На правах рукописи



ЧОРАКАЕВ ОЛЕГ ЭДУАРДОВИЧ

СРЕДСТВА СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНФИГУРИРУЕМЫХ ШАБЛОНОВ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Специальность: 05.13.12 –
«Системы автоматизации проектирования (промышленность)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Ульяновск – 2015

Работа выполнена на кафедре «Вычислительная техника» Ульяновского государственного технического университета

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Соснин Петр Иванович

Официальные оппоненты:

Иванов Александр Куприянович,
доктор технических наук, главный научный сотрудник ФНПЦ ОАО «НПО «Марс»

Попович Алексей Владимирович,
кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Рубикон»

Ведущая организация – **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону**

Защита состоится «24» июня 2015 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного Совета Д212.277.01 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32. ауд. 211, гл. корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ульяновского государственного технического университета. Также диссертация и автореферат размещены в Internet на сайте УлГТУ – http://www.ulstu.ru/

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор Смирнов Виталий Иванович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Область исследований и их актуальность

При производстве авиационной техники одним из основных показателей качества являются точность выполнения деталей, узлов и агрегатов. Использование техпроцесса, позволяющего получить минимальные отклонения от конструкторских размеров не выходящие за пределы допуска, позволяет обеспечить взаимозаменяемость. В авиационном производстве в составе разнообразных контрольно-измерительных средств используются не только контрольно-измерительные машины, но ключевую роль играют шаблоны, которые могут использоваться не только для контроля деталей, но и для их изготовления, а также в сборочных операциях. По стальным листовым шаблонам в натуральную величину (частично повторяющих оснащаемую шаблоном деталь), созданных и согласованных между собой по электронным моделям деталей, их заготовки из листового материала производят почти, не применяя мерительного инструмента. Малейшая неясность в шаблоне или неудачность его конструкции может привести к ошибкам, которые обнаружатся только после обработки или еще хуже при сборочных работах. По этой причине процесс проектирования шаблонов является трудоемким, включающим в себя не только последовательности рутинных операций, но и творческие процедуры (в основном из-за учета производства деталей и сборок узлов), что влечет за собой появление разнообразных отклонений, для предотвращения которых широко используется различные средства автоматизации производственного процесса.

Особенно это актуально для предприятий авиационной промышленности, выпускающих высокотехнологичную продукцию, так как сложность технологических операций при изготовлении такой продукции (например, летательных аппаратов) постоянно растет, в частности в связи с ужесточением требований к деталям. Важным фактором является дефицит квалифицированных конструкторов технологической оснастки, владеющих полной совокупностью методов и средств, необходимых для высокоэффективного шаблонного оснащения, например, авиационных деталей. Следует отметить, что процесс подготовки шаблонов, несмотря на огромный объем работ (в среднем на самолет при постановке его на производство необходимо изготовить 10 – 20 тысяч шаблонов), характеризуется сжатыми сроками, в связи с быстрым моральным устареванием решений, и занимает промежуток времени между окончанием проектирования и выпуском первого серийного изделия. В условиях отсутствия автоматизации, длительные сроки проектирования и изготовления шаблонов являются одним из основных факторов, сдерживающих производительность авиационного производства.

На сегодняшний день существует ряд решений, посвященных разработке и использованию методов создания шаблонов в процессах подготовки производства на авиастроительных предприятиях. К сожалению, в этих решениях проблемы совершенствования шаблонов затрагиваются только

частично, систематизация таких действий с позиций жизненного цикла практически не проводиться.

Оценивая существующее состояние развития средств создания и использования шаблонов, следует отметить, что успешно разрабатываются лишь подсистемы отдельных процессов. Отметим, что информационной основой для разработки любой из таких подсистем служит входная конструкторская, технологическая, нормативно – справочная, директивная информация, а также описание стандартных проектных процедур и типовых решений.

Возросшие требования к скорости и качеству при оснащении шаблонами деталей авиационных изделий, а также нехватка квалифицированных проектировщиков и отсутствие средств автоматизации направленных на решение непосредственно этих проблем, позволяют сделать вывод, об актуальности совершенствования процессов проектирования шаблонного оснащения.

Область исследований связана с совершенствованием процессов проектирования шаблонов деталей авиационных конструкций за счет включения в их состав процедур, предоставляющих разработчикам шаблонов возможность экспериментировать с проектными решениями.

Роль объекта исследований в диссертации возложена на средства автоматизации процессов проектирования, предотвращающие и обнаруживающие ошибки проектирования шаблонов авиационных деталей.

Направление исследований связано с отображением процессов проектирования шаблонов на семантическую память в формах, допускающих экспериментирование с составляющими их жизненного цикла.

В серийном авиационном предприятии приходится иметь дело с различными видами шаблонов, применяемых как для контроля, так и для изготовления деталей самолета. Детали, а соответственно и шаблоны для них могут иметь геометрию самой различной конфигурации и сложности. В рамках этого направления производства можно выделить класс шаблонов, который в диссертационной работе названы конфигурируемыми. К этому классу отнесены шаблоны, имеющие сложную конфигурацию (а часто и большие размеры), в формы которой разработчиком шаблонов приходится вносить разнообразные возможности для креплений деталей, удобства их производства и контроля, а также возможность переноса решений на деталь новой модификации.

Практика создания шаблонов названного класса демонстрирует, что проектировщиками приходится экспериментировать с проектными решениями на семантическом уровне. Так, например, для уменьшения сроков адаптации готовых моделей шаблонов к измененным условиям (это может быть, как изменение геометрии детали, так и изменения оборудования для изготовления шаблона, и его креплений к соответствующим деталям) необходимо предоставить средства для проведения экспериментов над их семантическими представлениями.

Такая необходимость привела в диссертационном исследовании возложить роль **предмета исследований** на средства экспериментирования, полезные в процедурах создания и применения конфигурируемых шаблонов на всех этапах их жизненного цикла.

Более конкретно диссертационное **исследование нацелено** на ***повышение степени автоматизации в проектировании конфигурируемых шаблонов авиационных деталей*** за счет включения их в жизненный цикл возможностей нормативного и/или ситуативного экспериментирования, способствующего предотвращению и обнаружению ошибок.

Для теоретической и практической привязки задач диссертационного исследования к инструментам была выбрана среда вопросно-ответного моделирования WIQA (Working In Questions and Answers), память которой обеспечивает представление объектов и процессов с богатой семантикой. Более того эта среда открывает возможность для создания специализированных псевдокодовых языков, ориентированных на их использование как для описания объектов, так и для программирования действий с моделями объектов и их связными совокупностями.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе необходимо решить **основные задачи**:

- провести анализ и специфицировать процесс проектирования конфигурируемых шаблонов авиационных деталей с ориентацией на их жизненный цикл;
- разработать общую схему процесса проектирования конфигурируемых шаблонов, в рамках их жизненного цикла;
- разработать подмножество псевдокодового алгоритмического языка**,** для описания геометрии шаблонов и их состояний;
- реализовать интегрированную подсистему САПР и опробовать ее при решении конкретных задач;
- разработать совокупность процедур для преобразования трехмерных моделей шаблонов в их семантические представления;
- разработать процедуры трансляции псевдокодовых моделей в программы для лазерной обработки;
- разработать процедуры для осуществления документирования процесса проектирования конфигурируемых шаблонов.

На научную новизну претендуют:

1. Совокупность методик экспериментирования с динамикой (проектные процедуры) и статикой (состояния) жизненного цикла конфигурируемых шаблонов, исследование которых осуществляется в семантической вопросно-ответной памяти и приводит к повышению степени автоматизации процесса проектирования и качества его результата.
2. Картографическая модель шаблона, обеспечивающая послойную структуризацию для специализации работ по каждому слою во время материализации при лазерной обработке, что снижает технологическое время их производства.

3. Подмножество псевдокодового языка для представления геометрии конфигурируемого шаблона и действий по его созданию, включающих действия по технологической подготовке производства, способствующих предотвращению ошибок, обнаружению ошибок, повторному использованию, переносимости на другие станки лазерной обработки.

На защиту выносятся:

1. Представление методик проектирования в виде псевдокодовых программ, исполнение которых можно осуществлять в пошаговом режиме, с прерываниями на любом из операторов для выполнения экспериментальных действий и процедур, если в этом у создателя шаблона появляется необходимость.
2. Специализированный псевдокодовый язык с инструментально – методологическим обеспечением, который обеспечивает семантико-алгоритмическое представление проектируемых шаблонов на всех этапах жизненного цикла, включая разработку управляющих программ лазерной резки для их изготовления.
3. Картографическая модель представления конфигурируемых шаблонов, несущая в себе информацию об их геометрии и совокупности технологической информации, транслируемая в программу для их изготовления.

