

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Чоракаев Олег Эдуардович

**СРЕДСТВА СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
КОНФИГУРИРУЕМЫХ ШАБЛОНОВ
АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации
проектирования (промышленность)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,
Соснин Петр Иванович

Ульяновск – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава первая. Проблемы при автоматизации процессов проектирования листовых шаблонов на авиационном предприятии.....	12
1.1. Место шаблонов при подготовке авиационного производства	12
1.2. Обзор родственных исследований и разработок	21
1.3. Вопросно-ответный подход к проектированию листовых шаблонов ...	31
1.4. Постановка задачи исследований и разработок.....	40
Выводы и рекомендации по первой главе	53
Глава вторая. Формальное описание шаблонов и процессов их жизненного цикла.....	54
2.1. Подход к формализации процесса проектирования шаблонов.....	54
2.2. Элементы жизненного цикла шаблона и его состояния	71
2.2.1. Картографическое представление шаблона.....	74
2.2.2. Язык лазерной резки.....	79
2.2.3. Формальное описание графических примитивов.....	81
2.3. Описание расширения языка WIQA.Net.....	82
2.4. Библиотека повторного использования.....	89
Выводы и рекомендации по второй главе	94
Глава третья. Методическое обеспечение процесса проектирования конфигурируемых шаблонов листовых деталей.....	95
3.1. Общий процесс проектирования	95
3.2. Концептуальное экспериментирование.....	100
3.3. Описание методики документирования	111
3.4. Описание моделей на производстве.....	118
Выводы и рекомендации по третьей главе:.....	128
Глава четвертая. Реализация фрагмента подсистемы структурного проектирования конфигурируемых шаблонов.....	129
4.1. Архитектура подсистемы и ее интеграция с NX	129
4.2. Сквозная передача информации о единице технологического оснащения	141

4.3. Рациональный выбор траектории холостого хода	149
4.3.1. Нахождение рациональной траектории холостого хода на примере абстрактного шаблона	149
4.3.2. Описание фрагментов реального шаблона для визуализации и нахождение рационального пути холостого хода	156
4.4. Анализ результатов практического применения комплекса средств .	159
4.4.1. Практическое применение при выполнении хоздоговорной работы с ЗАО «Авиастар-СП» по проектированию шаблонов на серийное изделие	159
4.4.2. Практическое применение при обучении студентов правилам проектирования шаблонов в ходе дисциплины «Автоматизированное проектирование технологического оснащения».....	160
4.4.3. Оценка качества автоматизации.....	162
4.4.4. Выводы по результатам практического применения.....	166
Выводы и рекомендации по четвертой главе:.....	168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	169
Список литературы	171
Приложение 1	184
Приложение 2	185
Приложение 3	186
Приложение 4	188

ВВЕДЕНИЕ

Для изготовления самолетов в строгом соответствии с чертежами необходимо чтобы все отдельные детали были выполнены таким образом, что при установке их на место они образовывали бы точные обводы самолета, вместе с тем детали должны быть вполне взаимозаменяемы. Для улучшения качества самолета и сокращения производственного цикла необходимо при сборочных работах избежать подгонки деталей по месту. Изготовление в натуральную величину шаблонов, согласованных по электронным моделям деталей (ЭМД), позволяет формировать заготовки деталей практически без применения мерительного инструмента. Малейшая неточность в шаблоне может привести к ошибкам, которые обнаружатся только после обработки или еще хуже при сборочных работах.

Зависимость показателей качества объекта проектирования как меры поставленных требований и длительности конструирования от квалификации исполнителей близка к экспоненциальной, что позволяет сделать вывод, что единственной альтернативой для улучшения процесса проектирования является его автоматизация.

Псевдокодовое описание предметной области проектирования с помощью набора фактов и правил позволяет моделировать цепочки рассуждения экспертов в ходе выбора проектных решений. На примере стандарта предприятия (СТП) проанализирована структура технического текста при выборе технических решений технологического оснащения (расчетная информация и логические правила, например, классификация объектов).

На сегодняшний день существует ряд работ, посвящённых разработке методов ТПП авиастроительных предприятий, но, ни в одной из них не

приводится детальное описание рассматриваемой предметной области – оптимизации проектирования шаблонного оснащения при подготовке авиационного производства.

На основе проводимого исследования необходимо предложить комплекс средств, применение которого даст возможность повысить уровень и степень автоматизации проектирования при решении задач шаблонного оснащения деталей авиационного производства, а также увеличить развитость информационной среды современного предприятия.

Актуальность данной работы заключается в совершенствовании процессов проектирования шаблонов на серийном авиационном предприятии.

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

Основой автоматизированной системы в которой происходит проектирование шаблонов является CAD/CAM/CAE продукт Unigraphics, его функции дополняет PDM система БД ЕОИ. При ТПП серийного авиационного предприятия 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 сложности, что позволяет шаблоны со сложной геометрией, где можно говорить о картографическом подходе, в рамках диссертационного исследования объединить под общей категорией ***конфигурируемых шаблонов***.

В качестве **объекта исследования** выступают средства автоматизации процессов проектирования, применяемые при проектировании конфигурируемых шаблонов авиационных деталей.

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.

Направление исследований в работе связано с возможностью использования методов вопросно-ответного подхода при автоматизированном проектировании шаблонов, с отображением процессов проектирования шаблонов на семантическую память в формах, допускающих экспериментирование с составляющими их жизненного цикла.

Предмет исследований в диссертации – это применение при создании шаблонов авиационных деталей средств структурного проектирования, а также включение возможности экспериментирования, для решения возникающих задач.

Целью исследований ставится повышение уровня автоматизации в проектировании конфигурируемых шаблонов авиационных деталей. 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 псевдокодowego алгоритмического языка, для описания геометрии шаблонов и их состояний;
- реализовать интегрированную подсистему САПР решающую задачи структурного проектирования конфигурируемых шаблонов и опробовать её 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:

- Совокупность методик концептуального 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.
- Картографическая модель шаблона, обеспечивающая послойную структуризацию для специализации работ по каждому слою во время материализации при лазерной обработке, что снижает технологическое время их производства.
- Подмножество псевдокодowego 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.
- Библиотека типовых конфигурируемых шаблонов, включающая их семантические представления, и информацию о производстве шаблонов и их использовании в формах, обеспечивающих оперативный доступ по семантическим запросам, а также способствующих их повторному использованию.

Методы исследования в диссертационной работе: системный анализ, формализация, выделение и синтез состояний, методы программной

инженерии и автоматизированного проектирования, математическое моделирование, теория графов, тестирование.

На защиту выносятся:

1. Методика концептуального экспериментирования, представленная 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 используемые в процессе проектирования стандарты.

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, а также в рамках Гранта №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, 2011-2011 г.г.); 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 г.г.), Всероссийской школе – семинаре аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП-2013 и ИМАП-2014 (УлГТУ, г. Ульяновск 2013, 2014 г.г.), 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 т.ч. 8 работ опубликованы в рецензируемых изданиях, определенных ВАК РФ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографии из 179 наименований; включает – 92 рисунка, 10 таблиц и 4 приложения.

Краткое содержание работы:

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 сформулированы задачи исследований и разработок; сформулированы выводы и рекомендации по первой главе.

Во второй главе описаны теоретические основы включения в технологический процесс проектирования шаблонов для изготовления на станках лазерной резки возможностей концептуального экспериментирования; произведена формализация шаблонов, и выделено более 40 описаний типовой структуры на РБНФ; предложено картографическое представление структуры шаблона; перечислены состояния шаблона на различных этапах жизненного цикла и соответствующие прецеденты для хранения в библиотеке повторного использования; сформулированы выводы и рекомендации по второй главе.

В третьей главе описывается методологическая составляющая работы, в частности 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; сформулированы выводы и рекомендации по третьей главе.

В четвёртой главе 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 резания в контуры деталей и динамической визуализации процесса лазерного раскроя во времени; констатируется повышение качества автоматизации и положительных эффектов относительно базовых показателей; сформулированы выводы и рекомендации по четвертой главе.

В заключении формулируются основные результаты и выводы по выполненной квалификационной работе.

Автор приносит глубокую признательность предыдущим исследователям по данной тематике; специалистам ЗАО «Авиастар-СП», научному руководителю и специалистам УлГТУ, которые оказывали консультационную помощь в выполнении настоящей квалификационной работы.

Глава первая. Проблемы при автоматизации процессов проектирования листовых шаблонов на авиационном предприятии

1.1. Место шаблонов при подготовке авиационного производства

При производстве сложного серийного изделия одной из важных задач является быстрое и безошибочное производство взаимозаменяемых деталей, узлов и агрегатов. Нормой является бездоводочная сборка в процессе производства или ремонта, основанная на принципах взаимозаменяемости, когда детали выполняются с заданной точностью, поступают на сборку в окончательном виде и не должны требовать доработки по месту [138]. Для обеспечения взаимозаменяемости в современной практике наряду со средствами автоматизированного контроля на контрольно-измерительных машинах (КИМ), широко применяется контроль с помощью жестких носителей форм и размеров, называемых шаблонами. Кроме контроля шаблоны также могут применяться на этапе изготовления деталей, что позволяет формировать некоторые заготовки, практически не применяя мерительного инструмента. При увязке размеров можно выделить перспективное направление, основанное на бесплазовом изготовлении обводообразующей оснастки на базе компьютерного описания всех параметров деталей и узлов изделия [29,39,40,41].

Основанием для проектирования шаблонов являются электронные модели сборочной единицы (ЭМСЕ) и электронные модели деталей (ЭМД) сформированные на базе электронного макета изделия, все электронные модели согласовываются на основе трехмерного геометрического

моделирования в специальных системах (CAD- системы). Место, занимаемое шаблонами в процессе серийного производства, представлено на Рисунке 1.



Рис. 1. Место шаблона в ЖЦ изделия серийного авиационного производства

Кроме сжатых сроков этап проектирования шаблонов характеризуется большим объемом работ, так самолет с полетной массой до 150 тонн может содержать по спецификации до 100 тысяч оригинальных и типовых деталей, а для изготовления ЛА такого класса требуется большое количество различной технологической оснастки, например, требуется 20-30 тысяч шаблонов [41,43,105,114].

После запуска самолета в серию, он также подвержен изменениям (практика показывает, что за время серийного производства до 30-40 % элементов конструкций ЛА подвергаются изменениям), что, несомненно, влечет за собой необходимость изменения шаблонов деталей.

В настоящее время существуют и применяются следующие основные виды шаблонов: [64, 105,111,112].

шаблон развертки (ШР), представляющий собой точную развертку листовой детали простой геометрической формы (теоретически разворачиваемой поверхности), служит для разметки, изготовления и контроля детали, а также для сверления отверстий в них;

шаблон контура сечения (ШКС), представляющий собой плоский шаблон, рабочая кромка которого соответствует контуру сечения деталей или агрегатов, предназначен для изготовления и контроля деталей пространственной формы, контроля малок листовых и профильных деталей, а также для контроля объемной оснастки. Шаблон может быть изготовлен в

двух модификациях – толщина материала не входит в тело шаблона (ШКСн) и толщина материала входит в тело шаблона (ШКСв);

шаблон гибки (ШГ), повторяющий контур гибки листовых, трубчатых или профильных деталей, служит для контроля изогнутых деталей и их объемной оснастки для гибки в одной плоскости;

шаблон обрезки и кондуктор (ШОК), применяемый для обрезки по контуру и сверления отверстий в деталях пространственной формы, изготовленных из профилей или листового материала. По таким шаблонам контролируется обрез детали, а также правильность выполнения отверстий, различных назначений.

В рамках исследования был выделен отдельный класс шаблонов названный конфигурируемыми. Конфигурируемые шаблоны - шаблоны, имеющие сложную конфигурацию, 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 (подробнее на Рисунке 2).

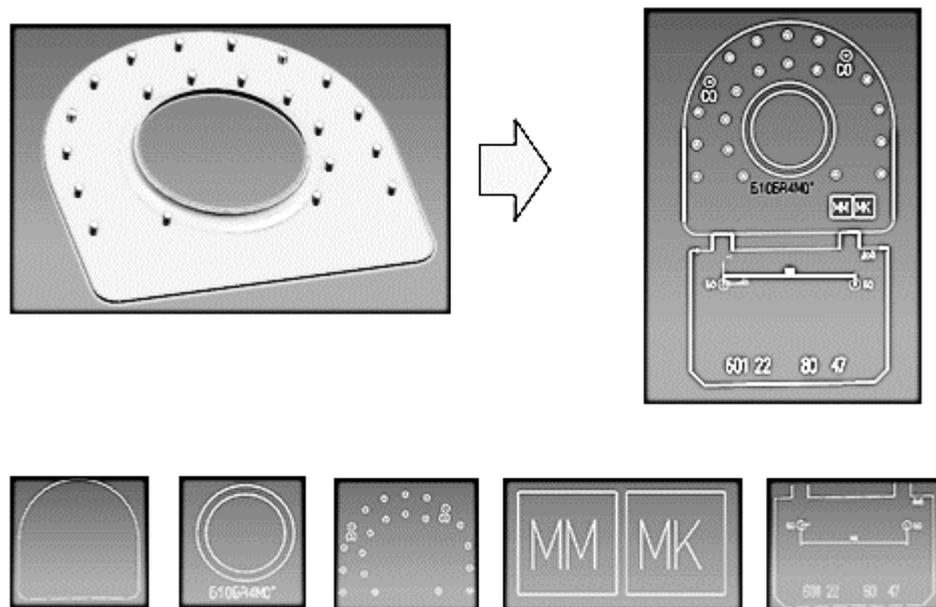


Рис. 2. Пример конфигурации шаблона

В связи с рассмотренным объемом работ на самолетостроительных заводах, как ни на каких машиностроительных предприятиях велик удельный вес ТПП, занято большое число ИТР на проектных работах.

Своевременное оснащение технологических процессов изготовления ЛА необходимыми приспособлениями представляет важнейшую задачу подготовки производства. Поэтому вопросы совершенствования процессов проектирования и изготовления технологической оснастки на базе использования математических методов, вычислительной техники и программно-управляемого оборудования приобрели первостепенное значение. Появление идеи создания систем автоматизации комплексно решает задачи синтеза конструкций, их документирования, технологической подготовки производства и обеспечения процессов их изготовления на оборудовании с ЧПУ.

Современной системе проектирования и изготовления целесообразно выполнение следующих функций [11,12,25,42,43,55,70,82-89,92]:

- 1. Анализ оснащаемого объекта, его изготовления, моделирование этого объекта и процесса изготовления.*
- 2. Синтез конструкций из конструктивных элементов с выполнением точностного, геометрического и силового анализов, оптимизацией по соответствующим критериям полного информационного описания синтезируемой конструкции.*
- 3. Отображение пространственного описания конструкций на плоскости проекций (построение графика сборочного чертежа).*
- 4. Поэлементный анализ конструкции с отображением описаний оригинальных деталей на плоскости проекций, получением детализированных чертежей и сопоставлением спецификаций.*
- 5. Технологический анализ конструкции, решение технологических задач и получение управляющей информации для изготовления на оборудовании с ЧПУ.*
- 6. Техничко-экономическая оценка конструкции и определение её качественных показателей.*
- 7. Разработка необходимой технологической и технико-экономической документации.*

Ввод электронного моделирования и проектирование изделия на базе CAD/CAM/CAE-систем позволили перейти к современным подходам компьютерного моделирования изделия, его инженерного анализа, разработки управляющих программ и симуляции этих процессов [122]. Но электронные версии не смогли заменить большую часть бумажных документов, особенно на уровне утверждения руководством. В результате, вложенные средства не принесли ожидаемой отдачи в реальной подготовке производства, обнажив комплексную проблему, решение которой не сводится к закупке базовых программно – технических комплексов.

Для решения поставленных задач требуется преобразовать производство к модели цифрового производства, подразумевающей:

- *комплексную стандартизацию методов организации и управления процессом технологической подготовки производства;*
- *использование рациональных конструктивных решений, материалов и методов изготовления изделий и их деталей;*
- *комплексную стандартизацию методов автоматизированного решения типовых задач.*

Практически все ведущие предприятия машиностроения видят решение большинства проблем ТПП во внедрении компьютерных технологий, и создании автоматизированных систем ТПП (АСТПП). На многих из них существенно повышен уровень комплексного решения проектных задач. Информация о спроектированном изделии принимается в электронном виде и является исходными данными для развертывания процессов ТПП. Компьютеризировано решение комплекса задач по проектированию и изготовлению оснастки, выполняется компьютерное моделирование технологических процессов литья, штамповки, обработки на станках с ЧПУ и др. Некоторые предприятия вплотную подошли к решению задачи автоматизации управления процессами ТПП, то есть к построению АСТПП предприятия.

