептуальное экспериментирование

Как уже отмечалось выше, отображение на семантическую память открывает возможности для использования концептуальных экспериментов в решении проектных задач при проектировании конфигурируемых шаблонов. Более того, в предыдущем пункте было отмечено, что проектные решения целесообразно связать с теми функциями, которые шаблон должен выполнять в жизненном цикле соответствующей детали (изготовление детали, использование шаблона в контрольных и сборочных операциях). Ряд проектных решений должен быть связан с изготовлением шаблона и его

контроля на соответствие производственно-технологическим требованиям. Но, следует отметить, что принципиальными из этих решений будут те, которые связаны с формированием (геометрической) структуры шаблона. Так что к числу принципиальных задач концептуального экспериментирования следует отнести задачи связанные с включением в шаблон фрагментов его геометрической структуры.

Для работ с плоскими геометрическими структурами в инструментарий WIQA включен специализированный графически редактор, потенциал которого достаточен для переноса в его рабочее поле плоских геометрических структур из NX (Unigraphics), то есть плоских изображений деталей и шаблонов, причём с учётом размерностей и даже в версии G-кодов. Другими словами, отрезки линий и кривые в среде графического редактора WIQA являются программируемыми. Более того, структуры в поле графического редактора WIQA можно представить псевдо-кодowymi программами, исполняя которые можно построить рисунок запрограммированной структуры повторно. То есть, структуру можно отобразить на псевдо-кодovou программу, а исполнив псевдо-кодovou программу (в операторах геометрического программирования системы WIQA) можно построить закодированную в программе геометрическую структуру. Именно такое взаимное отображение лежит в основе концептуального экспериментирования с фрагментами шаблонов. Одна из задач выбора по результатам экспериментов приведена на рисунке 8.

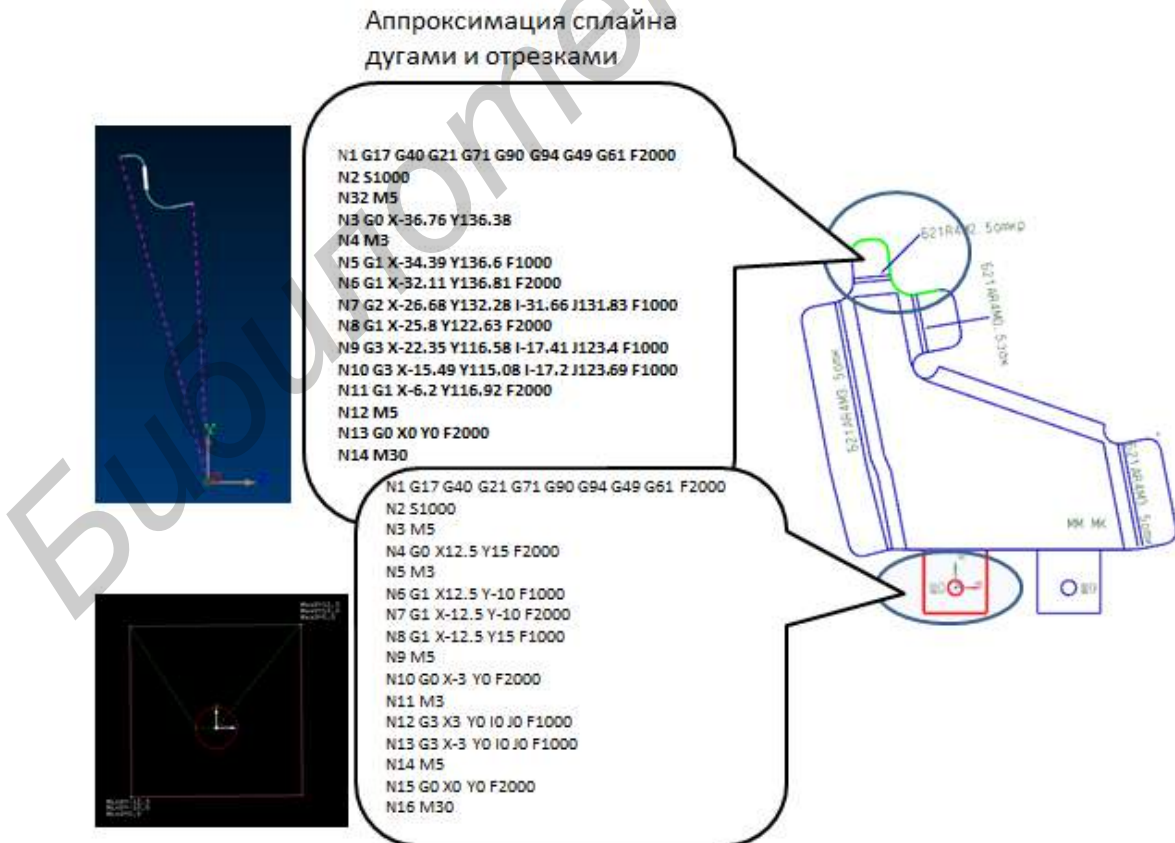


Рисунок 7 - Две версии аппроксимация сплайн

На рисунке специально приведены программы лазерной резки для выделенных фрагментов для того, чтобы подчеркнуть тот факт, что (с помощью предлагаемой системы средств структурного проектирования шаблонов) псевдо-код фрагмента геометрической структуры может быть автоматически переведён на язык G-кодов. Как выглядит псевдо-код лазерной резки было показано выше на рисунке 4.