Практическая ценность:

Практическую ценность работы составляет совокупность разработанного программного обеспечения на базе САПР NX 7.5 и вопросно-ответной среды WIQA.NET обеспечивающая повышение степени автоматизации процесса проектирования листовых шаблонов за счет:

- возможности экспериментирования, позволяющие адаптировать хранимые в библиотеке модели и выбрать лучшие решения уже в существующих решениях;
- формализация накопленного опыта проектирования, упрощающая как работу специалистов с небольшим опытом, так и освобождающая от повторения монотонных операций для более опытных.

Личный вклад соискателя ученой степени:

Все основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. Соавторами совместных публикаций являются научный руководитель, д-р техн. наук, проф. П.И. Соснин, который принимал участие в выборе направления исследований, постановке задач, обсуждении теоретических и практических результатов, и сотрудники, которые принимали участие в научно – исследовательских программах. В публикации с соавторами вклад соискателя определяется рамками представленных в диссертации результатов.

Реализация и внедрение результатов работы:

Разработка включает алгоритмическое программное обеспечение для реализации предложенных методик на используемых в процессе проектирования стандартов.

Результаты исследований нашли отражение в хоздоговорных работах с ЗАО «Авиастар-СП» в 2010 – 2015 годах, а также в учебном процессе ИАТУ УлГТУ на кафедре Самолетостроения.

Грант №15-07-04809 «Технологии и инструментарий ПКУ процессами в проектировании систем, интенсивно использующих ПО».

Апробация работы. Основные результаты диссертации доложены и представлены на научно-технических и практических конференциях ППС УлГТУ в 2011, 2012, 2013 и 2014 годах (г. Ульяновск, 2011 – 2014 гг.); Международной конференции аспирантов и молодых ученых (г. Ульяновск, 19 апреля 2011 г.); Всероссийских научно-технических конференциях «Теоретические и практические аспекты развития отечественного авиастроения» в 2012, 2014 годах (г. Ульяновск, 2012, 2014 гг.), Всероссийской школе – семинаре аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП–2013 и ИМАП–2014 (УлГТУ, г. Ульяновск 2013, 2014 гг.), Международной научно-технической конференции «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (Минск, 19–21 февраля 2015 года).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ (статей), в том числе 8 работ опубликованы в рецензируемых изданиях, определенных ВАК РФ. Перечень основных работ опубликован в конце автореферата.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографии из 179 наименований, 4 приложений, общим объемом 194 страницы машинописного текста, включает – 91 рисунок, 11 таблиц и 4 приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель и аргументирована научная новизна исследований, показана практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения, а также краткий обзор диссертации по главам.

В первой главе проведен анализ области исследования, в качестве которой рассмотрена система шаблонного оснащения авиационного производства; выделено место конфигурируемых шаблонов в этом процессе; проведен обзор родственных исследований по следующим направлениям (вопросы использования САПР для решения задач ТПП, накопление опыта в коллективе проектировщиков, применение систем проектирования шаблонов на авиационных предприятиях, использование станков лазерной резки для изготовления деталей из листа); проведен вопросно-ответный анализ и сформированы задачи исследований и разработок.

Раскрыты содержание и проблемы разработки шаблонного оснащения для серийных изделий авиационного профиля. Особое внимание уделено таким особенностями деталей названного класса, как сложность их геометрических форм, малая жесткость, большие габариты, высокие требования точности изготовления и точности увязки. Специфика деталей и соответствующих им шаблонов обобщенно отражена на рисунке 1.

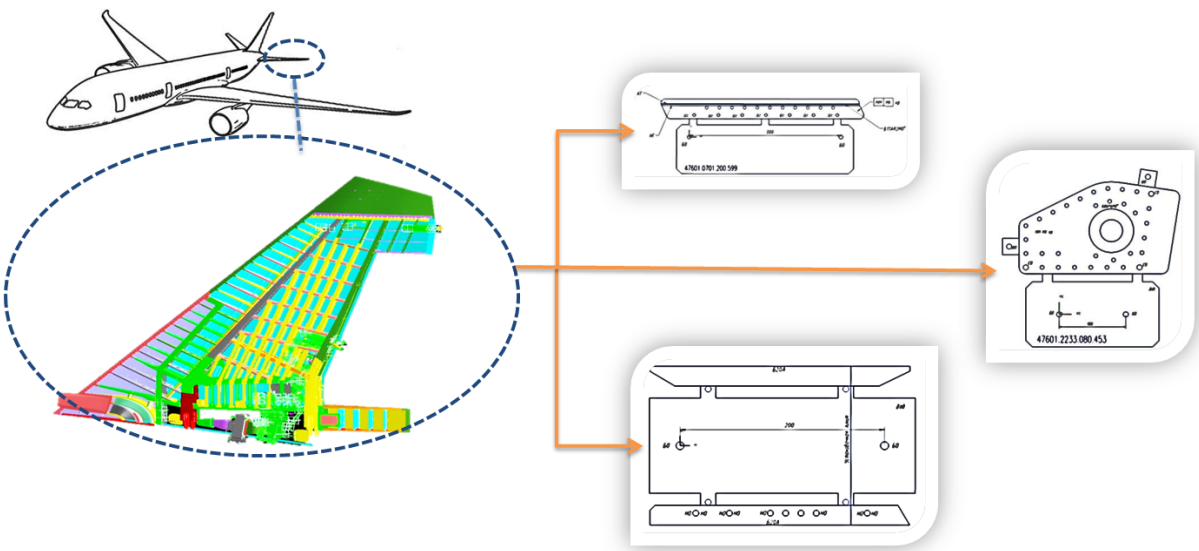


Рис. 1. Типовые примеры шаблонов для деталей авиационного профиля

Отмечено, что 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.

Показано, что, 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. Особое внимание уделено вопросам использования шаблонов в процессах изготовления и контроля деталей.

Так как в интересах области диссертационного исследования находится практически весь жизненный цикл проектирования шаблонов до их непосредственного изготовления, в литературном обзоре проведен тематический отбор и анализ работ по составляющим жизненного цикла изделия и соответственно шаблона, выделенным согласно стандарту ISO 9004.

В рассмотренных работах большое внимание уделено вводу в проектирование изделия электронного моделирования с использованием для увязки трехмерных моделей, но ввиду существенных различий между процессами проектирования шаблона и деталей, собственными параметрами и состояниями конфигурируемых шаблонов, требуется проводить адаптацию САПР, с помощью механизмов разработки собственных программных модулей.

Примеры подобных решений представлены как для T-Flex, Компас, AutoCAD, так и для применяемого на авиационных заводах Siemens NX (ранее Unigraphics или UG), например, для упрощения разработки управляющих программ. Отдельное направление в обзоре выделено вопросам рационального формирования холостого хода каретки в процессах лазерной резки.

Исходя из цикла производства шаблона, с учетом обзора родственных исследований и разработок, в работе выделены основные направления для решения существующих в области проблем, обобщенно представленные на рисунке 2.

1. Разработать специализированную подсистему проектирования плоских листовых шаблонов авиационных изделий, обеспечивающую их оптимальную лазерную резку, за счет включения в процесс проектирования совокупности преобразований визуальных моделей, в том числе псевдокодового графического моделирования с возможностями экспериментирования, согласованных с (числовым-программным управлением) ЧПУ программами в G-кодах.
2. В проектировании плоских листовых шаблонов следует ориентироваться на их повторное использование с доступом к библиотеке шаблонов и применением эффективных механизмов коррекции.
3. Подсистема должна быть разработана как модуль к существующей САПР NX 7.5, являющейся базовой на ЗАО «Авиастар-СП», с использованием вопросно-ответной среды Working In Questionsand Answers (WIQA)