В условиях отсутствия автоматизации, длительные сроки проектирования и изготовления СТО являются одним из основных факторов, сдерживающих производительность ТПП. Особенно это относится к сложной формообразующей оснастке и инструменту.

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 для применения шаблонов в изготовлении, контроле и сборке авиадеталей. С шаблонами общего случая, в статье связан класс «конфигурируемых шаблонов», примеры которых приведены на Рисунке 3.

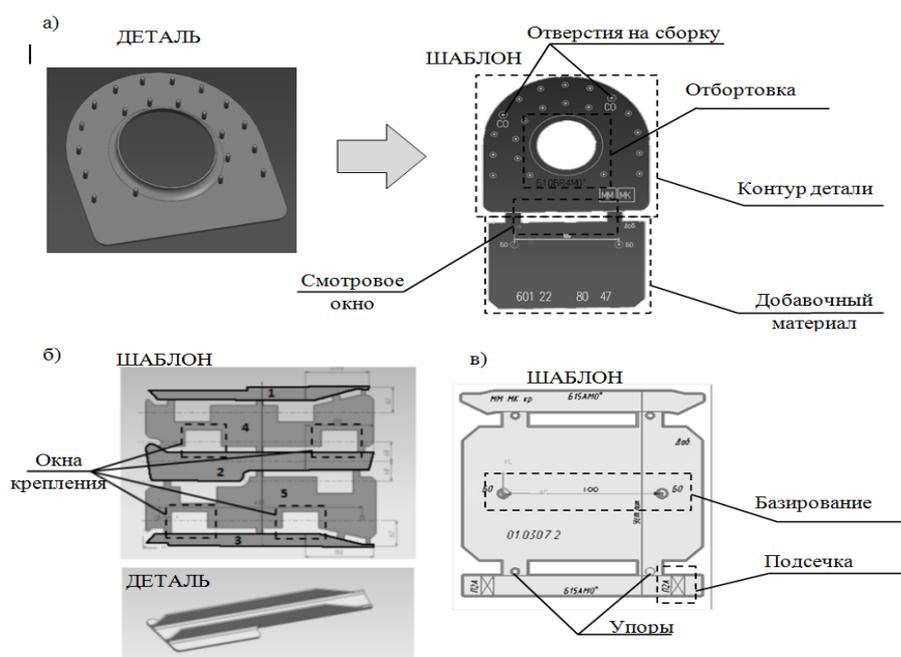


Рис. 3. Образцы конфигурируемых шаблонов

Образцы шаблонов под метками «а)» и «б)» представлены вместе с деталями для демонстрации того «дополнительного», что пришлось включить в шаблон его разработчиком. Образец под меткой «в)» демонстрирует ряд типовых технологических дополнений. 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. Для проведения экспериментов предлагается использовать вопросно-ответную моделирующую среду WIQA, средства которой были адаптированы к инструментальной поддержке жизненного цикла шаблонов.

Изготовление шаблонов, как и многих деталей из стальных листов предпочтительно производится на станках лазерного раскроя, так как этот

метод имеет высокую точность и является одним из наиболее технологичных способов реза и раскроя металлов.

Преимущества лазерной резки относительно основных конкурентов сведены в Таблицу 1.

Таблица 1.

Преимущества лазерной резки металлов

механическая резка металлов при помощи полотен, фрез и абразивов	газокислородная резка металлов	плазменная резка металлов с проникающей дугой
требует механическую доработку поверхности реза	избыточный прогрев металла, что приводит к его откалке	ориентирована на рез металлов большой толщины
материалы механического реза быстро подвергаются износу и большому расходу	большая ширина прорези	большая ширина реза
установки механического раскроя металлов включают в себя большое количество вращающихся силовых узлов	поверхность реза покрывается окисью и окалиной раскалённые газы при горении сдувают капли раскалённого металла, покрывая рез заусенцами	большой расход электроэнергии

Резюмируя таблицу, отметим, что лазерная резка обеспечивает:

- малую толщину реза, что даёт возможность вести рез по сложным чертежам;
- высокую чистоту поверхности реза, что в большинстве случаев позволяет обойтись без механообработки;
- благодаря быстрому прожиганию, не нарушает физических свойств металла, подвергнутому резу, что позволяет избежать коробления или других форм деформации заготовки;
- оборудование для лазерной резки не требует, какого либо переоснащения или перенастройки при изменении конфигурации детали, что делает данный метод максимально гибким, и позволяет без остановки продолжать раскрой листа, лишь изменяя управляющие программы;
- лазерные станки позволяют производить раскрой материала по совершенно произвольному контуру, получая максимально высокое качество обработки,

- *нет необходимости в специальном фиксировании заготовки, по сравнению с механическими методами обработки, что существенно уменьшает технологическое время необходимое для замены материала. Точность процесса лазерного раскроя выше механических методов обработки, поскольку в процессе механической обработки имеет место износ инструмента.*

Управление лазерным лучом основывается на формировании и загрузке в станок специально подготовленной программы. Основные действия по подготовке управляющих программ производятся в САМ модулях, но простейшие операции для резки 2D заготовки можно выполнять в упрощенных САД модулях, поставляемых со станками лазерной резки, выполняющих операции двухмерными примитивами (линии, окружности, многоугольники, полилинии и т. д.).

В качестве исходной геометрической информации для лазерной резки может служить как плоский чертеж, так и импортированная графика из других САД-приложений. Обычно поддерживаются такие форматы электронных чертежей, как .dwg, .dxf или .igs.

Перед лазерной резкой обязательно проверка геометрии, созданной или импортированной детали. Такие частые неточности, как маленькие зазоры или линии поверх линий могут в дальнейшем вызвать проблемы. Необходимо проверять контуры на непрерывность, отсутствие каких-либо разрывов. Также не должно быть никаких дополнительных или отдельных линий.

Во многих системах, сопровождающих станки, имеется функция разметки или раскладки, используемая для того, чтобы расположить детали на металлическом листе наиболее рационально (создать комплект). Эта функция позволяет создать список или план изготовления деталей, а затем быстро выполнить разметку этих деталей на листе (Рисунок 4).

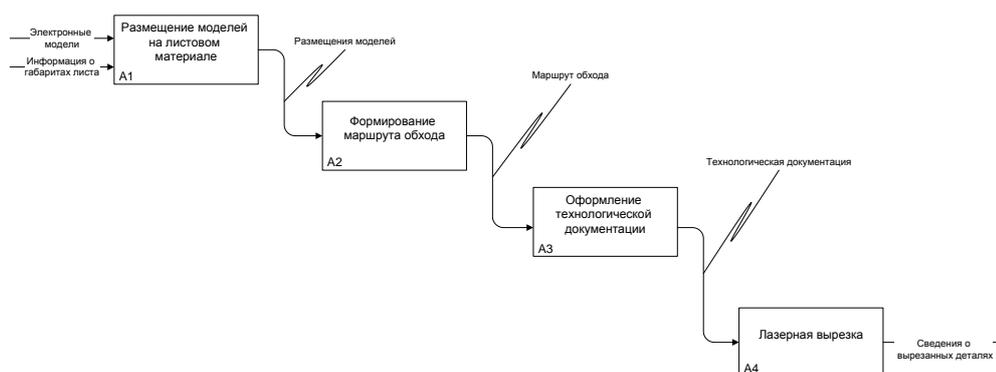


Рис. 4. Упрощенная схема проектирования

Для сокращения времени выполнения программы после размещения всех необходимых контуров на листе производится оптимизация траектории инструмента.

1.2. Обзор родственных исследований и разработок

Так как в интересах области диссертационного исследования находится практически весь жизненный цикл проектирования шаблонов до их непосредственного изготовления в обзоре родственных исследований и разработок проведен тематический отбор и анализ публикаций по составляющим жизненного цикла изделия и соответственно шаблона [4,33,35,53,99]. В соответствии со стандартом ISO 9004 жизненный цикл изделия складывается из десяти этапов (Рисунок 5) [33] на которые ориентирован и жизненный цикл шаблона. К инженерной деятельности в традиционном смысле слова относятся этапы 2, 4, 5, 8, 9. Этапы 1, 3, 6, 7, 10 относятся к инженерному бизнесу и менеджменту. Техническая подготовка производства включает этапы 2, 3 и 4. Операции упаковки и хранения изделия входят в технологический процесс его производства [78-81].

Существуют два класса систем компьютеризации инженерной деятельности (КИД): системы автоматизации проектирования (САПР) и автоматизации управления (АСУ). Последние в свою очередь делятся на системы организационного управления, а именно АСУ предприятием (АСУП), АСУ производством (АСУПр) и на системы управления

технологическими процессами (АСУТП). Помимо этого, имеются системы управления качеством (АСУК) [43,62,75,137].



Рис. 5. Жизненный цикл изделия и шаблона

Ввод электронного моделирования и проектирование изделия на базе CAD/CAM/CAE-систем позволили перейти к современным подходам компьютерного моделирования изделия, его инженерного анализа, разработки управляющих программ и симуляции этих процессов [16,52,62,146].

Практически все ведущие предприятия машиностроения видят решение большинства проблем ТПП во внедрении компьютерных технологий, создании автоматизированных систем ТПП (АСТПП).

Ввиду отставания уровня автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП) от систем автоматизированного проектирования конструкторских работ (САПР КР), объясняемого универсальностью конструкторских систем и специфичностью, и неоднородностью АСТПП [126], для решения проблем информатизации

авиационные заводы, потратив внушительные суммы на приобретение CAD/CAM-систем, закупили именно универсальные САПР КР [40].

Для реализации возможности адаптации САПР под конкретные задачи, во многих современных системах присутствует механизм, с помощью которого квалифицированный программист может разрабатывать собственные встраиваемые в систему программные модули, решающие нужные пользователю задачи. Примеры подобных решений представлены как для T-Flex [91], Компас [118], AutoCAD [9], так и для применяемого на авиационных заводах NX (Ранее UniGraphics) [25,143]. Написание различных модулей позволяет снизить рутинность операций, например, упрощая разработку управляющих программ [62,72,96].

При применении трехмерного моделирования увязка на авиационном предприятии переходит к уменьшению использования материальных носителей форм и размеров, то есть к бесплазовому методу, в основе которого лежит твердотельная модель [29], которая несет информацию о геометрии конструкции, конструктивно-силовой схеме и конструктивно-технологическом членении. Система исключает применение плазов, эталонов поверхности, а также уменьшают количество необходимых шаблонов [23.40,41].

Можно отметить проблемы, связанные с трехмерным проектированием технологического оснащения [26,29,30,32-34,39]:

- *большое разнообразие графических элементов, составляющих модель, множество способов и произвольность порядка построения элементов;*
- *задание геометрических параметров графических элементов в различных координатных системах;*
- *возможное изменение состава графических объектов, образующих модель, при значительных изменениях параметров*
- *при разработке шаблонов проектировщику часто нужно принимать свободные решения, для учета технологических особенностей использования шаблонов;*

- *загрузка цеха проектирующего и изготавливающего шаблоны является циклической;*
- *проведение увязочных работ всегда носит срочный и сверхсрочный характер;*
- *цеха-потребители выставляют дефициты без учета наличия ресурсов в других цехах.*

Поэтому формируются ситуации, в которых знаний, умений и навыков отдельного технолога недостаточно для успешного решения задач, возрастают издержки за плохую согласованность цепочки решений, что выражается в увеличении продолжительности и трудоемкости и стоимости спроектированного технологического оснащения. Еще важным фактором является дефицит квалифицированных конструкторов технологической оснастки, владеющих полной совокупностью методов и средств, необходимых для высокоэффективного шаблонного оснащения авиационных деталей.

Для решения подобных проблем может применяться структурное проектирование, то есть синтез объекта из заранее известных составляющих его элементов, а также установление порядка их добавления и процедур связи этих объектов [69]. При структурном проектировании активно используются приемы системного подхода, а именно рассмотрение частей явления или сложной системы с учетом их взаимодействия [83]. Таким образом, системный подход при проектировании включает в себя [56,95]:

- *выявление структуры системы;*
- *типизацию связей;*
- *определение атрибутов;*
- *анализ влияния внешней среды.*

Системы автоматизированного проектирования и управления относятся к числу наиболее сложных современных искусственных систем.

Их проектирование и сопровождение невозможны без системного подхода. Поэтому идеи и положения системотехники входят составной

частью в дисциплины, посвященные изучению современных автоматизированных систем и технологий их применения.

Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов с другими названиями, которые также можно рассматривать как компоненты системотехники. Таковы структурный, блочно-иерархический, объектно-ориентированный подходы. Классификация проектируемых деталей может быть осуществлена с помощью нейросети или на базе гибридного моделирования [57-60].

Также сократить сроки и повысить качество проектирования в условиях массового производства позволяет использование распределенной модели информационно технологической среды (технолог – конструктор → САПР →оборудование с программным управлением → КИМ, объединенных в единую систему ЛВС) за счет перевода нормативно-справочной документации в электронный вид [9,11,62,118].

Для автоматизации технологической подготовки производства в плазово-шаблонном цехе Ульяновского авиационно-промышленного комплекса имени Д. Ф. Устинова (УАПК), ныне ЗАО «Авиастар – СП» была создана Система Автоматизированного Проектирования и Контроля плазово-шаблонной оснастки (САПРиК-ПШО) и успешно эксплуатировалась более 20 лет [23,40,51,61,112] и, позволившая сократить сроки запуска в производство самолётов Ан-124 «Руслан» и Ту-204.

Система обладала основными преимуществами и недостатками, сведенными в Таблицу 2.

После прекращения эксплуатации предпринимались попытки создания интерактивной системы, сохраняющей достоинства и лишённые недостатков САПРиК-ПШО. К сожалению, разлад в коллективе разработчиков привёл к провалу разработок [41].

Таблица 2.

Основные преимущества и недостатки системы САПРиК ПШО

Достоинства	Недостатки
Чрезвычайно простой входной язык системы	Длительный цикл подготовки управляющих программ (УП)
Наличие библиотеки геометрических элементов	Несовершенство внутренней структуры разделов библиотеки
Развитый аппарат подпрограмм	Пакетный режим работы с системой
Возможность получения нескольких управляющих программ (УП) в одной исходной программе	Почти полное (за исключением доработанного модуля диагностики) отсутствие интерактивных возможностей
Большой объём наработанных заготовок исходных текстов, позволяющий за несколько минут подготовить исходный текст программы	

Таким образом, в основу разработки эффективных систем автоматизации ТП должны быть положены следующие базовые принципы:

- комплексный подход к выполнению основных функций и решению основных задач ТПП;
- открытость системы, информационная интеграция с другими системами автоматизированной поддержки ЖЦИ, соответствие разрабатываемой системы CALS-стандартам;
- системы должны создаваться как совокупность ряда подсистем, работа которых подчинена общей цели. Подсистемы при работе взаимодействуют друг с другом, и, следовательно, каждая из них не должна разрабатываться независимо от других;
- система должна быть развивающейся, а развитие направлено на повышение ее эффективности путем сокращения сроков, повышения качества и экономии средств при разработке новых конкурентоспособных изделий.

Раскрой листового металла с помощью промышленных лазеров большой мощности без сомнения является высокоэффективным методом обработки материалов [44,45,71,154]. Поэтому происходит всеобщее

переоснащение производства, благодаря преимуществам лазерной резки она находит широкое применение в производстве. Но почти полная закрытость лазерных обрабатывающих комплексов, как правило, импортного производства, для совместного использования с оборудованием сторонних производителей ограничивает их внедрение.

Типичный лазерный станок состоит из следующих основных частей [44,154]:

- *компьютера (на котором производится подготовка исходной модели, схемы раскроя, генерация управляющих программ);*
- *системы числового программного управления (СЧПУ);*
- *технологического лазера (часто используется СО₂ лазеры);*
- *координатного стола.*

С внедрением станков, управляемых числовыми программами, возникают вопросы их оптимизации [44,45]. Необходимость в оптимизации может быть связана с не совершенностью станков или с усложнением поставленных задач.

Вопросы технологии изготовления листовых элементов на предприятиях подробно описаны в статьях [71,154] из которых можно сделать вывод, что наиболее распространенной системой для оснащения лазерных станков является Siemens 840D.