Формирование документов

Схема на рисунке 6 отражает тот факт, что по ходу проектирования шаблона требуется формировать определенную нормативную документацию, в состав которой входит и расчетно-технологическая карта (РТК), отображающую как геометрию спроектированного шаблона, вариант

применения (эскиз приложения шаблона к детали), так и сопутствующую информацию, вносимую в определенные ячейки табличного документа.

Документирование является одной из базовых функциональностей инструментария WIQA, для осуществления которой любые также документные формы отображаются на семантическую память, причем единицы отображения доступны для их использования в псевдо-кодовом программировании. Так что любой результат экспериментирования, если он оказался рабочим и встраивается в проект шаблона, можно оперативно переносить в соответствующие документные формы. Схема документирования РТК, осуществляемого в среде WIQA, приведена на рисунке 6.

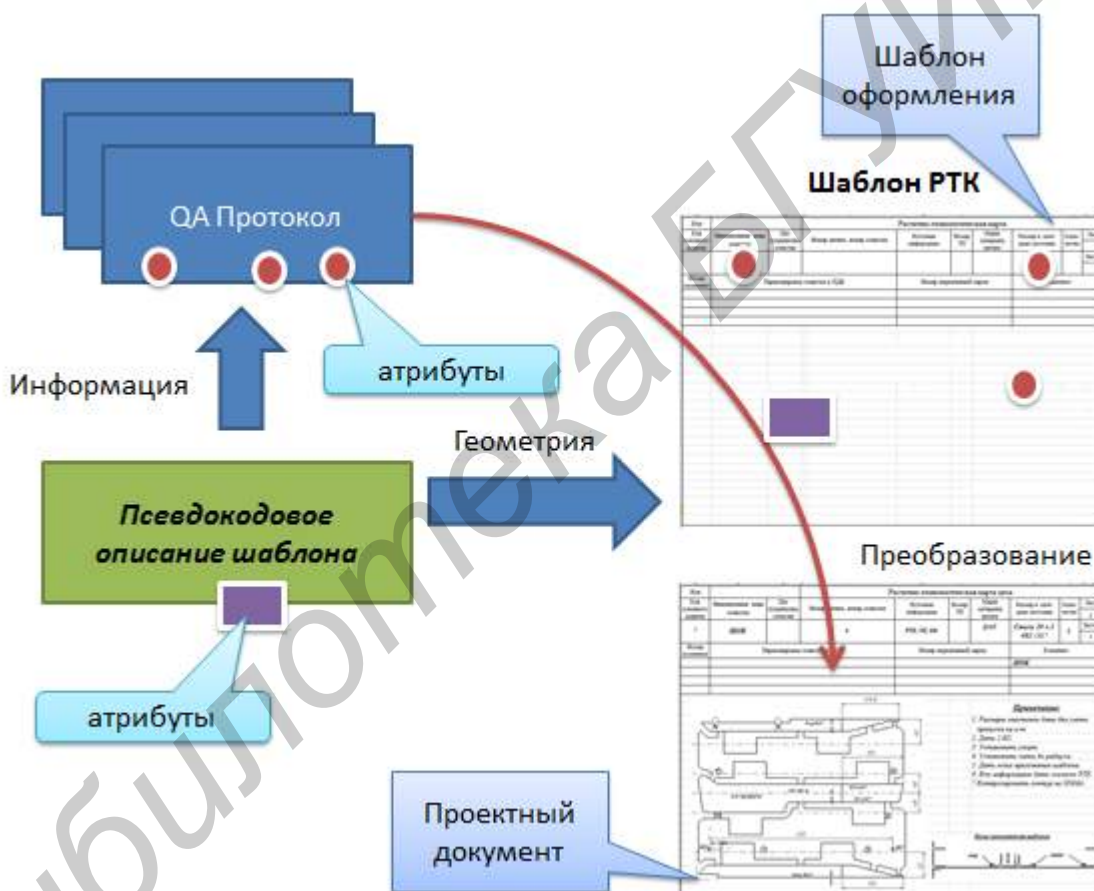


Рисунок 3 - Формирование РТК путем связывания шаблона документа и данных

Схема демонстрирует, что оперативное документирование в среде WIQA переносится в QA-память, причем для каждого типового документа формируются вопросно-ответное представление его структуры и шаблон визуального представления документа по образцу его твердой копии.