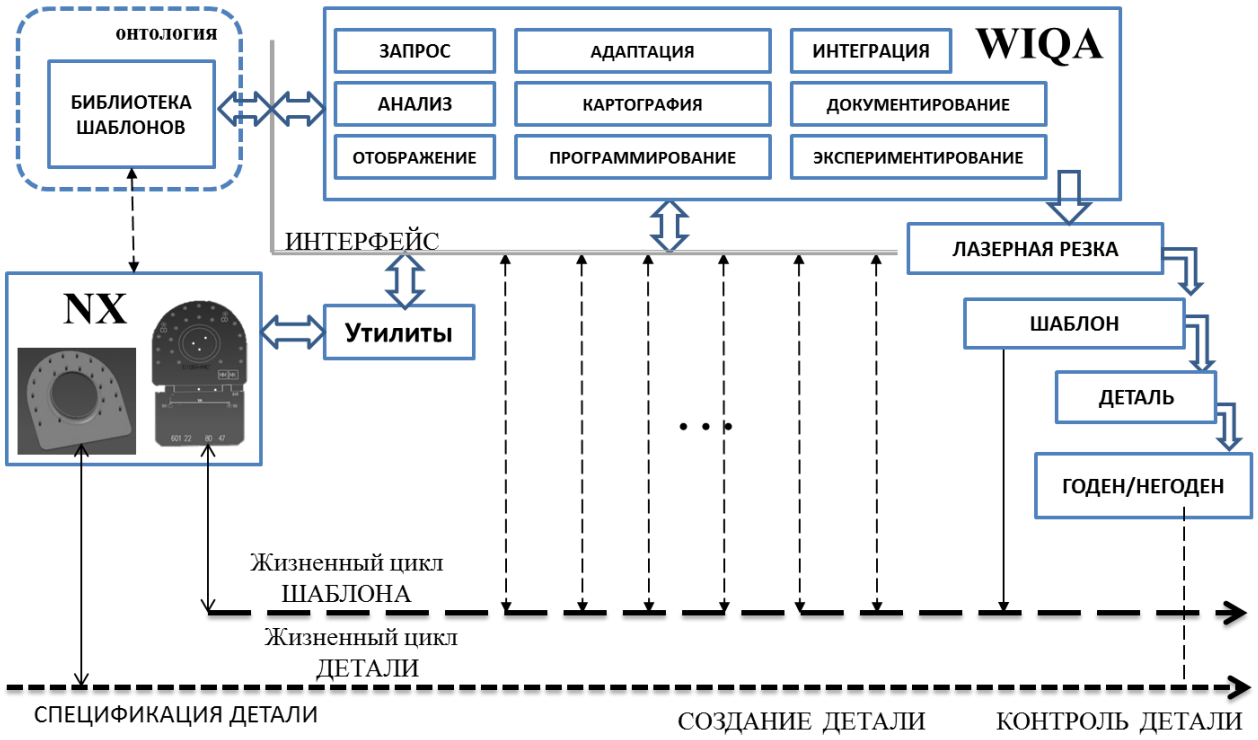


Рис. 2. Сопоставление жизненных циклов детали и шаблона

Сформирован основной мотив исследования: ***использование в процессе технологического оснащения серийных авиационных изделий***

специализированной системы проектирования шаблонов и экспериментирование с их моделями должно способствовать снижению трудоемкости в процессе их проектирования.

С помощью анализа на основе QA-подхода сформированы ожидаемые от исследования эффекты:

Подсистема проектирования листовых шаблонов должна повысить степень автоматизации действий проектировщика, за счет автоматического выполнения повторяющихся операций, на этапе трехмерного проектирования, оформления технической документации, подготовки управляющих программ и контроля с использованием средств экспериментирования.

Проведение экспериментов позволяет адаптировать сохраненные проекты к новым деталям, оценивать результаты коррекций моделей, транслировать программы для других станков, а также проводить оптимизацию трассы для лазерной вырезки.

Эффективность системы должна определяется с той позиции, которую дает экспериментирование с программами. Механизмы коррекции должны определять ошибки до этапа резания, и тем самым избежать затрат. На экспериментах можно проверить и скорректировать микропрограмму обработки.

Во второй главе раскрыты вопросы включения в технологический процесс проектирования шаблонов возможностей экспериментирования; произведена формализация шаблонов, и выделено более 40 описаний типовой структуры с использованием формализмов расширенной Бэкус-Науровых форм (РБНФ); предложено картографическое представление структуры шаблона; перечислены и специфицированы состояния шаблона на различных этапах жизненного цикла.

Для достижения ожидаемых положительных эффектов, в работе предложено включить в технологический процесс проектирования шаблонов, с учетом их изготовления на станках лазерной резки, возможностей экспериментирования в построениях управляющих траекторий, а также и на других этапах жизненного цикла шаблонной оснастки. Экспериментирование основано на разработке и исполнении псевдокодовых программ, имитирующих движение лазерного луча, как в рабочем режиме, так и на участках холостого хода.

В работе предложены механизмы разработки и использовании шаблонов, включающие выбор подходящего образца и его первоначальная адаптация к техническому заданию в среде САПР NX. После этого процесс разработки переводится в инструментально-моделирующую среду WIQA, открывающую возможность для запланированных и ситуативных экспериментов, с прерыванием и переходом в другие программные средства (NX и др.), а также с возвратом обратно в среду WIQA. Экспериментирование позволяет ввести в процесс разработки дополнительные проверки проектных решений.

На завершающем этапе формируются программа изготовления шаблона на станке лазерного раскроя. Фрагмент этого процесса (с отображением места предлагаемых в диссертации средств) показан на рисунке 3.

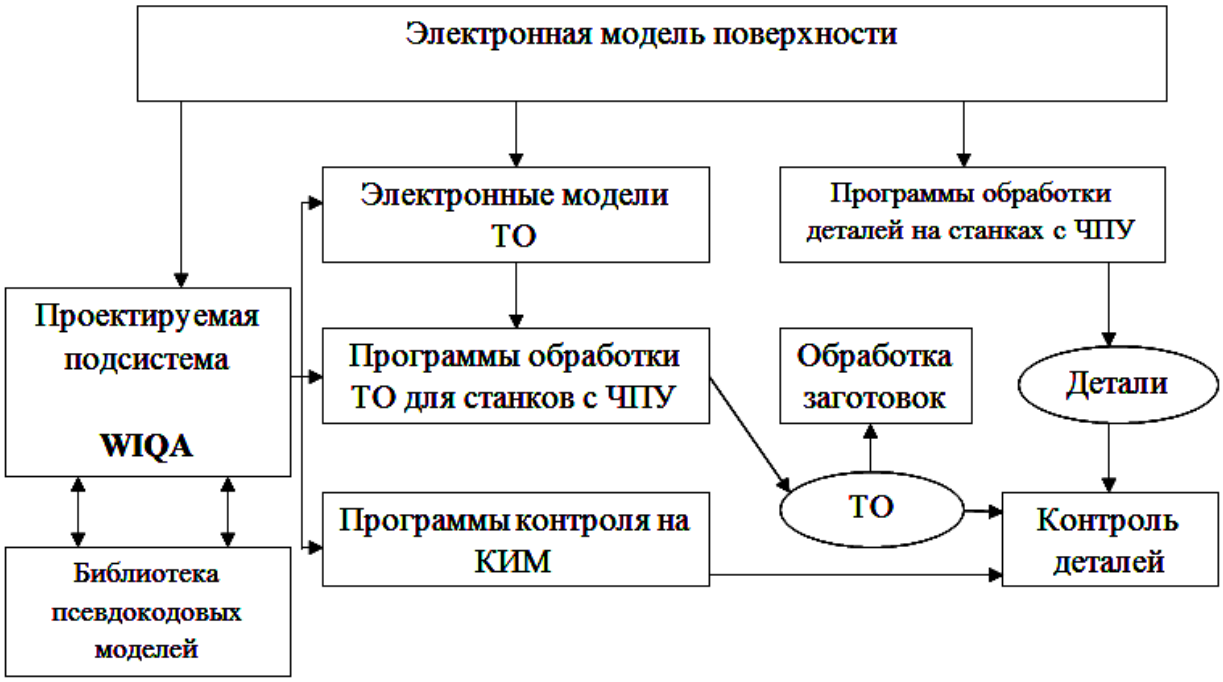


Рис. 3. Место проектируемой системы в процессе подготовки технологического оснащения

Специфика шаблонов и процесса их изготовления привела к решению использовать для спецификации структурных элементов порождающей грамматики (с использованием РБНФ-нотаций), от которой легко перейти к псевдокодовым программам изготовления шаблонов. Правила грамматики позволили описать как номенклатуру шаблонов, так и их спецификации. Номенклатура вводится следующим правилом:

ШАБЛОН = ШОК | ШГ| . . . | ШР,

где слева приведена нормативная аббревиатура шаблонов основных типов (ШОК – шаблон обрезки и кондуктор, ШГ – шаблон гибки, ШР – шаблон развертки).

В основу геометрии шаблонов положен основной структурный повторяющийся элемент, который можно описать следующим образом, например, для ШОК:

ШОК = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН , {X},

где X – специфические структурные элементы;

БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН = ОСНОВНАЯ_ЧАСТЬ, [ДОБАВОК], ИНФОРМАЦИЯ.

На основании выделенного элемента описания шаблонов имеют вид, представленный на рисунке 4.