Для получения минимального объема программного кода, при сохранении математической точности аппроксимации и исключение сверх малых перемещений в пределах одного кадра программы, то есть необходимо максимально уменьшить количество элементов, заменяющих в программе исходный профиль. Для управления лазерным лучом наиболее часто используется следующий подход [44,45,134]: траектория описывается как совокупность математических кривых, что обеспечивает рез по заданному контуру. Элементами в данном случае выступают окружность, дуга, линия (отрезок), точка, эллипс, а также сплайн. В работе описаны сложности трансляции этих примитивов в систему команд ЧПУ.

Основное большинство систем ЧПУ способны производить перемещения по прямой и дуге (коды G1, G2, G3). На сегодняшний день стали появляться системы ЧПУ, способные производить перемещения по сплайну, но таких систем пока еще достаточно мало, а их применение носит специальный характер. На практике чаще всего применяется смешанная аппроксимация дугами и прямыми [154].

Так как не существует единого метода замены кривой траектории движения инструмента дугами, то эта задача становится многовариантной, причем каждый из вариантов дает свои преимущества

Оптимизации пути при резке листов металла имеет ряд особенностей [44,71]:

- *определение последовательности вырезки контуров*
- *определение точки врезки для каждого контура*

С появлением CAD-систем понятие модели изделия стало ассоциироваться с его пространственной геометрической 3D моделью [96-98].

Причина этого достаточно очевидна: поскольку любое машиностроительное изделие является некоторым пространственным материальным объектом, то именно геометрический образ этого объекта предоставляет наибольшее количество информации об этом объекте.

В контексте вопроса поддержки всех этапов ЖЦИ понятие модели должно рассматриваться шире, как совокупность всей необходимой информации об изделии.

Помимо информации об изделии (или продукте), в сфере ТПП не менее важную роль играет информация о процессах изготовления данного продукта, а также о ресурсах, необходимых для этого изготовления.

Следует отметить, что трехмерная модель детали, созданная в современной САПР, не может быть адекватно отображена на бумаге. А усложнение изделий вкупе с высокой степенью переработки изделия под

конкретного покупателя приводит к резкому росту технической документации, что в разы увеличивает внесение изменений в конструкцию и технологию изготовления. Требуется повысить производительность труда и качество продукции, за счет сокращения сроков поставки на производство новых деталей, отвечающих запросам и ожиданиям потребителей [33].

Негативным фактором является прямая зависимость качества выпускаемого изделия от уровня квалификации персонала, интересно включение технологий, снижающих влияние квалификации на качество выпускаемой продукции [93].

База данных моделей служит единым первоисточником для создания электронных чертежей, программ ЧПУ, электронных плазов, штампов, программ гибки раскроя и т.п. А также для формирования технологического описания процессов. Трехмерные модели используются на всех этапах создания изделия – моделирование оснастки подготовка программ для станков с ЧПУ, контроля готовой продукции. Сам чертеж является конструкторским документом для изготовления изделия. Несет информацию о геометрической форме, а также ее свойствах (материал, допуски, шероховатость). Чертеж заменяется моделью изделия, формируемой однажды и используемой повсеместно [53].

Но электронные версии не смогли заменить большую часть бумажных документов, особенно на уровне утверждения руководством, в результате, вложенные средства не принесли ожидаемой отдачи в реальной подготовке производства, обнажив комплексную проблему, решение которой не сводится к закупке базовых программно – технических комплексов.

Для решения поставленных задач требуется преобразовать производство к модели цифрового производства, подразумевающей [56,58]:

- комплексную стандартизацию методов организации и управления процессом технологической подготовки производства;
- использование рациональных конструктивных решений, материалов и методов изготовления изделий и их деталей;

- комплексную стандартизацию методов автоматизированного решения типовых задач.

Подсистема АСТПП на этапе оснащения должна обеспечивать устойчивую работу при следующих условиях [23,122]:

- в каждый момент времени начинает или продолжает решаться поток задач связанных с ТПП, для решения которых используется большое количество рабочих мест.
- продолжительность решения задач измеряется днями с прерыванием и возобновлением процесса ТПП, итерациями с уточняющимися геометрическими и технологическими параметрами, а также проработкой альтернативах вариантов.
- данные о полученных результатах, а также о самом процессе решения (составе исполнителей, использованных способах) должны сохраняться с высокой степенью полноты и точности до истечения необходимости в этой информации (десятки лет).

Таким образом, на основе проанализированного в параграфе материала можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на высокие темпы развития систем автоматизированного проектирования, в направлении серийного производства изделий авиационной направленности, производителями систем уделяется мало внимания проектированию средств технологического оснащения, в связи с их специализированностью.

2. Для проектирования шаблонов в основном используются типовые конструкторские САПР, что не позволяет говорить об ориентации проектирования на жизненный цикл шаблона и оснащаемой детали.

3. Предпринимались попытки разработки автоматизированной системы для проектирования авиационного оснащения, в том числе и шаблонов, но в связи с устареванием и сменой технологии увязки, а также сопутствующей сменой квалификации работающих специалистов.

4. В качестве основного инструмента для раскроя листового металла, в том числе и при изготовлении шаблонов, используются иностранные станки

лазерной резки, имеющие ряд преимуществ, но в качестве основного недостатка является ориентация под различные иностранные средства подготовки управляющих программ.

5. При проектировании конфигурируемых шаблонов, перед конструктором-технологом стоит выбор между различными типовыми решениями, что вносит большую зависимость качества принятого решения от квалификации и опыта специалиста.

1.3. Вопросно-ответный подход к проектированию листовых шаблонов

В предыдущем параграфе были представлены материалы родственные проводимому исследованию. Для целенаправленного анализа таких материалов, с учетом интересов диссертации представим сопоставление жизненного цикла детали и шаблона с учетом сфер ответственности участников процесса (Рисунок 6).

При организации процесса проектирования шаблонного оснащения целесообразно подходить с точки зрения организации бизнес- процессов в рамках существующей организационной структуры, при которой документы и результаты работы передаются от одного участника к другому.



Рис. 6. Жизненный цикл шаблона и детали

Исходя из уточненной схемы цикла производства шаблона (Рисунок 7) можно выделить основные направления для решения существующих в области проблем.



Рис. 7. Уточненная схема жизненного цикла шаблона

На базе конструкторской документации (КД) на изделие строится технологические модели деталей (ЭМТ), представляющие собой файлы твердотельных моделей САПР. Инженером-проектировщиком выполняется процесс, который может быть описан следующим образом «Создание модели шаблона R в системе S соответствующей требованиям исходного описания D». При создании модели шаблона R необходимо использовать определённый метод проектирования M, зафиксированный в стандарте предприятия. Требования D в свою очередь образованы исходными моделями оснащаемых деталей, ведомостью плазого-шаблонного оснащения. На основе электронной модели шаблона строится программа для его изготовления и оформляется соответствующая документация – расчетно-технологическая карта (РТК) – условная схема представлена на Рисунке 8.

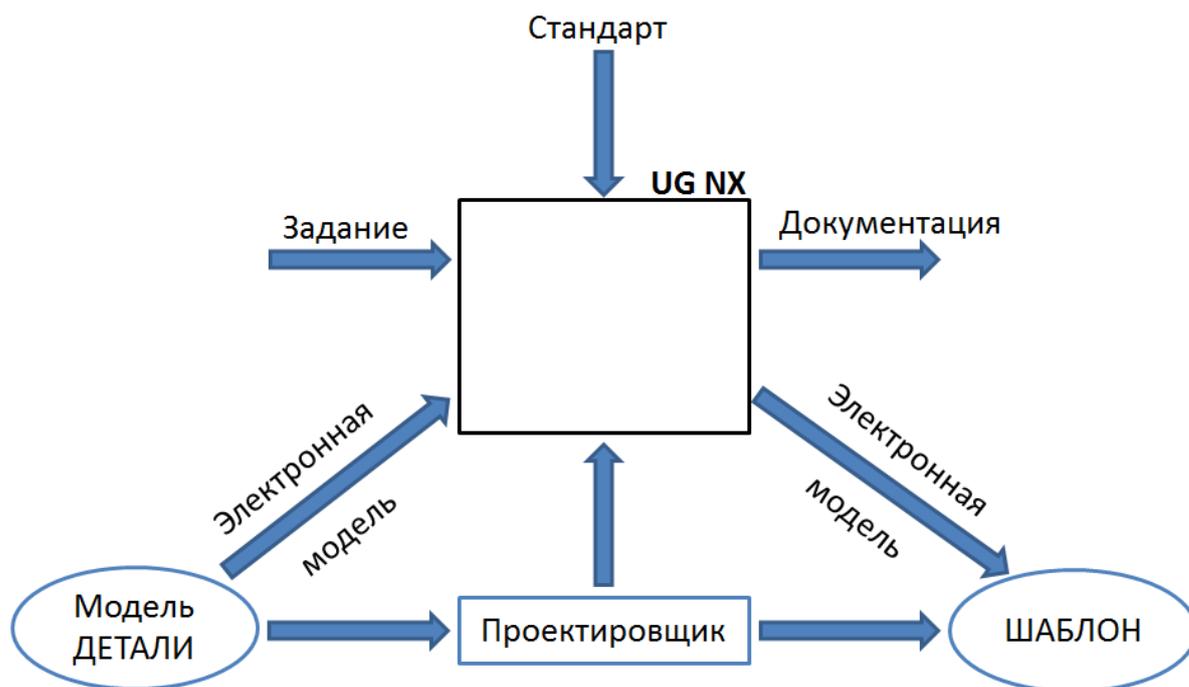


Рис. 8. Схема проектирования шаблона «Как есть»

Видно, что представленная схема процесса проектирования недостаточно полно покрывает жизненный цикл шаблона, системой проектирования учитывается только одно состояние – формирование электронной модели шаблона. Соответствие и учет предыдущих и последующих состояний шаблона полностью возложено на проектировщика. Предлагается расширить границы системы проектирования, чтобы включить большее количество состояний объекта.

Структуризация процесса проектирования позволяет разделить модель R на связанную последовательность частей $\{R_i\}$ – каждая из которых отвечает за формирование определенной операции в дереве проектирования. Для этого требуется представить проектные задачи в виде разложения их по базису элементарных технологических задач, а также представления задач в виде диаграмм UML.

Согласно накопленной информации произведем сопоставление между этапами жизненного цикла шаблона и его состояниями (Рисунок 9):

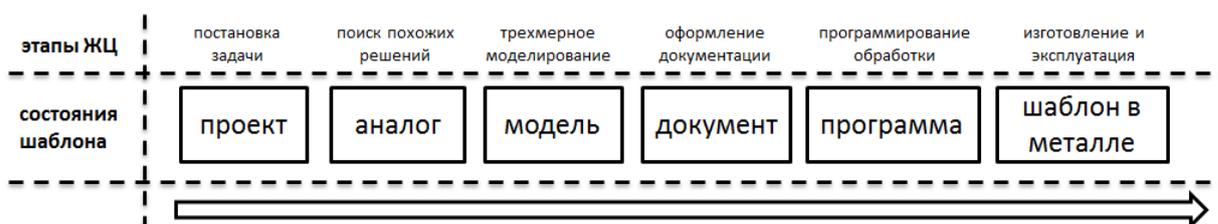


Рис. 9. Состояния шаблона в ходе его проектирования

Успешность проектирования в большей мере зависит от того насколько средства проектирования соответствуют решаемым задачам, а автоматизация технологической подготовки производства базируется на вопросно-ответных рассуждениях. Кроме этого сложность технологического оснащения объясняется многовариантностью включаемых подзадач (выбора оборудования, исполнителя, технологического оснащения). В рамках проектирования шаблона различные варианты решения конкретной задачи позволяют получить различные выходные показатели процесса производства детали (производительность, себестоимость, загрузку оборудования).

Для оценки множества описанных параметров проектировщику приходится использовать мысленное (концептуальное) экспериментирование для оценки значимости принимаемых решений. Для инструментальной поддержки концептуального экспериментирования проектировщиков в процессах решения проектных (но не только) задач разработана система WIQA позволяющая проектировщику содержание и процесс любого осуществляемого им концептуального эксперимента, оперативно отобразить на семантическую память, а результаты отображения использовать 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 [34,46,101-104,164-171].

Предлагаемая схема введения системы WIQA.Net в жизненный цикл приведена на Рисунке 10.

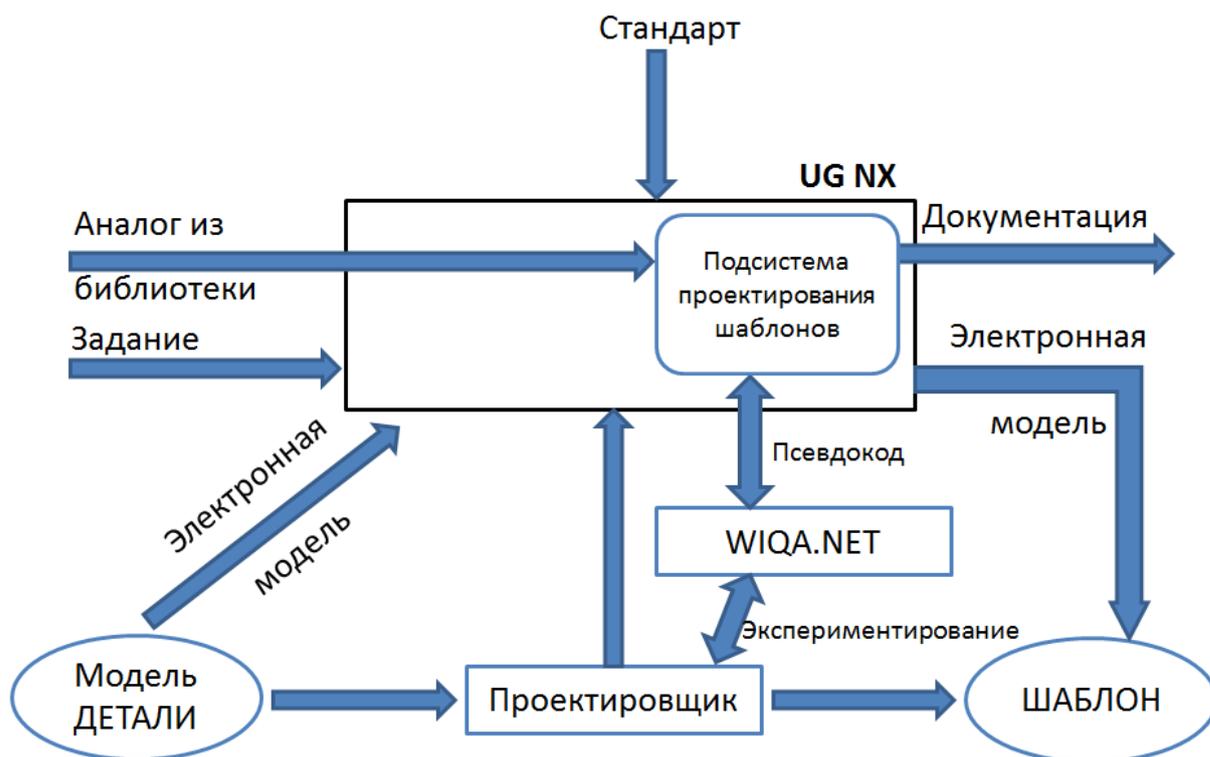


Рис. 10. Предлагаемая схема проектирования

Для применения QA-памяти при проектировании конфигурируемых шаблонов требуется определить структуру задач, стоящих перед подсистемой, при следовании процессу на Рисунке 6.

Трехмерная модель строится на базе, выбранной из библиотеки наиболее подходящей готовой модели ее адаптации под конкретную деталь, в том числе за счет добавления и/или позиционирования стандартных типовых элементов. Задача формирования УП подразумевает преобразование трехмерной модели в программу для станка лазерной резки.

Задача экспериментирования позволяет прогнать программу на визуализаторе без непосредственной вырезки на станке лазерного раскроя и в случае необходимости произвести ее коррекцию.

Задача формирования сопутствующей документации подразумевает получение типовых документов на базе уже содержащейся в модели шаблона информации.

Задача эксплуатации шаблона позволяет учитывать требования, накладываемые на него с точки зрения применения в качестве инструмента.