Заключение

В статье представлен подход к структурному проектированию шаблонов авиационных деталей, в процессе которого для проектировщиков открыты

возможности концептуального экспериментирования с геометрическими фрагментами шаблонов, включение которых в их конфигурацию предназначено для выполнения производственно-технологических функций изготовления и контроля деталей, а также их сборки в более сложные узлы. Такие возможности обеспечиваются за счёт использования в проектировании инструментально-моделирующей среды WIQA, в функционал которой введены средства отображения геометрии детали и шаблона

на семантическую память в виде, допускающем интерпретацию геометрических фрагментов шаблонов как декларативных псевдо-кодовых программ. Открыты две версии исполнения программ, одна из которых осуществляется в формах имитационного моделирования, а вторая преобразуется в программу числового управления лазерной резки запрограммированного геометрического фрагмента.

Включение представленных в статье средств в процессы проектирования конфигурируемых шаблонов способствует повышению степени автоматизации при решении творческих проектных задач, предотвращению и обнаружению ошибок проектирования, а также повторному использованию полезных проектных решений, в том числе и построенных шаблонов. Для решения задач повторного использования важным направлением является создание эффективной в применениях библиотеки шаблонов, вопросы о которой исключены из содержания статьи.

Список литературы

- [Босинзон, 2010] Босинзон М. А. Современные системы ЧПУ и их эксплуатация. М.: Академия, 2010. 192 с.
- [Соснин, 2014] Соснин П.И. Онтологическая Поддержка Концептуального Экспериментирования в Вопросно-Ответных Моделирующих Средах / Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям», Научное издание в 4-х томах. – М.: Физматлит, 2014. – Т.1. с. – 488-495 с.
- [Соснин, 2008] Соснин, П. И. Концептуальное моделирование компьютеризованных систем/ П. И. Соснин. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 198 с.
- [Сосонкин, 2008] Сосонкин В. Л., Мартинов Г. М. Программирование систем числового программного управления. М.: Логос. Университетская книга, 2008. 344 с.
- [Чоракаев, 2014] Чоракаев О.Э., Соснин П.И. Подход к формальному описанию структуры шаблонов авиационных деталей. Материалы Российской конференции «Информатика, Моделирование, Автоматизация, Программирование» – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2014, с. –211-215.
- [Colombo, 2013] Colombo R.M., Guerra G., Marcellini F., Herty M. A hyperbolic model for the laser cutting process. Applied Mathematical Modelling, 37 (2013), 14-15, 7810-7821
- [Sosnin, 2013] Sosnin P., Pseudo-Code Simulation of Designer Activity in Conceptual Designing Of Software Intensive Systems Proceedings - 27th European Conference on Modelling and Simulation, ECMS 2013, 2013. С. 85-92.
- [Sosnin, 2014] Sosnin P., Lapshov Y., Svyatov K., Programmable Managing of Workflows in Development of Software-Intensive Systems, A. Moonis et al. (Eds.): IEA/AIE 2014, Part I, LNAI 8481, pp. 138–141, 2014.

CONCEPTUAL EXPERIMENTING IN DESIGNING THE CONFIGURED PATTERNS OF AVIATION PARTS

P.I. Sosnin*, O.E. Chorakaev*

*Ulyanovsk State Technical University,

Ulyanovsk, Russia

sosnin@ulstu.ru

olegchorakaev@yandex.ru

Key words: configured pattern, conceptual experimenting, designing, semantic memory.

Introduction

The paper presents a set of means for structural designing the configured patterns of aviation parts. Specificity of the offered approach to designing this kind of an equipment is defined with the use of means of conceptual experimenting. Such type of experimenting suggests a reflection of the life cycle of any pattern to a semantic memory of the question-answer type. The structure and attributes of the semantic memory cells are focused on coding of models of questions and answers from the viewpoint of their use in solving the creative tasks. In such modeling, any conceptual experiment is conducted as automated mental experiment the structure and content of which are operatively used in designing of patterns.

Main Part

Configured patterns as a specialized equipment for manufacturing and checking of aviation details have a set of features the main of which are the following: complicated geometrical forms, small rigidity, greater scales, strict requirements to accuracy of manufacturing.

Moreover, in the creation of each pattern, it should repeat not only the geometrical forms of the corresponding detail, but needed utility forms should be included to the pattern also. Such additional components of the patterns are oriented on conditions of their use, for example, in assembly operations with other details. Necessity to take into account the diverse points of view on a pattern leads to creative tasks, which had better to solve preliminary (before manufacturing a pattern) on models, by experimenting with their decisions.

The decisions that are offered in the paper are realized and checked up in the toolkit WIQA (Working In Questions and Answers) the environment of which supports conceptual modeling and conceptual programming. For designing the configured patterns, cartographical modeling of the structure and specifications of patterns, and also pseudo-code programming of their laser processing are included in WIQA functions.

Conclusion

Inclusion in the life cycle of designing the patterns the opportunities of experimenting with their conceptual models leads to increasing the automation degree of designing and quality of its results, reducing the technological time of pattern production. The use of experimenting also promotes the prevention of mistakes and detection of mistakes, and it facilitates the reuse of numerical programs for controlled tools.