В итоге все элементы шаблона описаны следующими примитивами с точки зрения работы с геометрией:

ОСНОВНАЯ_ЧАСТЬ = {КОНТУР};
КОНТУР = {ПРИМИТИВ};
ПРИМИТИВ = ОТРЕЗОК | ДУГА | СПЛАЙН;

ОТРЕЗОК = ‘L1(‘, ТОЧКА, ‘,’, ТОЧКА, ‘)’;

ДУГА= ‘A1(‘, ТОЧКА, ‘,’, ТОЧКА, ‘,’, ТОЧКА, ‘,’, ЧИСЛО, ‘)’, | ОКРУЖНОСТЬ;

СПЛАЙН = ‘SP(‘, ТОЧКА ‘,’ {ТОЧКА, ‘,’}, ТОЧКА, ‘)’;

ТЕКСТОВЫЙ_БЛОК = {СИМВОЛ}, ТОЧКА, ЧИСЛО.

Каждая модель шаблона кроме отображения на этапе трехмерного моделирования и проектирования имеет также представление в виде кодов микропрограммы управления станком лазерной резки, те же самые примитивы записаны и для этапа обработки на станке лазерного раскроя:

СПЛАЙН = {‘G3 X‘ ЧИСЛО ‘Y’ ЧИСЛО ‘I‘ ЧИСЛО ‘J’ ЧИСЛО | ‘G4 X‘ ЧИСЛО ‘Y’ ЧИСЛО ‘I‘ ЧИСЛО ‘J’ ЧИСЛО };

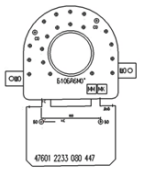
ОТРЕЗОК = [‘G0 X‘ ЧИСЛО ‘Y’ ЧИСЛО] ‘G1 X‘ ЧИСЛО ‘Y’ ЧИСЛО;

ДУГА= ‘G3 X‘ ЧИСЛО ‘Y’ ЧИСЛО ‘I‘ ЧИСЛО ‘J’ ЧИСЛО | ‘G4 X‘ ЧИСЛО ‘Y’ ЧИСЛО ‘I‘ ЧИСЛО ‘J’ ЧИСЛО.

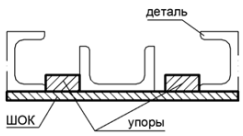


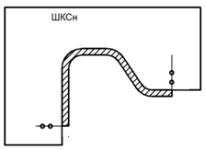
ШОК = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН [УПОРЫ] [УСТАНОВОЧНАЯ ЛИНИЯ] [ОБОЗНАЧЕНИЕ_ПОДСЕЧЕК] [ОКНА_ПОД_СТРУБЦИНЫ] [ОСЬ_ПРОФИЛЯ] [ЭСКИЗ_ПРИЛОЖЕНИЯ]





ШР = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН {ШО} ЛИНИИ_ГИБА ГРАНИЦА_ФРЕЗИРОВАНИЯ ОБОЗНАЧЕНИЕ_БОРТОВ





ШКСН = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН ОБОЗНАЧЕНИЕ_БАЗЫ ВИД ДИСТАНЦИЯ НОМЕР_В_КОМПЛЕКТЕ

ШВК = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН

ШГ = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН ЭСКИЗ_ПРИЛОЖЕНИЯ

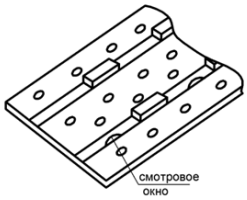


Рис. 4. Грамматика описания основных типов шаблонов

Выбор системы **WIQA** обусловлен возможностью описания процесса проектирования не только с точки зрения машинных команд, но и формального описания последовательности действий человека на языке близком к естественному, и отображения процесса проектирования в вопросно-ответную память, что отображено на рисунке 5. Язык, для обозначения которого введена символика LWIQA, встроен в инструментарий WIQA и доступен для использования в рамках интегрированной среды псевдокодового программирования, включающей текстовый и графический редакторы, две версии интерпретатора, компилятор и библиотеку типовых и служебных программ.

Язык WIQA допускает расширения, одним из которых является разработанное в диссертации расширение, описывающей процесс

проектирования шаблонов – расширение **LCMT** (Language conceptual modeling template. Этот результат представляется правилами:

LWIQA = LBASE [RAS]

RAS = r | LCMT,

где **r –** комплекс расширений языка, созданный до расширения **LCMT**.

В расширение **LCMT** включены операторы, основные из которых приведены в Таблице 1 и сервисные процедуры и функции, часть из которых включена в Таблицу 2.



Рис. 5. Отображение процесса проектирования на QA-память

Таблица 1

1	Подготовить станок	&Podg_St&	G17 G40 G21 G71 G90 G94 G49 G61 F2000
2	Установить мощность, для сквозного реза	&Power&	S1000
3	Линейная интерполяция	&Line&	G1 X239.93 Y-15 F1130
4	Круговая интерполяция	&Arc&	G3 X204 Y0 I-4 J0 F1130
5	Холостой ход	&Idl&	G0 X229.93 Y-25 F2000
6	Визуализация линейного перемещения	&Cut_Line&	
7	Визуализация перемещения по дуге	&Cut_Arc&	
8	Визуализация перемещения по окружности	&Cut_Circle&	
9	Визуализация перемещения по контуру	&Cut_Cont&	

Таблица 2

№	Псевдокодовая команда	Описание
1.	Подготовка к проектированию	
1.1.	Pol_Zad(&idZad&)	Получить задание
1.2.	&Nas_Rab_Mes&	Настроить рабочее место
1.3.	&Start_NX&	Запустить NX
	. . .	
4.	Формирование программы обработки	
4.1	&Progr_prov&	Проверка геометрии
4.2	&Progr_progr&	Сформировать программу обработки
5.	Экспериментирование с моделью	
5.1.	&Eksper_Vis&	Запустить визуализацию лазерной обработки
	. . .	
5.5.	Eksper_KorP(&OldPoints&, &NewPoints&)	Корректировать точку врезки на контуре
6.	Оформление документации	
6.1.	Doc_Templ(&Templ_Name&)	Загрузить шаблон документа
6.2.	Doc_Templ_Fill(&Name_QA&)	Заполнить шаблон из QA-протокола
6.3.	Doc_Print (&Name_Doc&)	Напечатать документ
7.	Подготовка и обработка на станке с ЧПУ	
7.1.	&Podg_St&	Подготовить станок
7.2.	&Podg_Zagr&	Загрузить заготовку на станок
7.3.	&Obr_Vipoln&	Выполнить программу обработки на станке

Одним из важнейших результатов диссертационного исследования является картографическая модель шаблона, дифференцирующая и связывающая его структурные элементы по образцу географических карт. В картографической модели выделяются слои, объединяющие наборов данных, связанные определенной спецификой или проблематикой. Пример одной из таких моделей, приведен на рисунке 6.

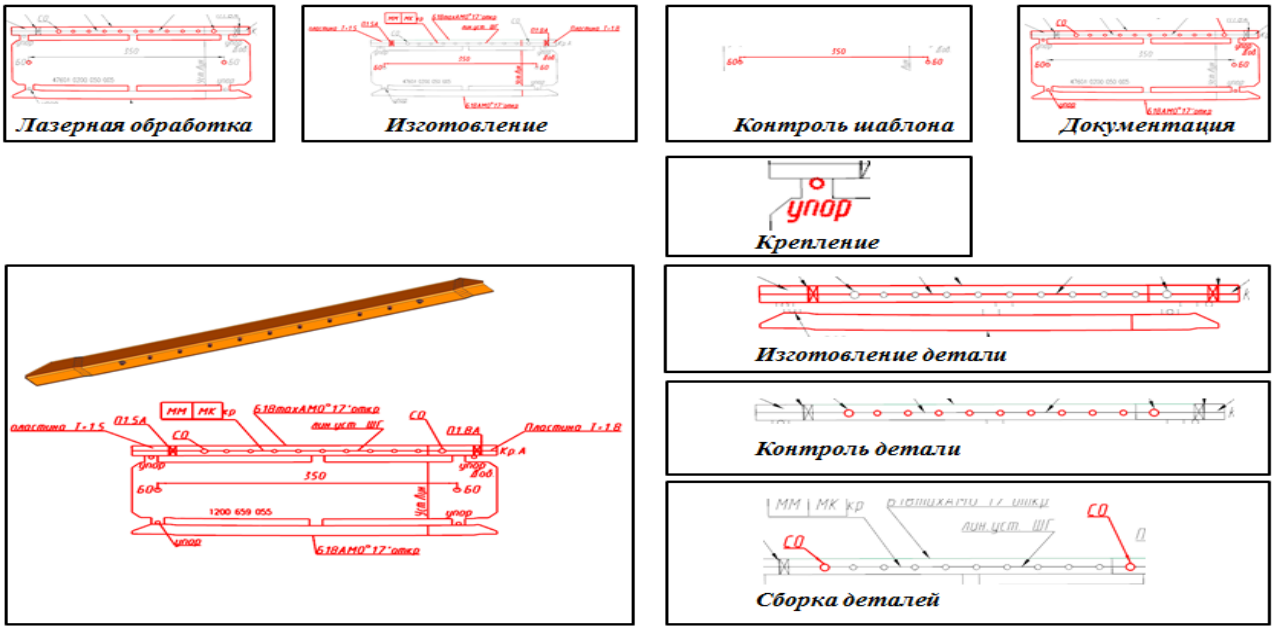


Рис. 6. Пример послойного разбиения структуры шаблона

В процессе проектирования каждый шаблон, по аналогии с представлением карт в виде многослойной структуры, должен быть разбит на множества геометрических элементов и текстовых блоков.