Z^* - Базовая задача

Z_1 - Задача построения трехмерной модели

Z_{n1} - Задача выбора из библиотеки подходящей модели

Z_{n2} - Задача адаптации модели

Z_{n3} - Задача добавления типовых элементов

Z_k - Задача описания типовых элементов

Z_2 - Задача формирования УП

Z_3 - Задача экспериментирования и корректировки УП

Z_4 - Задача формирования сопутствующей документации

Z_5 - Задача эксплуатации шаблона

Предполагается решить задачи в комплексе средств проектирования шаблонов, структура которых представлена на Рисунке 11.

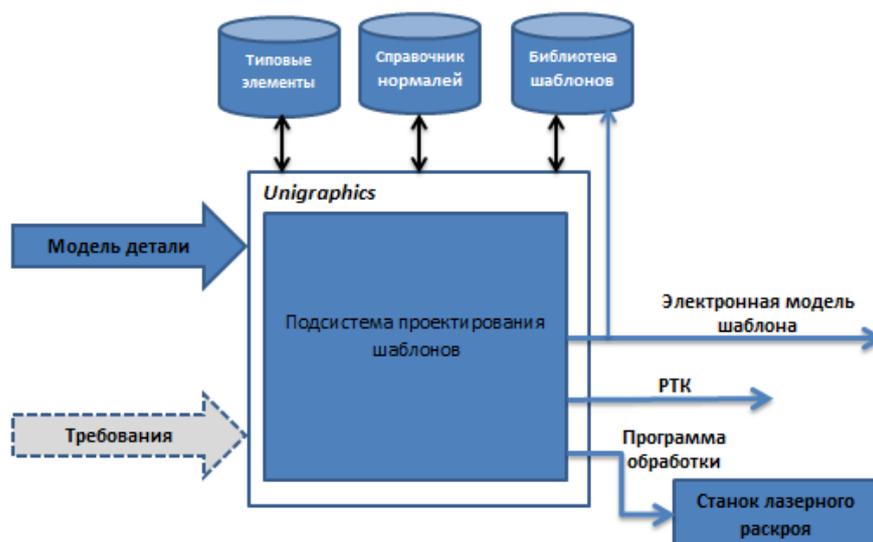


Рис. 11. Структура средств для проектирования шаблонов

Таким образом, ввод предлагаемого средства обуславливается тем, что оно в состоянии дать положительные эффекты на всем жизненном цикле проектирования шаблонов.

Требования к проектируемым элементам представлены двумя составляющими, постоянные описаны в стандарте предприятия на проектирование шаблонов, а специфические требования и параметры включаются в ведомость плазого-шаблонного оснащения (ВПШО).

Электронная модель детали служит источником геометрической информации для разрабатываемой оснастки.

Проектирование шаблона является типичным применением структурного проектирования, описывающего расположение известных составных элементов в определенном порядке. Вопросно-ответный подход позволяет описывать такие элементы и их параметры в виде QA – протокола. В качестве примера приведем описание такого типового элемента как базовое отверстие:

Z1	Типовой элемент
Q1.1	Тип элемента
A1.1	<Отверстие>
Q1.2	Диаметр
A1.2	<8>
Q1.3	Координаты
A1.3	<30 40>
Q1.4	Назначение
A1.4	<Базовое>

Это описание представляет собой окружность с центром в точке $X = 30$ $Y = 30$ и диаметром $D = 8$. Включение атрибута «Назначение» позволяет составлять логическую картину шаблона, что может использоваться при оформлении сопутствующих документов, входящих в жизненный цикл шаблона, создание и формирование которых является одной из задач, стоящих перед проектировщиком.

Для автоматизации формирования документов предлагается использовать подготовленный шаблон, а его заполнение организовать из вопросно-ответного протокола и формировать выводимый документ в MS Word.

Справочник нормалей позволяет проектировщику учитывать условия, накладываемые на шаблон производством самой детали, например, расстояния на которых необходимо установить упоры.

Библиотека шаблонов является хранилищем и поставщиком шаблонов, с заложенными механизмами поиска, в качестве метрик для поиска

планируется использовать такие показатели как назначение шаблона, габариты, вид заготовки для детали, материал детали, группа детали и прочее. Найденная модель шаблона будет наиболее подходящей для адаптации ее к новым условиям эксплуатации или производства, а также в случае необходимости и к новой детали. Разработанная модель после утверждения не только служит источником для программы управления станком лазерного раскроя, но и также пополняет библиотеку, последовательно в ходе проектирования добавляя прецеденты, отражающие состояния по ходу жизненного цикла шаблона. Опишем связь между этапами жизненного цикла и элементами, пополняющими библиотеку подробнее с помощью схемы на Рисунке 12.

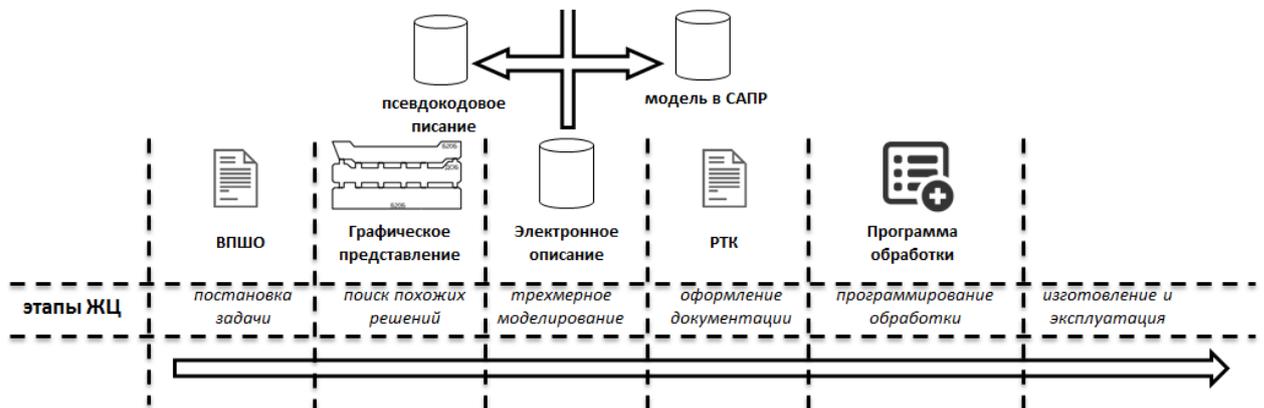


Рис. 12. Структура прецедентов хранящихся в библиотеке шаблонов

Так как контур, формирующий электронную модель, служит источником для программы обработки, то перед преобразованием его необходимо подвергнуть проверке. В состав шаблона должны входить элементы обязательные для этого вида, не должно быть разрывов между элементами одного контура, следует проверять, что в последовательности вырезки наружный контур обрабатывается последним. При трансляции модели шаблона в программу обработки можно оптимизировать путь лазерной головки. Оптимизации подвержен холостой ход лазера, то есть переход между обрабатываемыми участками, а также упрощение генерируемого кода, за счет исключения лишних переходов.

Саму подсистему проектирования шаблонов предлагается реализовать с помощью открытого интерфейса API, который позволяет встраивать в САПР собственные модули, написанные на языках программирования. Это открывает возможность составить ряд утилит, которые выполняют за проектировщика однотипные, монотонные операции, обращаясь к человеку за творческими решениями. Кроме этого собственные утилиты помогают кастомизировать зарубежную САПР с целью выполнения отечественных стандартов. Также в состав утилит планируется включить транслятор в псевдокод для связи с вопросно-ответной средой WIQA.Net, на которую возложены вопросы концептуального экспериментирования и визуализации лазерного раскроя.

Таким образом, разработка имеет своей целью дополнения процесса проектирования конфигурируемых шаблонов комплексом средств, осуществляющих вопросно-ответный подход к опыту (формирование, моделирование, систематизацию, преобразование, хранение, накопление и использование). Планируется что за счет включения в процесс проектирования шаблонов этапа концептуального проектирования, использование средств позволит заметно повысить успешность проектирования шаблонов.

Для этого в ходе работы будут установлены мотивационно-целевые связи (параграф 1.4), которые укажут на правильность направления и достижимость поставленных эффектов. Во второй главе будет построена формализация шаблона с ориентацией на его жизненный цикл, включающая расширение языка LWIQA и послойное представление модели шаблона. В третьей главе в деталях будут раскрыты система методик лежащие в основе комплекса средств проектирования конфигурируемых шаблонов, реализация которого на базе встраиваемых утилит и вопросно-ответной среды WIQA.Net представлена в четвертой главе.

1.4. Постановка задачи исследований и разработок

Анализ подхода к проектированию шаблонов для оснащения авиационных деталей, применяемого на ЗАО «Авиастар-СП», а также оценка возможностей использования QA-подхода для совершенствования описанного процесса позволяют сформировать следующую обобщённую постановку задачи диссертационного исследования:

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 псевдокодowego графического моделирования с возможностями экспериментирования, согласованных с 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 UG NX 7.5, являющейся базовой на ЗАО «Авиастар-СП», с использованием вопросно-ответной среды Working In Questions and Answers (WIQA)

Описанная в трех предложениях обобщенная цель исследования проста в анализе и соответствует требованиям QA- подхода со следующим содержанием:

первое предложение раскрывает самое существенное с позиции использования решения выделенной задачи, что обеспечивает аналитический выход на концептуальную модель в виде Use-Case диаграммы (языка UML);

второе предложение раскрывает самое существенное, связанное с методом решения задачи даже в том случае, когда этот метод не известен, что обеспечивает аналитический выход на подходящие концептуальные

модели «поведения» (например, на диаграммы сотрудничества или активности языка UML);

третье предложение указывает на существенное в реализации решения задачи, в составе разрабатываемой АС, что обеспечивает аналитический выход на концептуальные модели реализации, например, диаграмму компонентов или диаграмму размещения.

Разумеется, в результате анализа и проверок появится дополнительная информация, которая поможет уточнить постановку задачи и перейти к её новой версии $T(Z(t1))$, работа с которой приведёт к следующей версии $T(Z(t2))$ и так далее до формулировки задачи $T(Z(tN))$, которой будет соответствовать построенный метод решения с учётом средств его повторной реализации.

Применение QA-подхода должно начинаться с извлечения вопросов, вложенных в формулировку задачи исследования.

Анализ задачи начинаем с первого предложения:

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 псевдокодowego графического моделирования с возможностями экспериментирования, согласованных с ЧПУ программами в G-кодах.

Первоначально необходимо определить, какое место займет подсистема в процессе проектирования листовых шаблонов. Именно от этих характеристик зависит список задач, которые необходимо ей решать, и соответственно какую структуру должна иметь эта подсистема. Поэтому строим первый вопрос:

Q1. Какое место занимает предлагаемая подсистема в рамках процесса проектирования листовых шаблонов и что она из себя представляет?

Построение ответа на первый вопрос, в первую очередь требует определиться с требованиями к комплекту выходных материалов.

В число этих требований включим:

Трехмерное твердотельное представление модели шаблона

Оформление сопутствующей документации с использованием уже подготовленной модели и по её атрибутам.

Максимальное соответствие стандартам.

Кроме этого ответ на этот вопрос в большей мере зависит от того, какой класс систем планируется использовать как базовый. Поэтому сформулируем второй вопрос:

Q2. В рамках какой системы должна использоваться подсистема?

Требования предъявляют необходимость трехмерного твердотельного представления модели шаблона, кроме этого проектируемая подсистема должна взаимодействовать по существующему открытому протоколу.

Таким образом, сформулируем ответ на вопрос Q2.

A2. Базовой рассматривается система автоматизированного проектирования, обеспечивающая возможности твердотельного моделирования и имеющая некоторый программный интерфейс (API) для организации взаимодействия с ней.

После установления требований к базовой системе и анализа процесса проектирования шаблонов при БМУ, сформулируем ответ на вопрос Q1.

A1. 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.

Сформулируем дополнительные вопросы к первому предложению:

Q3. Какие преобразования над визуальными моделями необходимо включить в процесс проектирования листовых шаблонов?

Q4. В чем заключается согласованность псевдокодовых графических моделей с ЧПУ программам?

Построение простейших деталей возможно и без применения дополнительных подсистем в приемлемые сроки, но так как количество таких работ определяется порядком тысяч то любая минимальная экономия времени мультиплицируется на этот порядок. Таким образом, сформулируем ответ на вопрос Q3:

A3. При выделении операций для включения в подсистему следует обратить внимание на все действия проектировщика в базовой САПР, повторяемые регулярно и имеющие потенциал к автоматизации.

Сам факт псевдокодowego описания моделей шаблонов, позволяет широко использовать наработанные модели и принятые решения. Тут возникает вопрос согласования псевдокодовых моделей с микропрограммами для ЧПУ. Подобное согласование требуется для преодоления разрыва между компаниями, производящими САПР для моделирования, и производителями станков, поставляющими с оборудованием и программную часть - постпроцессор, для преобразования траектории обработки, в управляющую программу для конкретного станка с учетом его особенностей.

Связывая с каждым изменением модели – причины и необходимости модификации, а также сами принятые решения по модификации можно также сохранять и дерево изменения моделей, и информацию о принятых действиях.

A4. Согласованность ЧПУ программы с псевдокодовой моделью подразумевает сохранение сопоставлений изменений микропрограмме для станка с ЧПУ с принятыми решениями в дереве изменения трехмерной модели.

Описанная согласованность моделей с программами для обработки на станках, позволяют имитировать и сам станок, и его постпроцессор, что позволяет проводить эксперименты, и, следовательно, возникает следующий вопрос:

Q5. Какие возможности экспериментирования предоставляет псевдокодированное графическое моделирование, и какой позитивный эффект от проводимых экспериментов?

A5. Проводимые эксперименты позволяют адаптировать сохраненные проекты к новым деталям, оценивать результаты коррекций моделей, транслировать программы для других станков, а также проводить оптимизацию трассы для лазерной вырезки.

В рамках ответа на вопрос Q5 формируется следующий вопрос:

Q6. Каким образом можно характеризовать оптимальность лазерной резки?

Эффективность оценивается нахождением минимальной длины прохода лазерного луча при резке листового материала. Решение этой задачи невозможно без применения средств автоматизированного проектирования. Время лазерной обработки складывается из времени холостого хода и рабочего реза лазерным лучом. Затраченное время на подготовку к вырезке и непосредственно на саму вырезку. Нахождение оптимального расклада деталей на листе заготовки и нахождение оптимального пути раскроя реза. Похожая проблема решается, например, задачей коммивояжера. При холостом ходе головка лазера может перемещаться на измененных скоростях.

Методы оптимизации технических решений. Кроме этого не менее важными факторами являются, экономия общего технологического времени, экономия энергозатрат и продление срока службы лазерного оборудования.

Снижение времени и расхода рабочего тела на выполнении операций является существенной экономией.

A6. Оптимальность характеризуется минимизацией холостого хода головки лазера, что ведет к сокращению времени обработки. Сэкономленное время может быть переключено на другую пользу.

Сформулированные ответы могут быть дополнены диаграммой использования подсистемы проектирования шаблонов, представленной на Рисунке 13.