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

S^k – функция объединения элементов в картографический слой.

. – операция совмещения (проецирования) картографически-ориентированных слоев.

Z – заготовка шаблона, формализация начального металлического листа, представляет собой слой с осями координат, размеры которого больше габаритов шаблона a и b.

G^{DET} – нормативное представление исходной детали, это подразумевает, что исходная деталь на шаблон может быть отображена, как одним контуром, группой контуров, так и просто линией сечения поверхности детали, причем каждый геометрический элемент может принадлежать одному из множеств отображения геометрии детали

Gr_i^{HDO} – элементы внешнего контура для сквозной вырезки,

Gr_i^{HDI} – элементы внутреннего контура для сквозной вырезки,

Gr_i^{PD} – элементы, отображаемые рисками

$$G^{DET} \Rightarrow \{Gr_i^{HOD}\} \cup \{Gr_i^{HID}\} \cup \{Gr_i^{PD}\},$$

G_{add} – набор геометрических примитивов формирующих добавочный материал.

Также состоит из внешних, внутренних контуров и рисок

$$G_{add} = \{Gr_i^{HOAdd}\} \cup \{Gr_i^{HIAdd}\} \cup \{Gr_i^{PAdd}\},$$

I_{text} – текстовые блоки с вспомогательной информацией, определяется координатами ограничивающего прямоугольника (x_1,y_1,x_2,y_2), шрифтом f_j, и содержимым t.

$$I_{text} = \{Text_i(x_1, y_1, x_2, y_2, f_j, t)\},$$

$S^k(G_{oe})$ – дополнительные элементы, связанные с шаблоном (пластины, упоры и т.д.)

Таким образом, уточненное описание будет выглядеть

$$sh = \left[S_1^k\left(Gr^Z(\emptyset)\right)\right] . [S_2^k(\{Gr_i^{HOD}\} \cup \{Gr_i^{HOAdd}\})] . [S_3^k(\{Gr_i^{HID}\}\{Gr_i^{HIAdd}\})] .$$
$$. [S_4^k(\{Gr_i^{PD}\} \cup \{Gr_i^{PAdd}\})] . [S_5^k(\{Text_i(x_1, y_1, x_2, y_2, f_j, t)\})] . [S_6^k(G_{oe})].$$

Определение псевдокодового описания шаблона с картографическим представлением по слоям позволяет получить из него как программы обработки с учетом специфики конкретного станка, так и сопроводительную документацию на шаблон.

Кроме этого открывается возможность создания библиотек повторного использования, как для самих описаний шаблонов, так и для описания типовых примитивов, входящих в состав шаблона по стандарту предприятия. В библиотеке хранятся успешные решения, так называемые прецеденты, аккумулирующие полезный опыт проектирования. Это могут быть готовые шаблоны, их конструктивные элементы, а также документация и программы обработки, отображающие состояния шаблона на различных этапах жизненного цикла. Непосредственно трехмерные модели, хранимые в библиотеке,

представлены двумя типами: псевдокодовое описание шаблонов, согласованное с программами ЧПУ, для поиска которых выделены основные параметры, для классификации (тип шаблона, характеризующий его применение; тип нормали заготовки шаблонируемой детали и т.д.) и параметрическое описание рядов типовых элементов, составленное из основания, и ряда параметров, характеризующих производные модели, различные по габаритам.

В третьей главе описана методологическая составляющая работы, включающая последовательность операций при проектировании шаблонов; методики проведения концептуального экспериментирования с отображениями шаблонов на семантическую память; описано формирование документов на основе заполнения QA шаблонов; приведены модели, используемые на производстве и их влияние на основные показатели основного производства.

Обобщенно процесс проектирование шаблонов в КБ происходит следующим образом:

- позиции деталей распределяются по конструкторским бюро;
- на каждую оснастку в плане проставляются сроки выполнения;
- начальник КБ просматривает позиции, закрепленные за его КБ, и отдает в работу конструктору;
- по окончании работы конструктор сдает расчетно-технологические карты на оснастку через своего начальника КБ в ПДБ.

Основная последовательность операций при проектировании шаблонов по предлагаемой методике с позиции проектировщика, выделенная из стандарта предприятия представлена на рисунке 7.

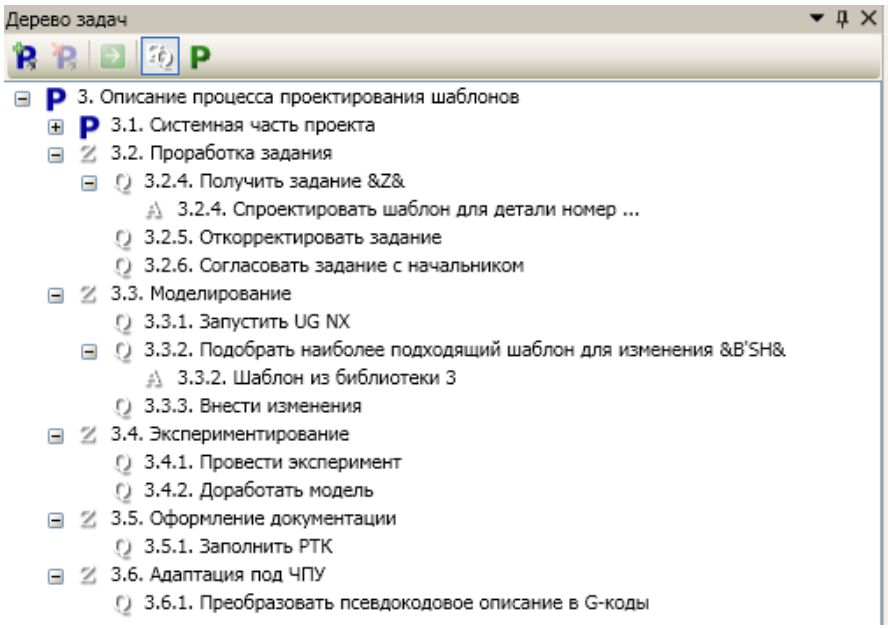


Рис. 7. Вопросно-ответное представление процесса проектирования шаблонов

Диаграмма последовательности работ при проектировании шаблонов, представленная на рисунке 8, описывает взаимодействие объектов в исследуемом процессе.

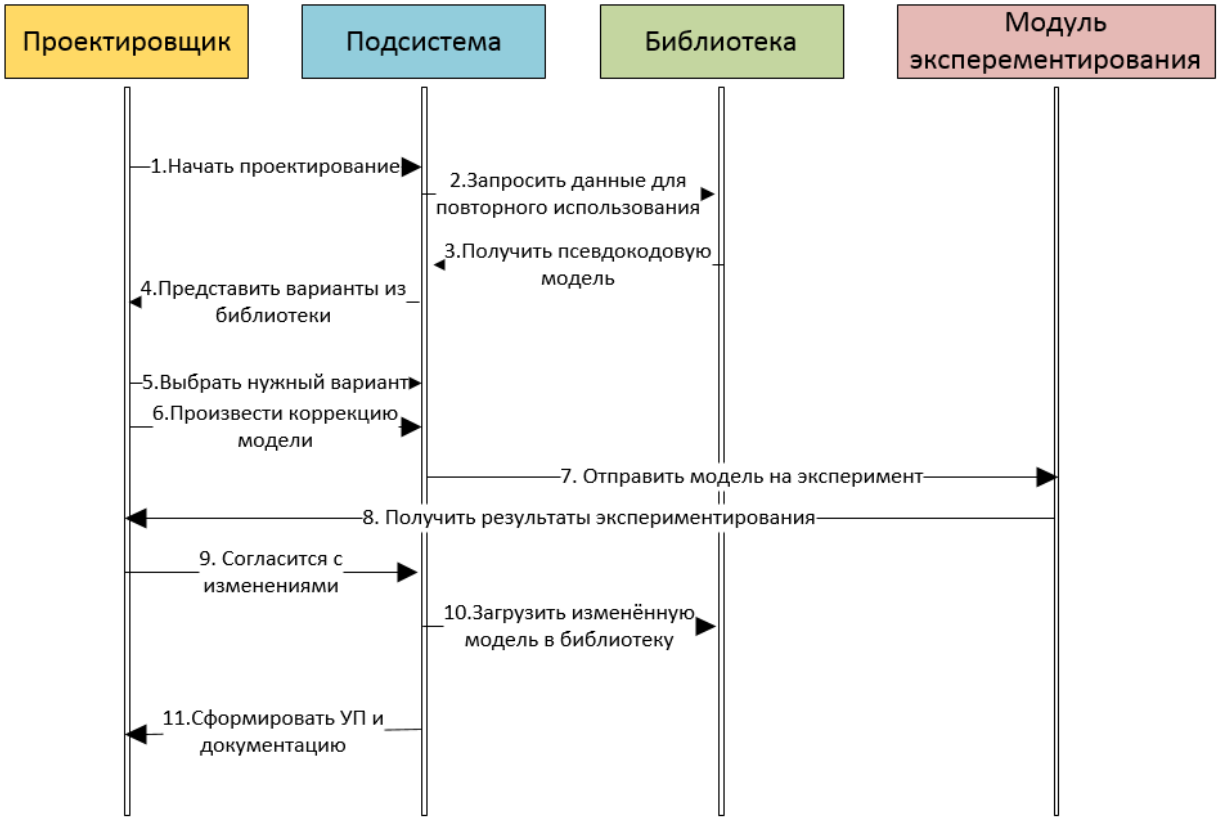
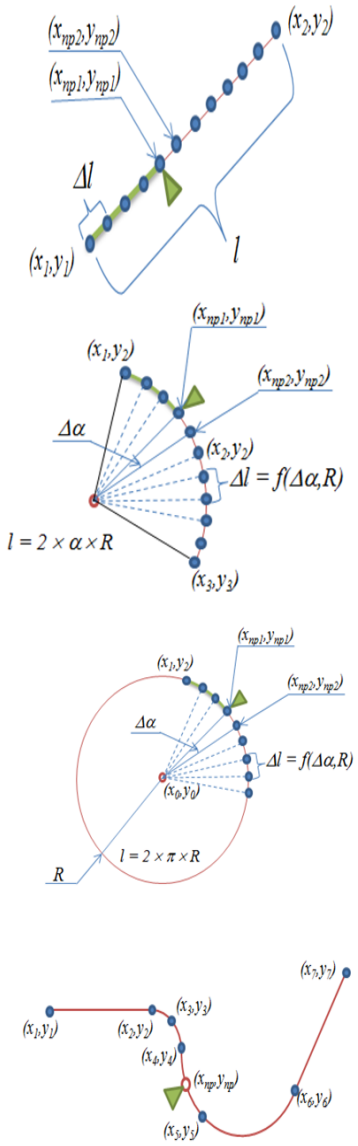


Рис. 8. Диаграмма последовательности взаимодействия объектов при проектировании шаблонов

Отображение процесса проектирования в вопросно-ответную память позволяет проводить концептуальное экспериментирование, принципиальным является проведение экспериментирования разработчиком шаблона для выбранной им задачи (не только связанной с процедурами лазерной резки). В диссертационном исследовании для проведения таких экспериментов разработан ряд средств, включающих средства для регистрации моделей шаблонов в библиотеке и средства для динамической визуализации процессов лазерной резки во времени.

Визуализация обхода и вырезки шаблона является вспомогательным экспериментальным средством. Для графического отображения в динамике процесса раскроя в модуле редактора диаграмм WIQA.Net необходимо сформировать псевдокодовые программы, отображающие пошаговый проход лазерного луча по определяемому контуру. Сам набор графических примитивов, полученный из САПР NX, по своей сути представляет собой декларативную программу, для имитации лазерной обработки которой необходимо определить реализацию основных примитивов.

В практическом экспериментировании, нацеленном на имитацию лазерной резки, разработаны средства динамического продвижения по контурам шаблона, что и имитирует лазерную резку. Для таких имитаций разработаны процедуры визуализации линейного сегмента, дуги, а также сплайна, представленного в виде их комбинации.



Процедура визуализации поэтапной вырезки дугового сегмента

```
    &n& := 10                  // Параметр детализации
    &x1& : = 250               //Начало дуги
    &y1& : = 50                //  Начало дуги
    &x2& : = 200               // Точка на дуге
    &y2& : = 0                 // Точка на дуге
    &x2& : = 300               // Конец дуги
    &y2& : = 150               // Конец дуги
    PROCEDURE &CutArc&
1.  &i& := 1
2.  &xpr1& := &x1&
3.  &ypr1& := &y1&
4.  LABEL &L1&
5.  IF &i& > &n& THEN GOTO &LEXIT&
6.  &RES& := SplitArc (&x1&,&y1&,&x2&,&y2&,&x3&,&y3&,&i&,&n&)
7.  &xpr2& := STR_SPLIT (&RES&, ";", 1)
8.  &ypr2& := STR_SPLIT (&RES&, ";", 2)
9.  &xpr3& := STR_SPLIT (&RES&, ";", 3)
10. &ypr3& := STR_SPLIT (&RES&, ";", 4)
11. DD_CreateLine("Arcline","ShapeName = Arc&i&","X1= &xpr1&", "Y1= &ypr1&",
    "X2= &xpr2&","Y2= &ypr2&","X3= &xpr3&","Y3= &ypr3&" )
12. DD_Update("ShapeName = Arc&i&", "          LineStyle = CutStyle")
13. DD_Update("ShapeName = LasKar", "X = (&xpr1& + &xpr3&) / 2", "Y = (&ypr1& +
    &ypr3&) / 2"))
14. &i& := &i& + 1;
15. &xpr1& := &xpr3&
16. &ypr1& := &ypr3&
17. GOTO &L1&
18. LABEL &LEXIT&
    ENDPROC &CutArc&
```

Рис. 9. Реализация основных процедур для динамического отображения лазерной обработки

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 псевдокодовом программировании. Так что любой результат экспериментирования, если он оказался рабочим и встраивается в проект шаблона, можно оперативно переносить в соответствующие документные формы. Оформление итогового документа (расчетно–технологической карты), определенного с помощью гипертекстового описания, с подстановкой требуемых параметров, и вставкой графической иллюстрации из редактора диаграмм, на основе псевдокодовой модели шаблона, представлено на рисунке 10.

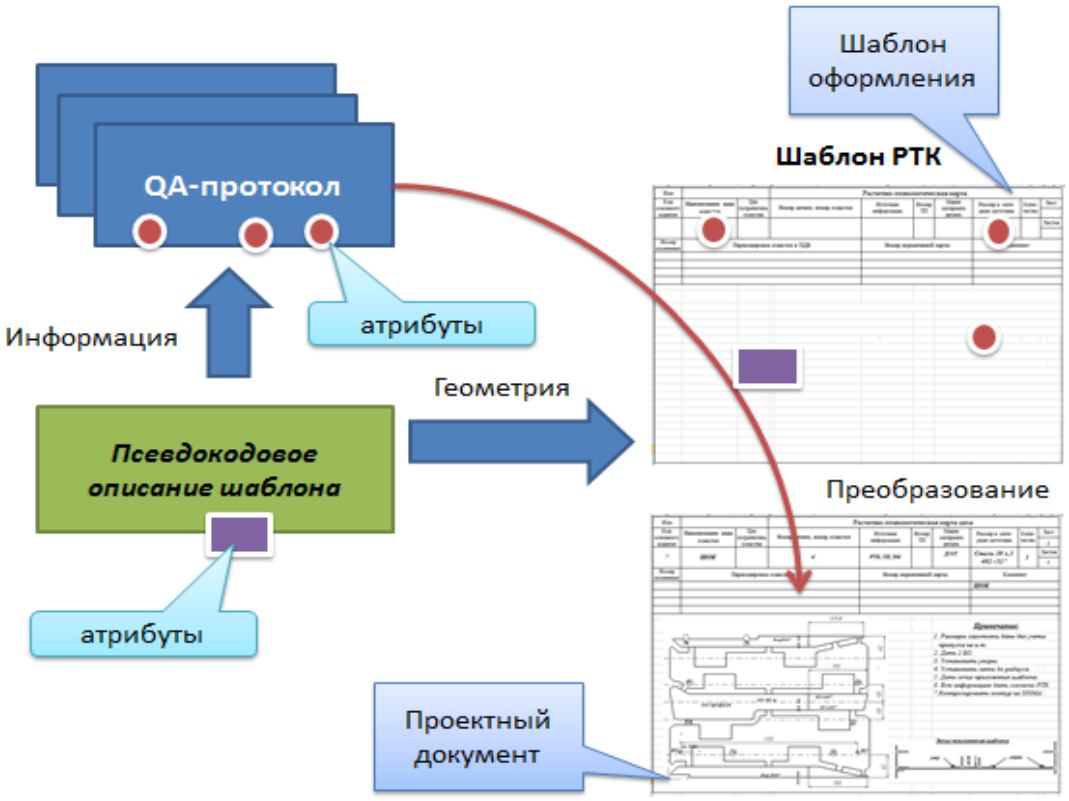


Рис. 10. Формирования сопутствующей документации на основе QA-протокола

<u>В четвертой главе</u> приводятся практические результаты, полученные в результате разработки системы: описание разработанных утилит и средств их интеграции для автоматизации функций, выполняемых проектировщиками; описана модель передачи информации о шаблоне между состояниями его жизненного цикла; рациональный выбор траектории холостого хода каретки станка при лазерном раскрое; экспериментирование с выбором точек врезания в контуры деталей и динамической визуализации процесса лазерного раскроя во времени; констатируется повышение качества автоматизации и положительных эффектов относительно базовых показателей.