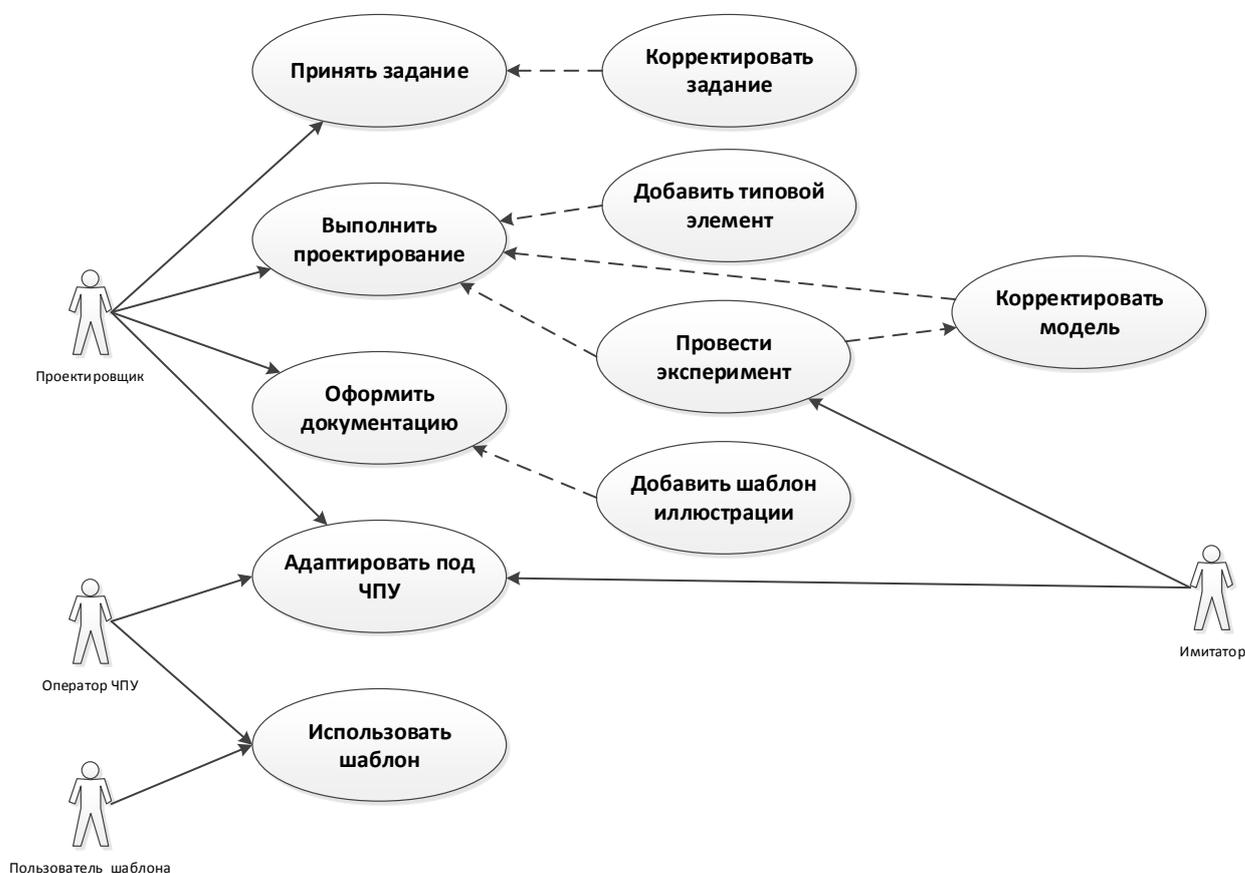


Рис. 13. Фрагмент Use-Case диаграммы для подсистемы

Для уточнения принципа реализации подсистемы проанализируем второе предложение:

В проектировании плоских листовых шаблонов следует ориентироваться на их повторное использование с доступом к библиотеке шаблонов и применением эффективных механизмов коррекции.

Это предложение позволяет сформулировать следующие вопросы:

Q7. На какие характеристики производственного процесса будет влиять повторное использование.

Q8. В каком виде шаблон представлен в библиотеке?

Q9. Каким образом должна быть организована библиотека

шаблонов?

Q10. Как определить эффективность механизмов коррекции повторно используемых проектов шаблонов?

Наблюдается общая тенденция перехода от технологий, основанных на интенсивном индивидуальном труде по созданию изделий, удовлетворяющих предъявляемым специфическим требованиям одного конкретного применения, к технологиям основанных на планируемых работах по разработке повторно- используемых элементов. Особое внимание уделяется параметрически настраиваемым стандартизованным элементам в виде базовых единиц проектирования.

То есть в итоге при первом подходе конструктора и технологи в своей работе обязаны держать в голове большое количество информации о успешных и неуспешных опытах, зачастую опираясь в большей части на интуицию, чем на строгие формулы и правила. Работа проектировщиков осложняется необходимостью оценки различных факторов. (Рисунок 14) Кроме этого нельзя не учитывать возможности использования базы знаний при обучении новых сотрудников.

При проектировании изделий с использованием САПР на базе ВТ важным является накопление действий и решений, осуществленных экспертом в прошлом, полезных как образец – так называемых - прецедентов.

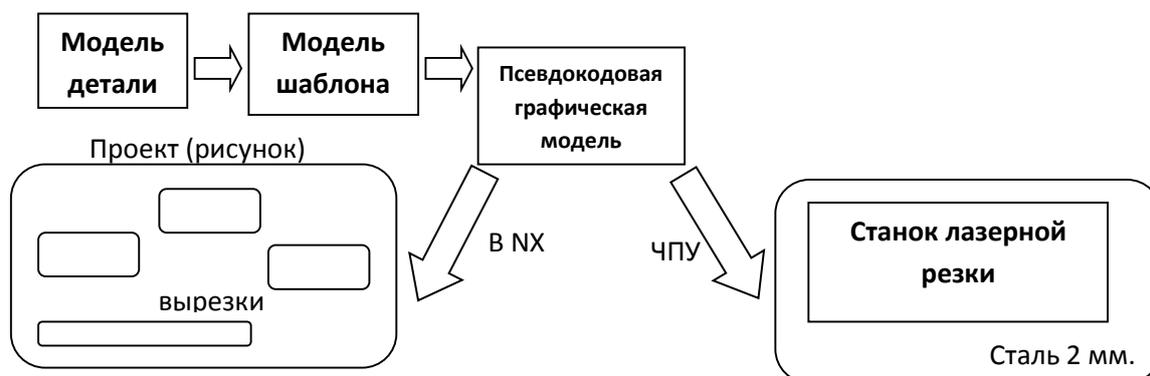


Рис. 14. Преобразование псевдокододовой модели шаблона

A7. Экономия времени формируется за счет снижения времени проектирования, берутся готовые элементы шаблона и уже не

требуется тратить время на их повторное проектирование. Не надо разрабатывать заново программу резки, только внести некоторые коррективы.

Для того чтобы определить, как должна быть организована библиотека, необходимо определить, что именно будет в ней храниться и в каком количестве. Поэтому формируем ответ на вопрос Q8:

A8. В библиотеке должно храниться описание шаблона, которое позволяет однозначно восстановить его в системе твердотельного моделирования, а также восстановить микропрограмму его обработки.

Организация библиотеки зависит не только от определенной выше структуры модели, но и от планируемого количества моделей в библиотеки. Если число моделей невелико, то их визуализируют в виде списка и представляется выбор из списка, при большем числе организуются секции, а если число моделей имеет порядок тысяч, то необходим поиск, и требуется хранить модели в форме, допускающей адекватный поиск.

A9. Организация библиотеки требует оценки количества входящих в нее моделей и дополнительной реализации инструментов выбора и поиска. Отдельно должны быть представлены возможности для хранения геометрических элементов, псевдокодowych программ, программ обработки и различных конструктивных элементов.

A10. Эффективность системы определяется с той позиции, которую дает экспериментирование с программами. Механизмы коррекции позволяют определить ошибки до этапа резания, и тем самым избежать затрат. На экспериментах можно проверить и скорректировать микропрограмму обработки.

В качестве завершения первой части работы, опишем ожидаемый позитивный эффект, а также определим показатели, по которым можно будет определить, что мотивы учтены, а цели исследования достигнуты. Для определения мотивационно - целевых установок запишем формулировки ответов, объединив их вместе:

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.

Проводимые эксперименты позволяют 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 определяться 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.

Анализируя этот текст можно сформулировать следующий основной мотив диссертационного исследования, который должен отражать потенциальную суть претензий автора на научную новизну, учитываться стратегически и тем самым управлять процессом решения задачи исследования Z*:

М0. 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.

Спецификацию мотивов путем выделения подчиненных мотивов строим, основываясь на понятии трудоемкости в производственном процессе.

Под трудоемкостью в экономической науке и хозяйственной практике принято понимать величину регламентированных (нормированных) затрат живого труда совокупного работника на изготовление единицы или

определенного объема продукции в соответствующих рыночных, технических, организационных и плановых условиях развития производства. Трудоемкость единицы продукции предприятия рассчитывается отношением фонда рабочего времени на изготовление i -го вида продукции к объему его производства в натуральном или условно-натуральном измерении. В общем виде на предприятиях машиностроения трудоемкость определяется величиной затрат труда (рабочего времени) на производство единицы продукции по следующей формуле:

$$T_H = \frac{З_{НВ}}{В_{Г}} \quad (1)$$

где T_H - трудоемкость единицы продукции, нормо-ч / шт;
 $З_{НВ}$ - нормируемые затраты рабочего времени соответствующей категории основных рабочих, человеко-ч /год;
 $В_{Г}$ - годовой объем выпуска продукции, шт/год.

Одним из наиболее распространенный способ снижения трудоемкости на производстве – автоматизация технологического процесса, разработка и применение прогрессивных технологий. Поэтому сформулируем мотив следующим образом:

М1. Использование системы проектирования шаблонов должно способствовать снижению зависимости качества организации и реализации процессов проектирования технологической оснастки от уровня квалификации участвующих в процессе проектирования исполнителей.

Ц.1. Повышение уровня автоматизации процесса проектирования шаблонов.

С1. Формализовать процессы в проектировании технологической оснастки.

С2. Разбить технологический процесс на элементарные операции.

С3. Формально описать каждую из элементарных операций.

Ц.2. Обеспечить возможность повторного использования проектных решений.

С4. Организовать библиотеку повторного использования.

C5. Организовать хранение и вызов параметризованных базовых элементов.

C6. Ввести в процесс проектирования использование хранимых базовых элементов.

C7. Организовать хранение и вызов уже разработанных моделей шаблонов и их микропрограмм обработки.

C8. Создание нового оснащения путем коррекции уже созданного.

C9. Автоматизировать формирование отчетной документации, сопутствующей процессу проектирования шаблонов.

C10. Организовать передачу атрибутов моделей на формы документации.

М2. Использование системы проектирования шаблонов должно способствовать снижению количества проектных решений дорабатываемых по результатам натурных испытаний.

Ц.3. Снижение количества ошибок, совершаемых проектировщиками.

C11. Повысить степень полноты и достоверности и точности проектных решений в ходе компьютерного моделирования.

C12. Реализовать возможность проведения экспериментов на основе псевдокодовых моделей.

C13. Обеспечить возможность адаптации разрабатываемых трехмерных моделей шаблонов под различные виды оборудования.

C14. Согласовать псевдокодovou графическую модель с управляющими программами обрабатывающих станков.

М3. Использование системы проектирования шаблонов должно способствовать снижению трудоемкости изготовления шаблона.

Ц.4. Рационализация пути холостого хода обрабатывающего инструмента.

C15. Уменьшить холостой ход лазерной головки путем применений вариантов оптимизационного алгоритма (например, сводя задачу к задаче коммивояжера).

Для подтверждения достижения цели диссертационного исследования сформирована мотивационно-целевая диаграмма, представленная на Рисунке 15.

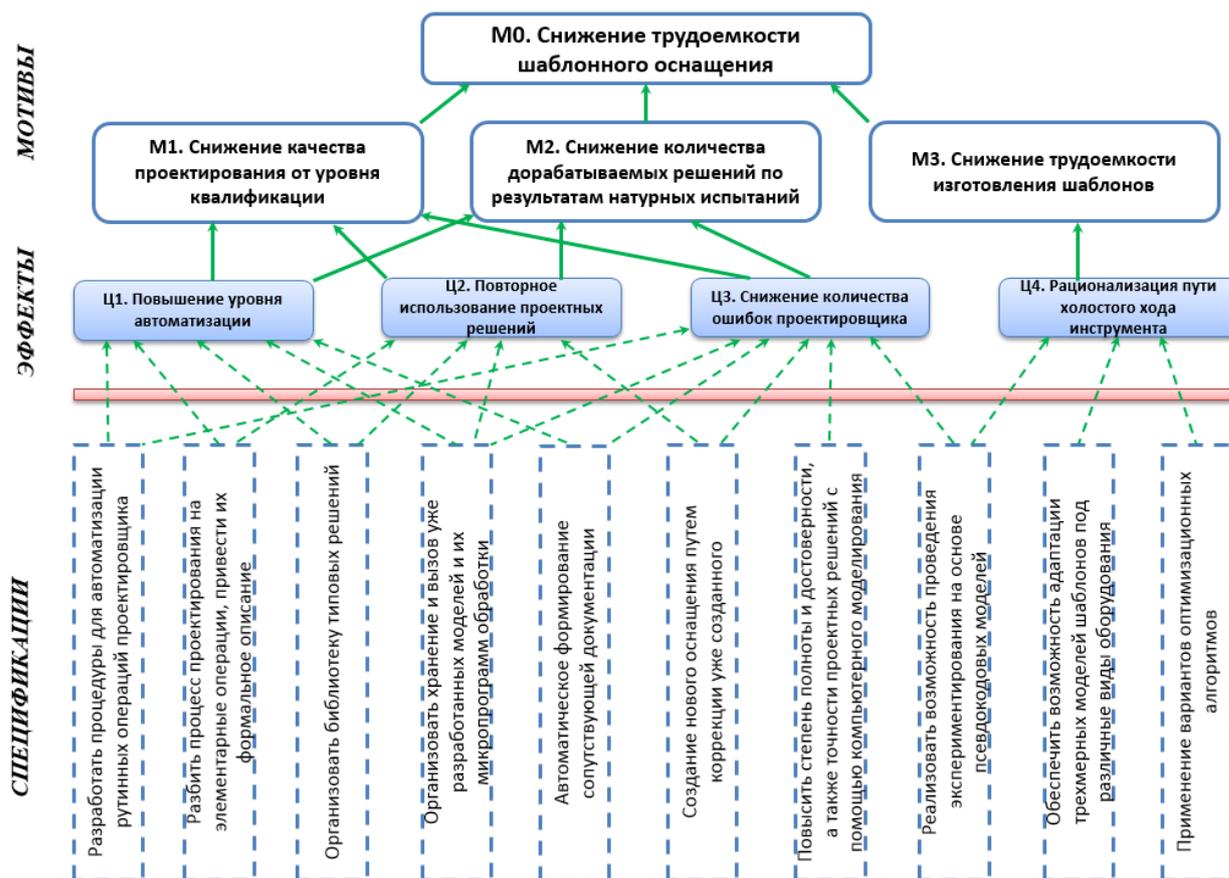


Рис. 15. Мотивационно-целевая диаграмма

Для того чтобы сформулированные мотивы были доведены до их материального воплощения, в диссертационном исследовании должны быть решены следующие **научно-технические задачи**:

Оценить возможности адаптации вопросно-ответного подхода к проектированию к обработке информационных потоков при ТПП серийных авиационных изделий.

Выделить базовые элементы и операции проектирования листовых шаблонов, и произвести их полное псевдокодое описание.

Разработать структуру библиотеки для хранения псевдокодовых графических моделей шаблонов, а также описать представления их трехмерных моделей в библиотеке.

Разработать механизм экспериментирования на базе псевдокодowego графического моделирования.

Разработать «Программный модуль проектирования листовых шаблонов для оснащения серийного авиационного изделия», обеспечивающего демонстрацию описанных выше положений и открытого для построения на его базе эксплуатационной версии.

Выводы и рекомендации по первой главе

1. Высокая конкуренция на авиационном рынке вкупе с тенденцией к переработке изделий под конкретного пользователя, требует **регулярной переработки** элементов технологического оснащения для производства.

2. Оснащение авиационного производства имеет ряд отличительных особенностей, что **усложняет** создание **универсальных** автоматизированных программ для проектирования технологического оснащения.

3. Несмотря на переход к бесплазовому методу оснащения, это не означает отказ от листовых шаблонов, именно эта группа составляет **объемную долю** временных и материальных затрат, а также имеет **большой потенциал к оптимизации**.

4. Одним из эффективных средств оптимизации процесса проектирования является автоматизация **повторяющихся** операций.

5. Одним из эффективных средств автоматизации повторяющихся операций является представление элементов технологического оснащения с помощью **псевдокодowego моделирования** и организация **библиотеки повторного использования** накопленных моделей.

6. Использование псевдокодowego моделирования позволяет осуществлять **экспериментирование** над ними с целью **оптимизации** принятых решений.

7. **QA** – среда WIQA позволяет включить экспериментирование в цикл проектирования шаблона.

Глава вторая. Формальное описание шаблонов и процессов их жизненного цикла

Следующая глава посвящена рассмотрению формального описания процесса проектирования средств технологического оснащения серийного авиационного производства, на примере плоских шаблонов, а также описанию расширения языка псевдокодowego моделирования для вопросно-ответной среды WIQA.NET.

2.1. Подход к формализации процесса проектирования шаблонов

Формализация шаблона должна быть согласованна с САПР *Unigraphics*, из которого нужно получать параметры геометрических элементов, а также формализация должна быть согласованна с изготовлением, то есть с G-кодами, описывающими ход обработки.