Подсистема состоит из модулей, решающих следующие задачи:

- загрузка и сохранение в библиотеке псевдокодовых моделей;
- работа со слоями;
- заполнение и использование атрибутов электронной модели детали (ЭМД);
- двустороннее преобразование трехмерной модели и псевдокодового описания;
- экспериментирование над моделью;
- формирование программы обработки на основе псевдокодового описания;
- оформление документации;

Для хранения значения параметров используются атрибуты детали в NX, некоторые из них рассчитываются (масса, габариты и т.д.). Общая структура взаимодействия модулей подсистемы между собой и с базовыми системами (NX, WIQA) представлена на рисунке 11.

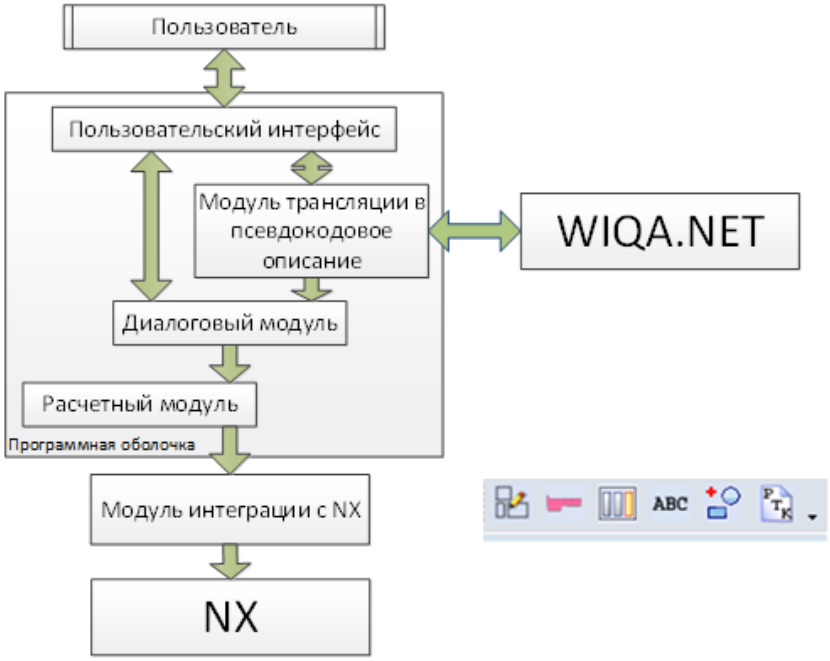


Рис. 11. Структура модулей подсистемы проектирования конфигурируемых шаблонов

Для передачи моделей разработаны модули трансляции

- из псевдокодового описания в геометрию NX;
- из геометрии NX в псевдокодовое описание;
- из псевдокодового описания в программы лазерной обработки.

Динамическое отображение процесса лазерной резки в модуле экспериментирования, имитирующее работу станка, и позволяющее проектировщику адаптировать программу под изменяющиеся условия представлено на рисунке 12.

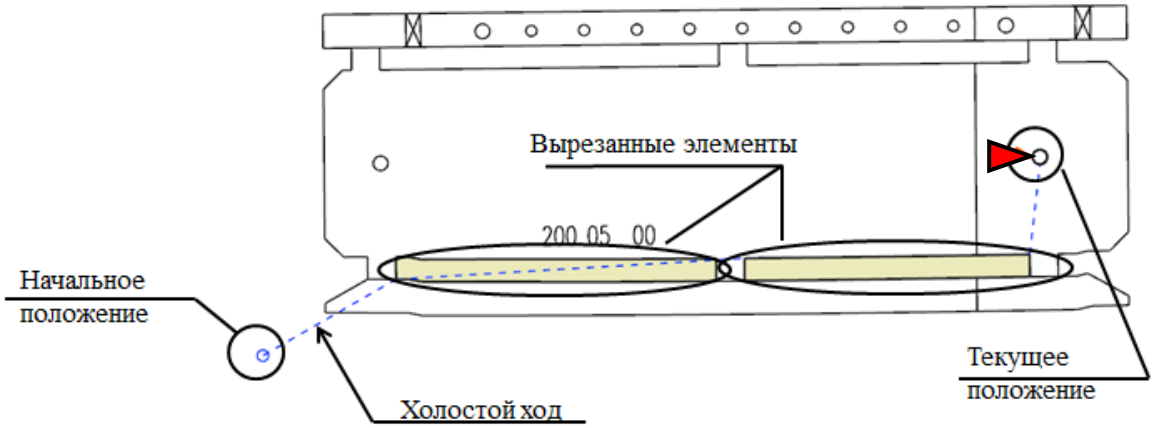


Рис. 12. Имитация лазерной обработки шаблона

Так как, общая длина лазерной обработки складывается из двух составляющих: сумма длин всех отрезков резки и длины холостых проходов и сокращение рабочего хода возможно только в узкоспециализированных задачах практически не применимо при изготовлении листовых шаблонов, то в работе

предлагается сократить общее технологическое время с помощью рационального выбора траектории обхода.

Для этого проектировщику шаблонов предоставляется возможность экспериментирования с точками входа лазерного луча в обрабатываемые контуры, а также динамическая визуализация резки во времени, с возможностью коррекции этих точек, что и позволяет рационализировать перемещения головки станка на холостом ходе. В качестве оптимизационного алгоритма применяется решение задачи коммивояжера, адаптированное для обхода контуров. хода с учетом следующей аналогии: каретка лазерного станка – коммивояжер; множество точек врезки – список пунктов обхода; начальное положение каретки – место проживания коммивояжера.

Поскольку функции точки врезки может быть любая точка обрабатываемого контура важной задачей является выбор таких точек, которые будут согласованны с рациональным поиском маршрута на основе решения задачи коммивояжера. Решение задачи коммивояжера (Traveling Salesman Problem – TSP) используется как для выбора точек врезки в условиях наличия альтернатив (рекурсивный вызов список точек обслуживания), так и для построения рационального «маршрута» холостого кода. Построение рациональной версии управляющей траектории (с позиций холостого хода) представляет следующая алгоритмическая схема:

1. *Сформировать список точек обслуживания (точек врезки)*
   - 1.1. *Сформировать список внутренних контуров для обхода* ***LK(B,D,E,F, …)*** *и рассчитать для них точки первого приближения* $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ */* C *– центры контуров вырезки*
   - 1.2. *Включить в пустой список* ***L(Ø)*** *начальную точку* ***IP*** *// в алгоритме коммиявожера это точка начального местоположения. В рассматриваемом случае это точка на листе заготовки, на которую нацеливает луч каретка лазерного излучателя.*
   - 1.3. *Определить наиболее близкий внутренний контур* ***K*** *из списка требующих обхода* ***LK.***
   - 1.4. *Определить точки пересечения* K_1 *и* K_2 *контура и прямой проходящей через точку* ***IP*** *и точку первого приближения для текущего контура* C_i.
   - 1.5. *Выбрать* $X = \min \begin{cases} l(R) = TSP(IP, K_1, C_i \dots, C_k); \\ l(R) = TSP(IP, K_2, C_i \dots, C_k). \end{cases}$
   - 1.6. *Включить выбранную точку* ***X*** *в список* ***L.***
   - 1.7. *Присвоить* ***IP = X,*** *исключить контур* ***K*** *из списка требующих обхода* ***LK.***
   - 1.8. *До тех пор пока список* ***LK*** *не пуст* ***GOTO 1.3.***
2. *Сформировать маршрут обхода точек обслуживания*
   - 2.1. *Определить рациональный vаршрут* ***M{}*** *по точкам из списка* ***L.***
   - 2.2. *Из последней точки определить ближайшую точку* A_1 *на внешнем контуре* ***A.***
   - 2.3. *Включить точку* A_1 *в маршрут обхода.*