Для достижения эффектов, озвученных в параграфах 1.3 и 1.4 первой главы необходима модификация существующего технологического процесса проектирования шаблонов в рамках технологического оснащения серийного авиационного производства. В ходе диссертационной работы предполагается включить в технологический процесс проектирования шаблонов для изготовления на станках лазерной резки возможностей концептуального экспериментирования.

Отображение процесса проектирования в вопросно-ответную память позволяет проводить концептуальное экспериментирование, что подразумевает возможность остановки на любом этапе проектирования, оценки принятого решения, многократной визуализации и возможности коррекции.

В производстве шаблона задействовано множество людей, каждый из которых должен действовать согласованно. По общему списку действий каждый пользователь выполняет свою часть команд. Это позволяет учитывать процесс полностью, передавая между этапами различные метрики, такие как, например, технологическое время.

Фрагмент процесса производства, включающий технологическое оснащение показан на Рисунке 16. Первоначально выбирается наиболее подходящая заготовка из библиотеки, а работа с геометрией происходит непосредственно в САПР Unigraphics, на следующем этапе преобразованную модель можно подвергнуть экспериментам. Экспериментирование возможно в WIQA.NET, с помощью описания действий в псевдокоде и их исполнения.

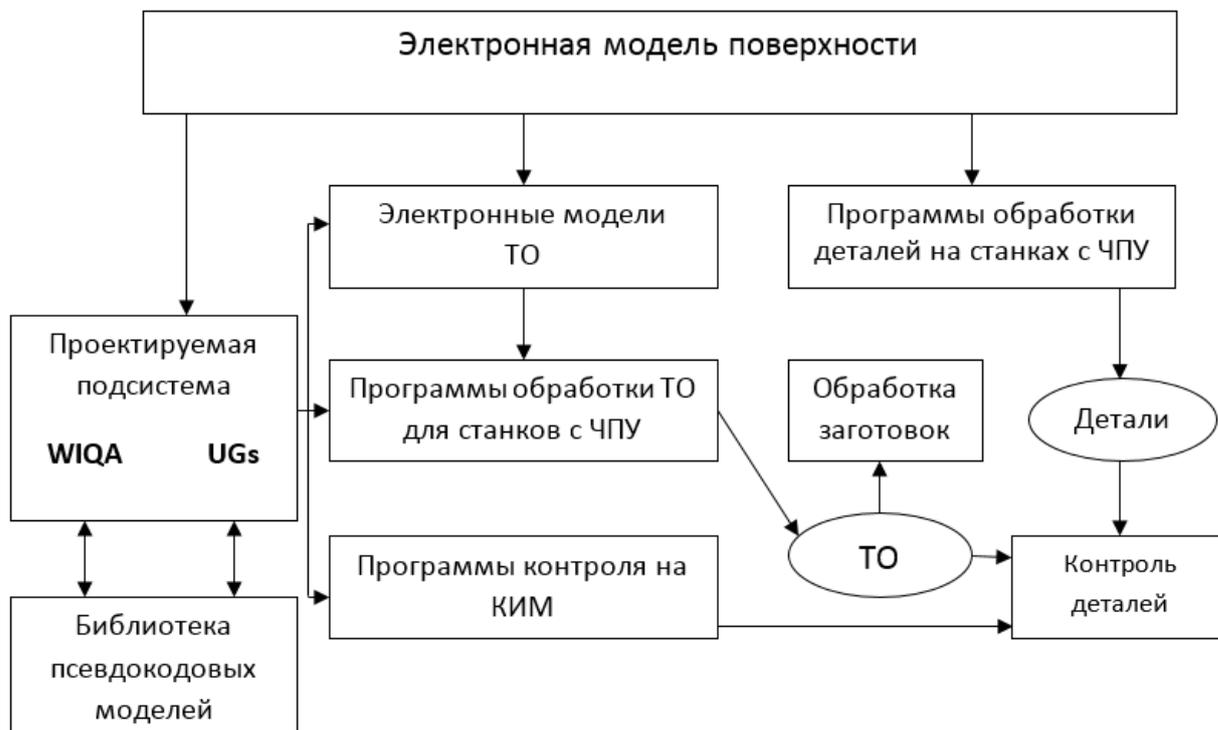


Рис. 16. Фрагмент процесса производства

Чтобы провести эксперимент необходимо описать весь процесс целиком в WIQA.NET, с прерыванием и переходом в другие программы (UGs и др.), а также возвратом обратно. Такой эксперимент можно произвести с целью повторения сколько угодно раз для любых заинтересованных лиц. Это

позволит оптимизировать процесс, изъять узкие места. Последним этапом формируются программа обработки шаблона на станке лазерного раскроя.

Несмотря на широкие возможности вопросно-ответной среды WIQA.NET, для реализации объявленного подхода к проектированию шаблонов необходимо расширить функционал этого средства путем введения дополнительных элементов языка. Для расширения языка требуется разработать его подмножество, содержащее объекты и процессы, формализуемые представлением синтаксиса в расширенной Бэкус — Науровой форме (РБНФ). Кроме этого РБНФ позволяет подготовить конструкции, связанные с действиями проектировщика для отображения на вопросно-ответную память.

Производственные шаблоны служат для изготовления и контроля деталей и технологической оснастки к ним. Согласно существующей практике основными видами шаблонов являются шаблон обрезки и кондуктор (ШОК), шаблон внутреннего контура (ШВК), шаблон гибки (ШГ), шаблон развертки (ШР) и шаблон контура сечения наружный (ШКСН) (Рисунок 17)



Рис. 17. Виды шаблонов применяемые в практике

Таким образом, шаблон может быть экземпляром одного из вложенных классов:

ШАБЛОН = ШОК | ШВК | ШГ | ШР | ШКСН;

Обобщенно структура шаблона вне зависимости от вида может быть представлена совокупностью внешнего и внутреннего контура, содержащих основные конструктивные элементы. Часть контура является основной, и

непосредственно используется для контроля и изготовления детали и переносится с электронной модели детали, а часть является специфичной для шаблона, повышающей жесткость, служащей для нанесения информации и т.д.

БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН = ОСНОВНАЯ_ЧАСТЬ [ДОБАВОК] ИНФОРМАЦИЯ
ОСНОВНАЯ_ЧАСТЬ = ВНЕШНИЙ_КОНТУР ВНУТРЕННИЙ_КОНТУР
ВНЕШНИЙ_КОНТУР = КОНТУР

Для проверки контура детали в добавочном материале вырубается смотровые окна размером от 8 до 10мм шагом 200 мм для прямолинейных шаблонов, шагом 100 мм для шаблонов с плавным криволинейными контурами и шагом 50 мм для шаблонов с резкими кривыми переходами. Смотровые окна вскрываются в зависимости от кривизны детали и служат для контроля прилегания шаблона к детали. Для контроля шаблонов каждый из них содержит 2 или более добавочных отверстия, называемых базовыми.

ВНУТРЕННИЙ_КОНТУР = {ОТВЕРСТИЯ} {ОКНА}

Базовые отверстия (БО) служат для фиксации заготовок шаблонов и увязки элементов сборочной оснастки. Базовые отверстия не должны совпадать с другими отверстиями, имеющимися на шаблонах. На каждом шаблоне вскрывается как минимум два базовых отверстия с информацией «БО». Расстояние между БО должно быть кратно 50 мм.

БО = ОКРУЖНОСТЬ

Шаблоны большой длины, но малой ширины, как прямолинейные, так и криволинейные принято вырезать с добавочным материалом (припуском) для жесткости, а также устанавливать для жесткости профиля с шагом крепления не более 300мм (на шаблонах, где имеется информация правая показана, левый отраженный вид, устанавливать съемные профили жесткости на технологические болты). Шаблоны менее 100мм также вырезаются с добавочным материалом для размещения информации.

**ДОБАВОК = ТЕЛО ДОБАВКА БАЗОВЫЕ ОТВЕРСТИЯ ПОДПИСЬ [УШКИ]
[УПОРЫ]**

ТЕЛО ДОБАВКА = КОНТУР

БАЗОВЫЕ ОТВЕРСТИЯ = БО БО {БО}

ПОДПИСЬ = СПЕЦИФИКАЦИЯ

Рассмотрим подробнее каждый из заявленных видов шаблонов и их составные элементы.

шаблоны обрезки и кондуктор (ШОК), применяются для обрезки по контуру и сверления отверстий в деталях пространственной формы, изготовленных из профилей или листового материала. По таким шаблонам контролируется обрез детали, а также правильность выполнения различных отверстий (Рисунок 18).

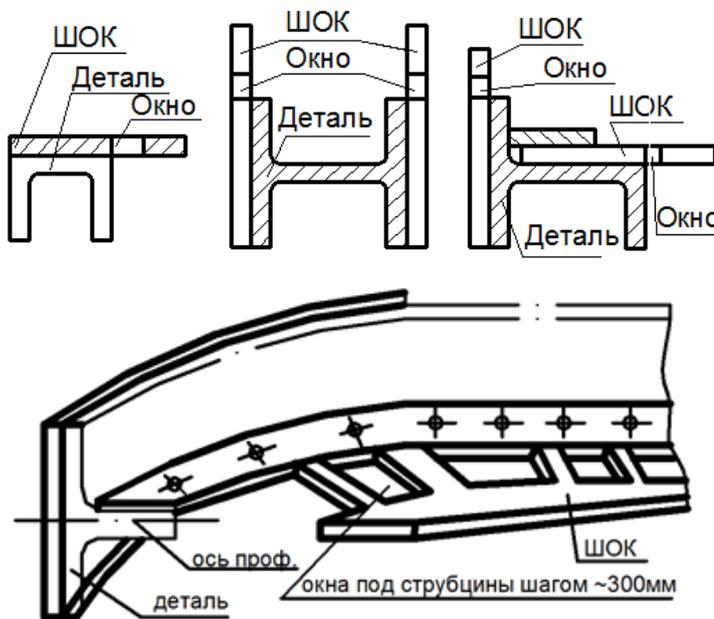


Рис. 18. Применения ШОК и общий вид приложения

Самолетные детали очень часто разделяются на показанные (изображенные на чертеже) и отраженные. Лицевой стороной шаблона для показанной детали является наружная поверхность шаблона при расположении его на плоскости в соответствии с изображением детали на основной проекции чертежа. На лицевой стороне шаблона наносится общая и специальная информация, которая относится к показанной детали. Шаблон к лицевой стороне показанной детали прикладываются той стороной, на которой отсутствует общая информация, то есть не лицевой стороной

шаблона. Для деталей типа обшивок лицевой стороной считается наружная поверхность детали. На лицевой стороне шаблона наносится общая и специальная информация, которая относится к показанной детали. Шаблон для показанной и отраженной детали, как правило, изготавливается один, а в информации на шаблоне рядом с номером детали набивается «ПОК» - для показанной детали и «ОТР» - для отраженной детали (Рисунок 19).

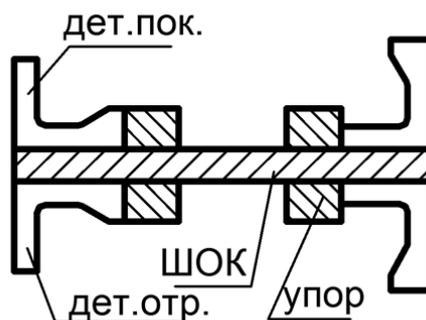


Рис. 19. Применения ШОК для показанной и отраженной детали

Если существует неоднозначность применения на добавочном материале давать эскиз приложения детали (Рисунок 20).

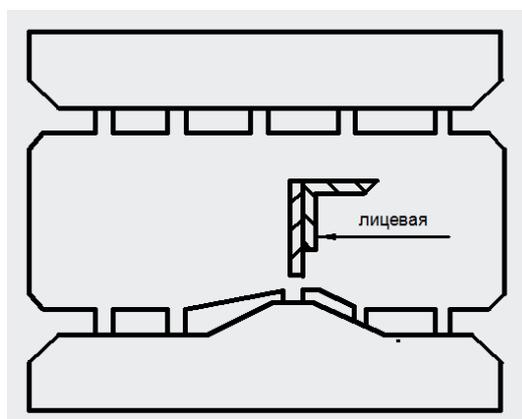


Рис. 20. Эскиз приложения на ШОК

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

шаблон внутреннего контура (ШВК) - плоский шаблон, предназначенный для изготовления и контроля оснастки (формблоков, гибочных пуансонов инструментальных штампов, оправок) и для операций гибки. ШВК изготавливается по внутреннему контуру, образованному

пересечением внутренних поверхностей детали. Контур ШВК, соответствующий участку детали, не имеющего борта, обрабатывается по контуру детали или в ШВК вырубается окна для контроля контура детали. Контур ШВК зависит от величины малки и толщины материала детали. Если борт переменный, но не ступенчатый, указывается информация «Б ПЕР», а по концам борта указывается его величина (Рисунок 21).

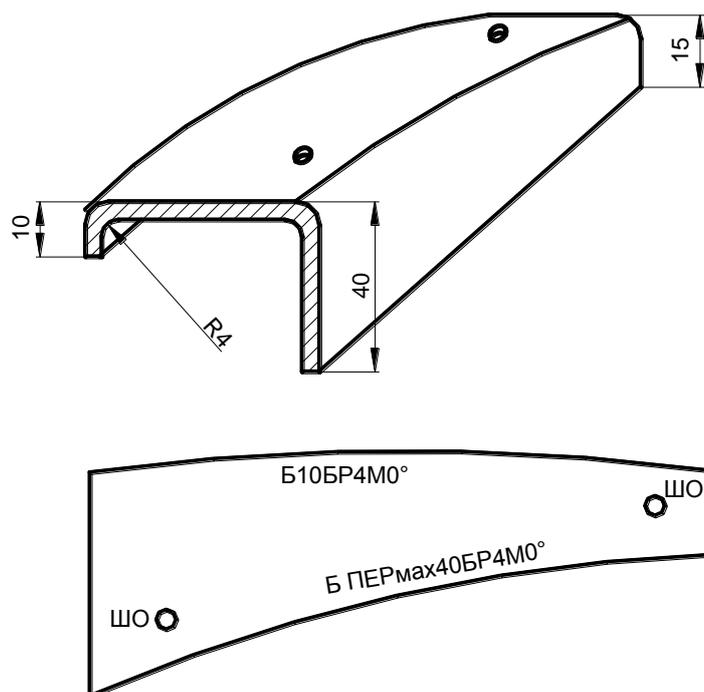


Рис. 21. Пример выполнения ШВК

Если деталь формируется в несколько переходов, то в этом случае изготавливают комплект операционных ШВК. На всем комплекте наносится информация количества переходов в комплекте и на каждом отдельном ШВК наносится номер перехода. Все ШВК одного комплекта увязывают между собой по шпилечным отверстиям и контуру. Таким образом ШВК не содержит никаких дополнительных элементов и может быть представлен выделенным ранее понятием *базовый_шаблон*:

ШВК = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН;

шаблон гибки (ШГ), повторяющий контур гибки листовых, трубчатых или профильных деталей, служит для контроля изогнутых деталей и их

объемной оснастки для гибки в одной плоскости, предназначается для изготовления технологической оснастки (гибочных штампов, оправок и приспособлений), применяемой для гибки профильных и трубчатых деталей, изогнутых в одной плоскости, для контроля изогнутых деталей (профильных и трубчатых).

На ШГ указывается эскиз положения шаблона на детали, а также риски обреза детали. Если деталь имеет косой срез борта, то линия обреза детали дается по максимальной точке. Если деталь малкованая – наносятся малочные лучи и значения малок, направление борта.

На ШГ для правых и левых деталей наносится информация с обеих сторон ШГ для удобства работы и эскиз приложения шаблона. Контур ШГ выполнять с учетом границ фрезеровок. На ШГ в зависимости от габаритов и веса выполнять транспортировочные окна 200 x 100 1÷4 шт. ОПШ выполнять с противоположной стороны от информации. Дублирование номера детали краской обязательно. Стрелка на картинке ШГ указывает лицевую сторону шаблона. Величина добавочного материала на ШГ составляет 250 мм от контура (Рисунок 22).