Основные результаты диссертационного исследования были опробованы в ходе реализации хоздоговорной работы с ЗАО «Авиастар–СП» по проектированию шаблонов на серийное изделие и в работе по оцифровке чертежей деталей на серийное изделие, а также в практике преподавания дисциплины АПТО (Автоматизированное проектирование технологической оснастки) в УлГТУ, эти работы послужили источником данных для следующих выводов по результатам практического применения: применение средств структурного проектирования конфигурируемых шаблонов позволяет повысить производительность и снизить количество ошибочных решений, улучшить обучение новых специалистов и повысить уровень автоматизации основных операций, что представлено на рисунке 13

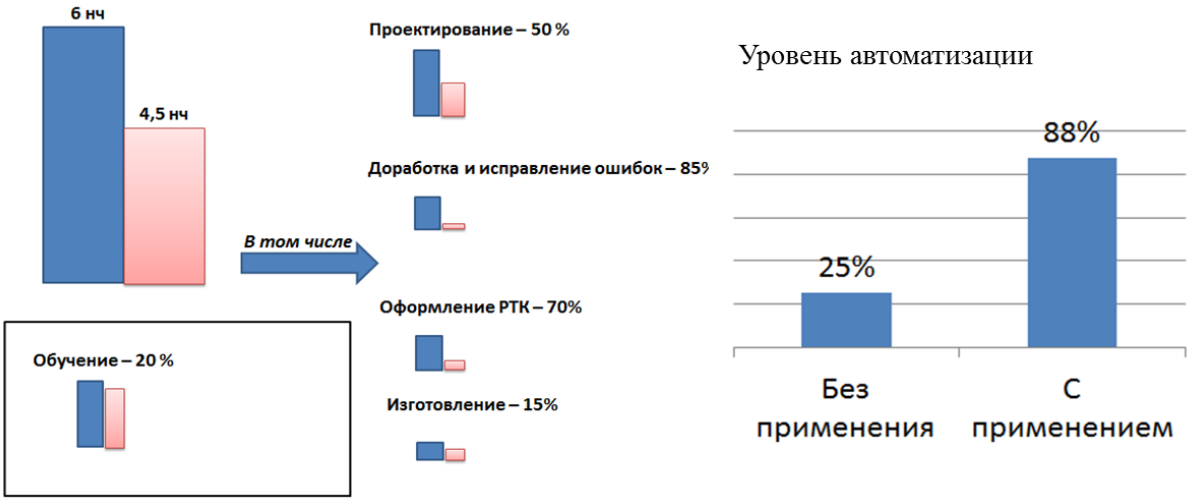


Рис. 13. Оценка положительных эффектов

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Обобщая итоги диссертационной работы и практической реализации на базе исследования, можно утверждать, что:

Цель исследования, направленная на повышение степени автоматизации в проектировании конфигурируемых шаблонов авиационных деталей за счет включения их в жизненный цикл возможностей нормативного и/или ситуативного концептуального проектирования, способствующего предотвращению и обнаружению ошибок, достигнута.

Получены новые результаты:

Проведен анализ процесса проектирования шаблонов на типовом авиационном предприятии. Выяснено, что при существующем методе проектирования, его создание сопряжено с множеством повторяющихся однотипных операций и выбором из альтернативных решений.

Сделана математическая постановка задачи, а именно:

- описаны структуры типовых шаблонов с использованием РБНФ;

- предложено картографическое представление структурных элементов шаблона, представление основано на послойной комбинации элементов.

Описана методика документирования в процессе проектирования конфигурируемых шаблонов, основанная на использовании шаблонов документов и их заполнении из QA-протокола.

Предложена методика концептуального экспериментирования с структурными элементами шаблонов ориентированная на их изготовление и эксплуатацию.

Приведено описание прецедентов для хранения состояний жизненного цикла шаблонов в библиотеке повторного использования, для организации их эффективного поиска и адаптации.

Предложена методика рационализации холостого хода каретки лазерного станка при раскрое шаблона из листа, а также динамическая визуализация этого процесса во времени, с целью коррекции.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Соснин П.И. Структурное проектирование конфигурируемых шаблонов авиационных деталей / П.И. Соснин, **О.Э. Чоракаев //** Автоматизация процессов управления. — 2014. — № 4 (38). — С. 99–107.
2. Лебедев А.В. Проблемы производства трубопроводов в современном авиастроении / А.В. Лебедев, А.А. Баранников, М.В. Гришин, П.Ю. Павлов, С.В. Рябов, **О.Э. Чоракаев //** В мире научных открытий. — 2014. — № 4 (52). — С. 71–81.
3. **Чоракаев О.Э.** Модель математической оценки эффективности мероприятий над эргатической системой на примере процесса разработки элементов технологического оснащения авиационных изделий / **О.Э. Чоракаев** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2013. — Т. 15. — № 4–4. — С. 876–879.
4. **Чоракаев О.Э.** Экономико-математическое моделирование автоматизированного проектирования трудоемкости производственно-технологических процессов организации сложных изделий. **О.Э. Чоракаев,** О.А. Верушкин, И.В. Попов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012 — Т. 14 — № 4–3 — С. 906–910.
5. Верушкин О.А. Метод технико-экономического описания САПРТЭП организации производства изделий с использованием элементов функционально стоимостной инженерии. О.А. Верушкин, **О.Э. Чоракаев**, В.И Кочергин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012 — Т. 14 — № 4–3 — С. 902–905.
6. **Чоракаев О.Э.** Процесс сквозной передачи информации об изделии между этапами проектирования технологического оснащения. **О.Э. Чоракаев** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012 — Т. 14 — № 4–3 — С. 878–881.
7. Щеклеин В.С. Подход к математическому моделированию производства на авиастроительном предприятии на основе развития метода сетевого планирования управления. В.С. Щеклеин, **О.Э. Чоракаев** // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012 — Т. 14 — № 4–3 — С. 874–877.
8. Попов П.М. Анализ процесса проектирования шаблонной оснастки с целью совершенствования технологической подготовки производства. П.М. Попов, **О.Э. Чоракаев**, М.В. Савин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2011 — Т. 13 — № 4–2 — С. 525–530.

Публикации в иных изданиях

1. Соснин П.И. Концептуальное экспериментирование в проектировании конфигурируемых шаблонов авиационных деталей / П.И. Соснин, **О.Э. Чоракаев //** Материалы V международной научно-технической конференции (Минск, 19–21 февраля 2015 года) «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» — С. 373–381.
2. **Чоракаев О.Э.** Подход к формальному описанию структуры шаблонов авиационных деталей. / **О.Э. Чоракаев**, П.И. Соснин // Сборник научных трудов VI Всеросийской школы – семинара аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП–2014. — Ульяновск: УлГТУ, 2014. — С.211–216.
3. **Чоракаев О.Э.** Использование вопросно-ответного подхода при проектировании шаблонов деталей на авиационном предприятии. / **О.Э. Чоракаев,** П.И. Соснин // Сборник научных трудов VI Всеросийской школы – семинара аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП–2014. — Ульяновск: УлГТУ, 2014. — С.205-211.
4. **Чоракаев О.Э.** Особенности программно-ориентированной лазерной обработки шаблонов авиационных изделий. / **О.Э. Чоракаев** // Сборник научных трудов V Всеросийской школы – семинара аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП–2013. — Ульяновск: УлГТУ, 2013. — С.200–205.
5. **Чоракаев О.Э.** Основная научная концепция в разрезе проектирования ПШО в АСТПП. / **О.Э. Чоракаев** // 47 научно-техническая конференция УлГТУ «Вузовская наука в современных условиях» — 2013 — С.105–112.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

TSP – Traveling Salesman Problem;
КД – конструкторская документация;
КИМ – контрольно-измерительная машина;
ЧПУ – числовое программное управление;
ТО – технологическое оснащение;
ЭМД – электронная модель детали.

АВТОРЕФЕРАТ

ЧОРАКАЕВ ОЛЕГ ЭДУАРДОВИЧ

СРЕДСТВА СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНФИГУРИРУЕМЫХ ШАБЛОНОВ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Подписано в печать 22.04.2015. Формат 60x84/16.

Усл. п. л. 1,40. Тираж 100 экз. Заказ №

ИПК «Венец» УлГТУ. 432027. Ульяновск, Сев. Венец, 32