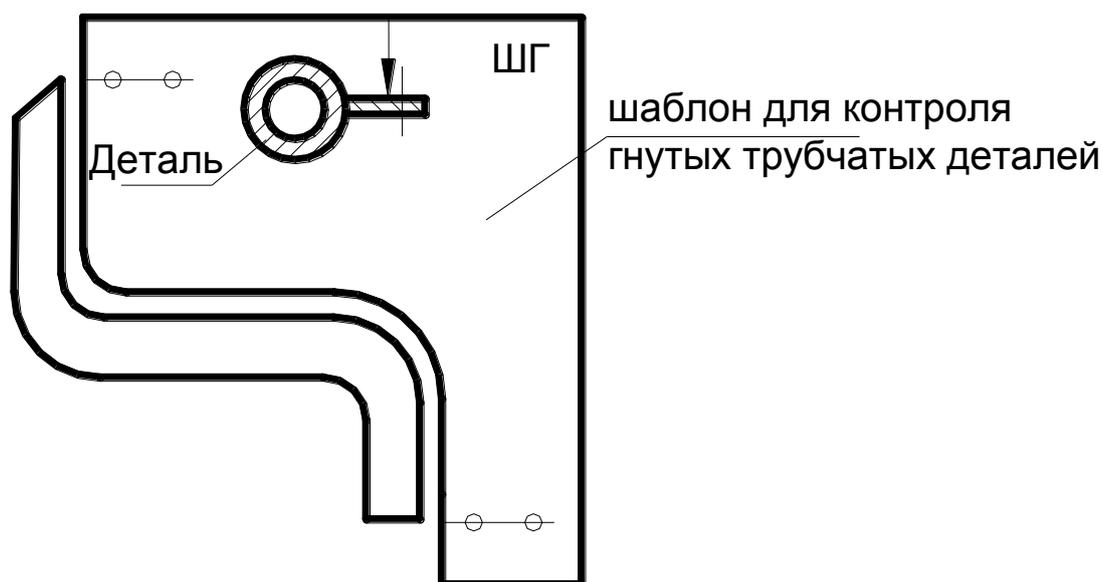


Рис. 22. Пример выполнения и применения ШГ

ШГ = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН_ЭСКИЗ_ПРИЛОЖЕНИЯ;

Отверстия для подвески шаблонов (ОПШ) сверлятся или пробиваются на шаблонах в виде выреза с размерами согласно на добавке или в теле шаблона, не нарушая его жесткости. ОПШ дается шагом кратным 1000 мм с отклонением 200 мм (Рисунок 23).

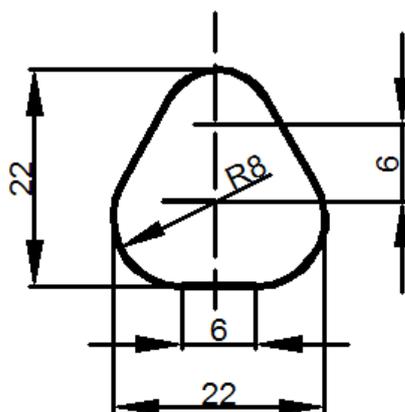


Рис. 23. Схема выполнения ОПШ

шаблон развертки (ШР), представляет собой точную развертку листовой детали простой геометрической формы (теоретически разворачиваемой поверхности), служит для разметки, изготовления и контроля детали, а также для сверления отверстий в них;

Размеры в чертежах обычно даются не до началагиба детали, а по линии контура, поэтому развертку линий ШР строят относительно контура.

На ШР наносится линия контура, обозначаемая стрелками с информацией борта, величины радиуса и малки, если деталь полностью изготавливается в одном цехе

На ШР деталей, подлежащих хим. фрезерованию, необходимо давать ушки размером 30x50 мм, в которых даются технологические отверстия диаметром 5,2 мм для взаимной фиксации ШР с заготовкой. У отверстия дается информация «БОТ».

**ШР = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН {ШО; ЛИНИИ_ГИБА ГРАНИЦА_ФРЕЗИРОВАНИЯ
ОБОЗНАЧЕНИЕ_БОРТОВ;**

шаблон контура сечения (ШКС), представляющий собой плоский шаблон, рабочая кромка которого соответствует контуру сечения деталей

или агрегатов, предназначен для изготовления и контроля деталей пространственной формы, контроля малок листовых и профильных деталей, а также для контроля объемной оснастки. Шаблон может быть изготовлен в двух модификациях – толщина материала не входит в тело шаблона (ШКСн) и толщина материала входит в тело шаблона (ШКСв); Представляет собой плоский шаблон, рабочая кромка которого соответствует контуру сечения детали или агрегата. Предназначается для: изготовления и контроля объемной оснастки; изготовления заготовительно-штамповочной объемной оснастки (болванок, гипсомodelей, свинцово-цинковых штампов, оправок, формблоков, обтяжных пуансонов); изготовления роликов для прокатки профилей; изготовления и контроля деталей пространственной формы; контроля малок листовых и профильных деталей (Рисунок 24).

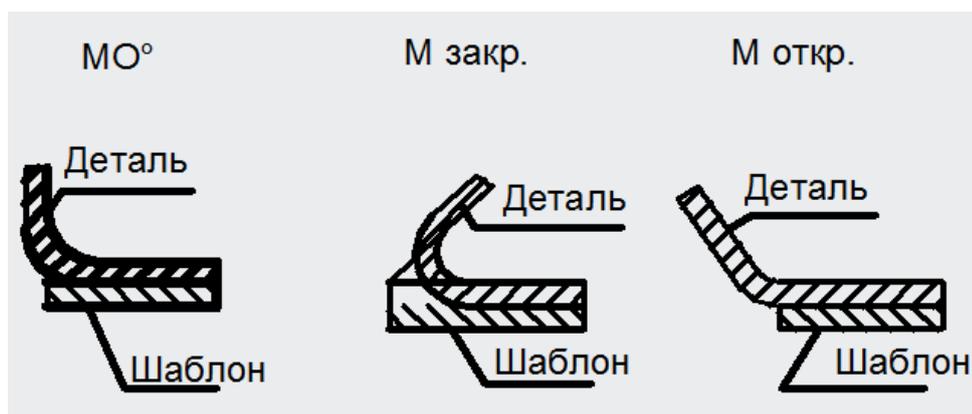


Рис. 24. Различные малки на авиационных деталях

Кроме общей информации на ШКС наносится следующая информация: «Вид по полету» или «Вид против полета» на поперечных шаблонах; направление полета на продольных шаблонах; если изготавливается комплект шаблонов, то информация номера сечения и дистанции, причем на первом шаблоне маркируются дистанция «О» и дальше на остальных шаблонах дистанция считается от этого сечения; маркируется установочная линия или базовая плоскость шаблона; номер шпангоута (Рисунок 25).

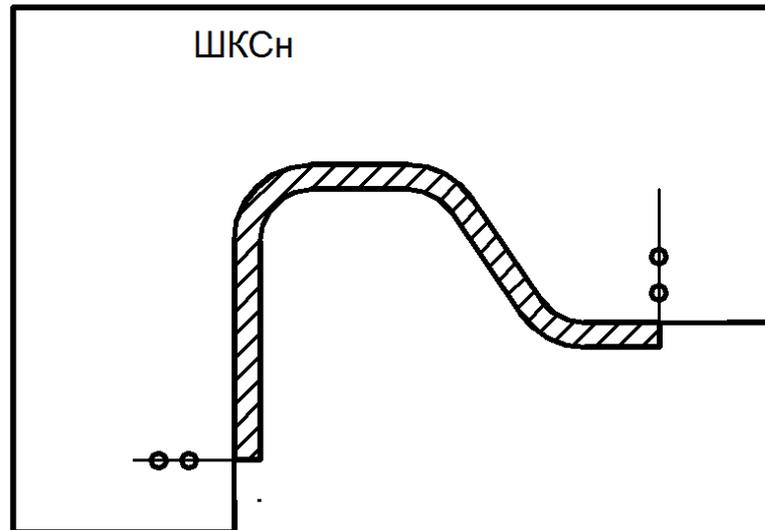


Рис. 25. Пример выполнения и применения ШКСн

ШКСн = БАЗОВЫЙ_ШАБЛОН_ОБОЗНАЧЕНИЕ_БАЗЫ_ВИД_ДИСТАНЦИЯ_НОМЕР_В_КОМПЛЕКТЕ;

Плоский ШОК на детали уголкового сечения (Рисунок 26) изготавливаются на прямые детали и детали, имеющие кривизну в одной плоскости.

На плоские ШОК, в отличие от ШК, устанавливаются упоры, пластины, бобышки и т.д. В зависимости от требований производства они могут быть изготовлены как на одну полку, так и на все полки.

ШОК должны обеспечивать разметку длины детали, скосов, вырезов, сверловку отверстий.

На всех ШОК дается информация направления борта (БА – борт вверх, ББ – борт вниз) деталь и шаблон прикладывается по указанной информации.

Если ШОК изготавливается один на правую и левую детали, то на нем дается направление борта для показанной детали, а в информации на добавочном материале указывается какая деталь показанная, а какая отраженная.

В тех случаях, когда полка детали фрезеруется на постоянную высоту, на ШОК, помимо направления, набивается высота борта.

Если деталь имеет отличие от толщины исходного профиля, то на ШОК набивается значение толщины полки

Для деталей таврового сечения на ШОК дается риска и информация оси профиля.

Подсечка на шаблонах отражается установкой пластин на подсекаемой части. Пластина, имитирующая глубину подсечки, устанавливается на расстоянии 1 мм от конца сбега, чтобы не упираться в радиус подсечки на детали. Подсечка вниз—смещение подсечки вниз относительно основной плоскости.

Основная плоскость—это наибольшая неподсекаемая часть детали

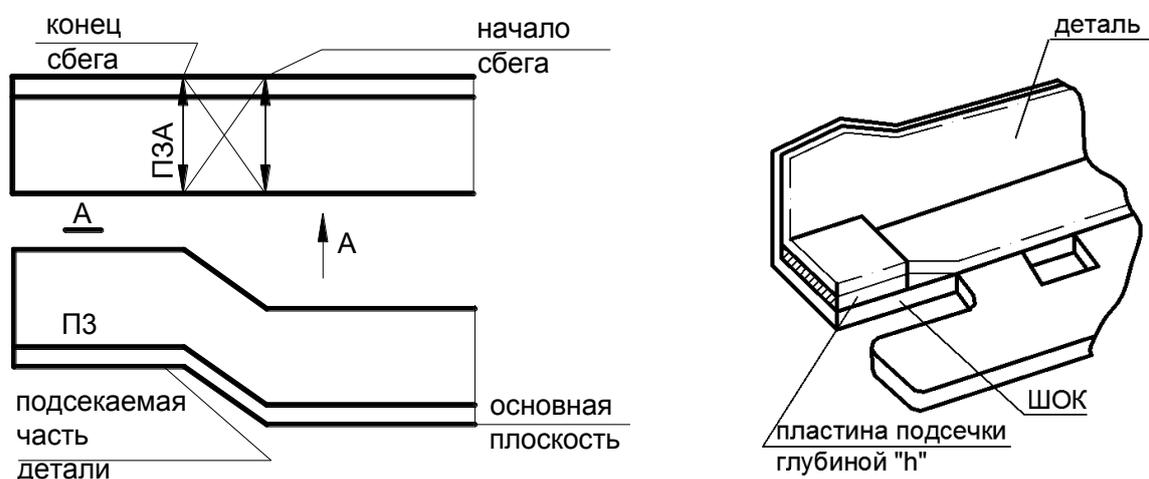


Рис. 26. Шаблон обрезки и кондуктор на деталь типа «Уголок»

ОБОЗНАЧЕНИЕ_ПОДСЕЧЕК = {ПОДСЕЧКА}
ПОДСЕЧКА = ПЕРЕКРЕСТИЕ ВЫСОТА_ПОДСЕЧКИ НАПРАВЛЕНИЕ_ПОДСЕЧКИ
ПОЛОЖЕНИЕ ПЛАСТИНЫ
ПЕРЕКРЕСТИЕ = ОТРЕЗОК ОТРЕЗОК
ВЫСОТА ПОДСЕЧКИ = ЧИСЛО
НАПРАВЛЕНИЕ_ПОДСЕЧКИ = 'А' | 'Б'
ПОЛОЖЕНИЕ ПЛАСТИНЫ = КОНТУР

Подсечка – часть поверхности детали, опущенная или приподнятая относительно основной плоскости.

Развертка борта с одинарной прямой подсечкой при h меньше или равно 5 мм, где h – глубина подсечки

ОБОЗНАЧЕНИЕ_БАЗЫ = СПЕЦИФИКАЦИЯ

ВИД = СПЕЦИФИКАЦИЯ
ДИСТАНЦИЯ = ЧИСЛО ‘/’ ЧИСЛО
НОМЕР В КОМПЛЕКТЕ = ЧИСЛО

ЛИНИИ_ГИБА = {ЛИНИЯ_НАЧАЛА_ГИБА ЛИНИЯ_КОНЦА_ГИБА}
ЛИНИЯ_НАЧАЛА_ГИБА = ОТРЕЗОК
ЛИНИЯ_КОНЦА_ГИБА = ОТРЕЗОК

Фрезеровка размечается и контролируется специальными границами (Рисунок 27).

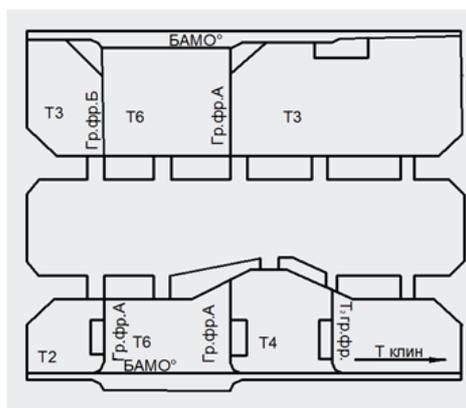


Рис. 27. Примеры границ фрезерования

ГРАНИЦА_ФРЕЗЕРОВАНИЯ = {КОНТУР}{СПЕЦИФИКАЦИЯ}

Информация, наносимая на шаблон, состоит из комплекса наносимых условных обозначений, и содержащих точную геометрическую и технологическую характеристики как самого, шаблона, так и соответствующей ему сборочной единицы (узла) или детали. Информацию разделяют на специальную и общую. Специальная информация характеризует геометрические и технологические параметры деталей, которые изготавливают по данным шаблонам, например, высоту и направление бортов, глубину подсечек, расположение и тип технологических отверстий (Рисунок 28).

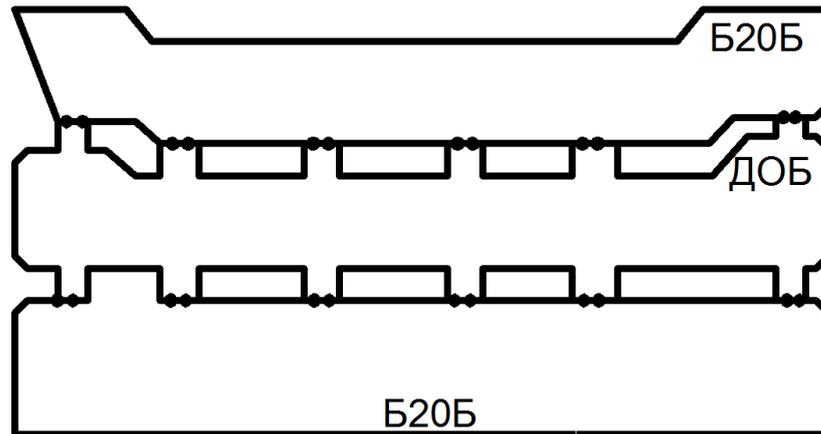


Рис. 28. Обозначение информации на шаблоне

ОБОЗНАЧЕНИЕ_БОРТОВ = {БОРТ}
БОРТ = 'Б' ВЫСОТА_БОРТА [МАЛКА_БОРТА] НАПРАВЛЕНИЕ_БОРТА
ВЫСОТА_БОРТА = (['МАХ'] ЧИСЛО) | ('ПЕР')
МАЛКА_БОРТА = ЧИСЛО '°'
НАПРАВЛЕНИЕ_БОРТА = 'А' | 'Б'

Общая информация, или маркировка, указывает общие характеристики шаблона: шифр изделия; условное обозначение шаблона; номер чертежа комплекса (агрегата), сборочной единицы (узла), детали; материал детали; срок действия шаблона; номер завода, номер цеха, табельный номер рабочего, изготовившего шаблон; дату изготовления шаблона; клеймо контролера бюро цехового контроля (БЦК).

ИНФОРМАЦИЯ = НОМЕР_ДЕТАЛИ [МЕСТО_МАРКИРОВКИ] ИНФОРМАЦИЯ_РТК
ИНФОРМАЦИЯ_РТК =
 ["Вскрыть" ЧИСЛО "БО диаметром 8"]
 ["Всю информацию и необходимые риски нанести согласно эскизу РТК"]
 [("Контроль рабочего контура") ("на КИМ" | "по эскизу")]
 ["Дать упоры" ["с двух сторон"]]
 ["Установить пластину"]
 ["Вскрыть" ЧИСЛО "ШО диаметром 5"]

УШКИ = УШКИ_ШО | УШКИ_БО | ТЕХУШКИ

Существуют следующие основные типы отверстий, вскрываемые на шаблонах (Рисунок 29):

ОТВЕРСТИЯ = НО | ШО | БО | ИО | СО

ИО - инструментальное отверстие для фиксации инструмента на заготовке детали;

Инструментальные отверстия (ИО) служат для фиксации заготовок деталей на штампах в момент получения местной просечки. Деталь устанавливается по ловителям на штампе, положение которых определяется по шаблону.

Расположение и количество ИО определяется нормами (стрингерных вырезов, отверстий облегчения) и чертежами штампов. ИО могут быть вскрыты в шаблонах ШК, ШВК, ШР, ШОК, ШОН, ШЗ.

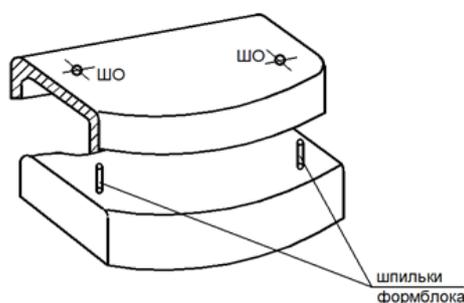


Рис. 29. Применение шпилечных отверстий

ИО = ОКРУЖНОСТЬ

НО – направляющие отверстия, заменяющие разметку для сверления отверстий под заклепки и болты;

Направляющие отверстия (НО) в шаблонах используют для сверления отверстий под заклепки, анкерные гайки, болты. Это исключает разметку в момент сборки узла и значительно сокращает трудоемкость сборки. Сверлятся НО только в шаблонах одной детали, не находящейся в середине пакета и имеющей доступ для сверления во время сборки [130-131].

Направляющие отверстия (НО) для крепежа диаметром 2,5 мм и выше в деталях засверливаются через насадки диаметром 2,5 мм. В шаблоне направляющие отверстия вскрываются диаметром 6,0 мм.

Для крепежа диаметром меньше 2,5 мм на шаблонах устанавливаются кондукторные втулки или кондукторные пластины с диаметром отверстий согласно чертежу или ведомости ПШО, с указанием диаметра отверстий в

детали. При установке кондукторных втулок или пластин на шаблоны для правых и левых деталей, шаблоны изготавливать отдельными для правой и левой детали. Под анкерные гайки сверлить только центровое направляющее отверстие.

НО = ОКРУЖНОСТЬ (ТОЧКА ; ' 6) | ОКРУЖНОСТЬ(ТОЧКА ; ' 4)

ШО - шпилечные отверстия для установки на форм-блоках шпилек, по которым центрируются заготовки деталей при формовке; Шпилечные отверстия (ШО) предназначаются для установки заготовок деталей на шпильках формблоков в определенное положение, которое позволяет после формообразования получить деталь, соответствующую чертежу, а также для стыковки, увязки ШОК с обтяжными пуансонами, болванками на пространственные детали.

в деталях ШО выполнять диаметром 5 мм. Если под ШО используют НО, то ШО выполнять диаметром 2,5 мм, за исключением тех случаев, когда диаметр ШО указан в ведомости ПШО (Рисунок 30).

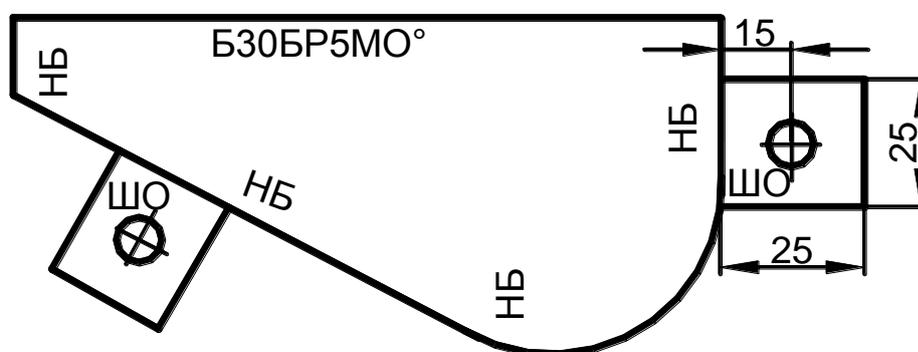


Рис. 30. Шпилечные отверстия на добавочных ушках

На плазах, в РТК и на шаблонах около каждого шпилечного отверстия наносится информация «ШО». Если ШО в детали диаметром 2,5 мм, то в РТК на шаблон пишется диаметр шпилечного отверстия в детали.

Шпилечные отверстия в детальном комплекте шаблонов должны быть согласованы между собой.

ШО = ОКРУЖНОСТЬ

СО - сборочные отверстия для фиксации деталей при сборке сборочной единицы (узла).

Сборочные отверстия (СО) – это отверстия, предназначенные для установки деталей, узлов в положение, предусмотренное чертежом, без оснастки и просверленные в сопрягаемых элементах конструкции заранее и отдельно.

Сборочные отверстия вскрываются только в пакете, состоящем не более чем из двух деталей

Основанием для вскрытия СО в шаблонах служит указание в ведомости ПШО. Для СО используются отдельные НО. Для деталей длиной до 1000мм не менее двух СО. Для деталей длиной более 1000 мм СО вскрывают шагом от 300 до 500 мм. СО вскрываются неравноудаленно от торцов деталей во избежание неправильной установки ее в сборке узла. Около каждого СО на шаблонах наносится информация «СО». При сверлении сборочных отверстий на шаблонах соблюдать увязку комплекта шаблонов по контуру и СО.

СО = ОКРУЖНОСТЬ

Для совмещения шаблона и детали, а иногда шаблона и заготовки устанавливаются специальные упоры (Рисунок 31).

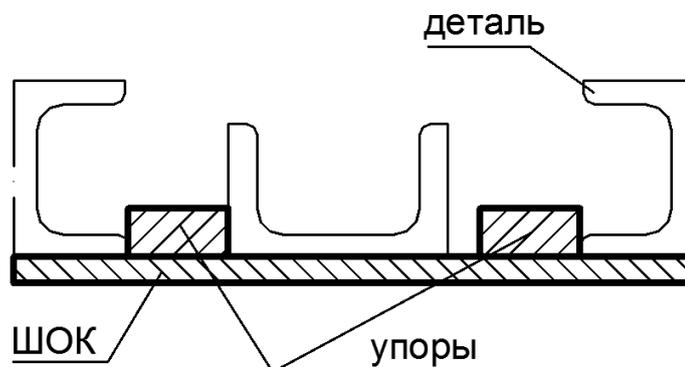


Рис. 31. Установка упоров на листовых шаблонах

УПОРЫ = {УПОР}

УПОР = ОКРУЖНОСТЬ

Основными базовыми элементами при описании шаблонов с геометрической точки зрения являются сплайн, дуга и отрезок:

ШАБЛОН = {**КОНТУР**, (**ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ**) **ОБРАБОТКА**},
{СПЕЦИФИКАЦИЯ}
ОБРАБОТКА = 'ПРОРЕЗКА' | 'ТРАВИРОВКА' | 'ДОКУМЕНТ'.
КОНТУР = {**ЭЛЕМЕНТ**}.
ЭЛЕМЕНТ = **ОТРЕЗОК** | **ДУГА** | **СПЛАЙН** | **ПОЛИЛИНИЯ**.
СПЕЦИФИКАЦИЯ = {**СИМВОЛ**}, **ПОЗИЦИРОВАНИЕ**
ОТРЕЗОК = 'L1(' **ТОЧКА1** ' , ' **ТОЧКА2** ')'.
ПОЛИЛИНИЯ = 'PL (' {**ТОЧКА1** ' , ' **ТОЧКА2** ' , } ')'.
ДУГА = 'A1(' **ТОЧКА1** ' , ' **ТОЧКА2** ' , ' **ЦЕНТР** ' , ' **РАДИУС** ') | **ОКРУЖНОСТЬ**.
ОКРУЖНОСТЬ = 'C1(**ЦЕНТР** ' , ' **РАДИУС** ')'.
СПЛАЙН = 'SP (' **ТОЧКА** ' , ' {**ТОЧКА** ' , } **ТОЧКА** ')'.

С точки зрения обработки основными элементами является линейная и круговая интерполяция в командах управления станка:

ОТРЕЗОК = [**G0 X ЧИСЛО Y ЧИСЛО**] **G1 X ЧИСЛО Y ЧИСЛО**. // **G0** – точка входа, **G1** – точка выхода, **X** и **Y** – координаты точек

ДУГА = [**G0 X ЧИСЛО Y ЧИСЛО**] (**G3 X ЧИСЛО Y ЧИСЛО I ЧИСЛО J ЧИСЛО** | **G4 X ЧИСЛО Y ЧИСЛО I ЧИСЛО J ЧИСЛО**). // **G3** – по часовой стрелки, **G4** – против часовой стрелки, **I** и **J** – координаты центра круговой аппроксимации.

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'

2.2. Элементы жизненного цикла шаблона и его состояния

Жизненный цикл шаблона в металле в рассматриваемой предметной области состоит из следующих этапов:

- *Подготовка к проектированию* – вспомогательная операция, не отображаемая не в модели шаблона, не в ЧПУ программе. Включает в себя формирование и получение задания, настройку рабочего места и т.д.
 - Получить задание
 - Настроить рабочее место

- Запустить UGs

Состояние шаблона на данном этапе – ведомость плазого-шаблонной оснастки (ВПШО) – документ, формализующий требования к будущему шаблону.

- *Поиск подходящей модели в библиотеке шаблонов для адаптации* – использование уже накопленного опыта проектирования для снижения временных затрат, и унификации решений.
 - Войти в библиотеку
 - Сформировать метрики для поиска
 - Найти наиболее подходящую модель

Состояние шаблона на данном этапе – найденный аналог из библиотеки, содержащий сходственный конструктивно – технологические признаки.

- *Адаптация модели* – внесение корректив в существующую модель, в том числе и с использованием библиотеки типовых элементов.
 - Вызвать справочник
 - Добавить типовой элемент
 - Изменить геометрию
 - Изменить информацию

Состояние шаблона на данном этапе – доработанная электронная модель, содержащая все необходимые атрибуты и конструктивные элементы.

- *Оформление документации* – оформление бумажных или электронных документов для производства и эксплуатации объекта проектирования.
 - Оформить РТК

На данном этапе шаблон отображается в качестве уникального документа.

- *Формирование программы обработки* – отображение твердотельной модели шаблона в кодах управления станком с ЧПУ.
 - Проверить геометрию
 - Сформировать программу обработки

Шаблон преобразуется в программу обработки, для изготовления, например, на станке лазерного раскроя.

- *Экспериментирование над моделью* – возможность просмотра результатов проектирования до этапа лазерной резки металла.
 - Провести эксперимент
 - Доработать модель
 - Доработать программу обработки

Формируется экспериментальная модель, на базе вопросно-ответной среды, на базе которой принимаются решения о доработке и коррекции электронной модели шаблона, а также программы обработки.

- *Подготовка к вырезке на станке ЧПУ* - наладочные операции на станке.
 - Подготовить станок
 - Загрузить заготовку на станок
- *Вырезка на станке* – выполнения программы ЧПУ.
 - Выполнить программу обработки на станке

Состояние шаблона на данном этапе – конструкция, вырезанная из двухмиллиметрового стального листа.

- *Контроль и приемка шаблона в эксплуатацию* – вычисление величины отклонения геометрии шаблона от теоретического описания. Принятие решения о годности шаблона.
 - Проконтролировать шаблон на КИМ
 - Доработать шаблон
- *Эксплуатация шаблона* – в зависимости от целей, с которыми изготавливался шаблон, он может быть использован для производства деталей, сборки их или для контроля геометрии.
 - Контролировать деталь с помощью шаблона
 - Вскрыть отверстия с помощью шаблона

В общем виде операции с шаблоном представлены на Рисунке 32.

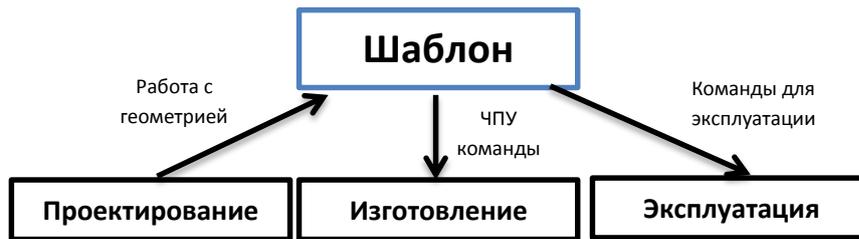


Рис. 32. Операции с шаблоном на разных этапах жизненного цикла.

2.2.1. Картографическое представление шаблона

Для отображения географических наборов данных используется механизм слоев. Каждый слой ссылается на набор данных и определяет, как этот набор будет показан при помощи символов и текстовых надписей. При добавлении слоя на карту указывается набор данных для него, символы карты и свойства надписей. Каждый документ карты составляется путем добавления набора слоев. Слои отрисовываются в определенном порядке, слои, находящиеся внизу списка, отображаются первыми, остальные слои – сверху.

Слой представляет географические данные, например, определенную тематику данных. Примеры слоев карты:

- Озера и реки
- Рельеф
- Почвы
- Дороги
- Транспорт
- Названия географических объектов
- Административные границы
- Земельные участки
- Контуры зданий
- Линии электропередач
- Спутниковые фотографии
- Фотоизображения местности
- Организации

В итоге карта представляется как наложение векторных и текстовых слоев на графический ресурс (Рисунок 33).

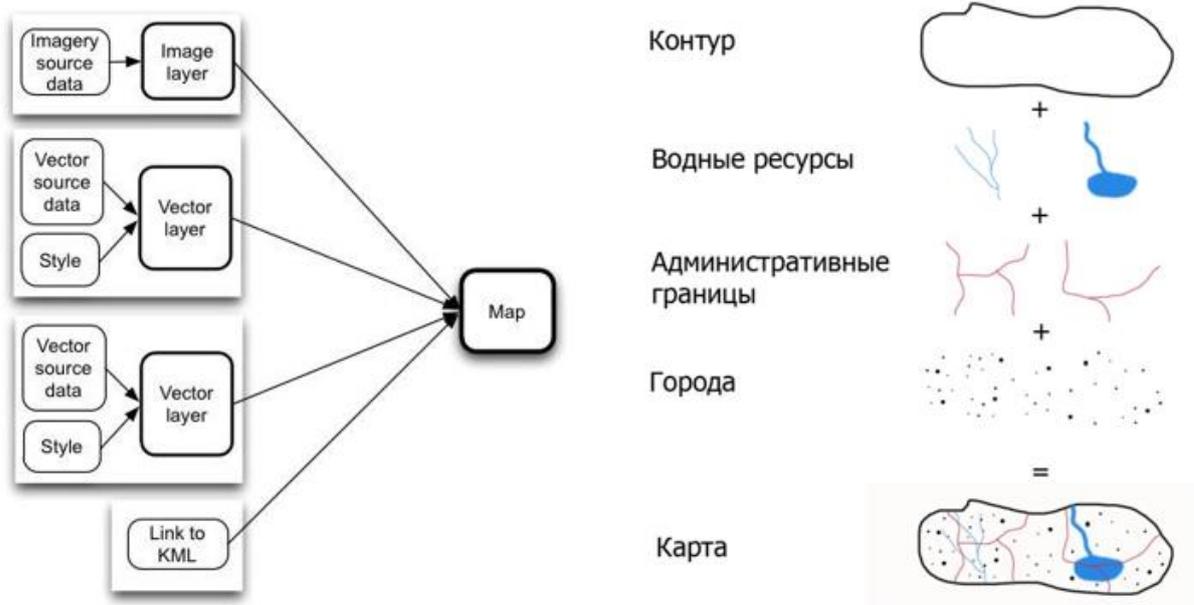


Рис. 33. Структурное представление карт

По аналогии с представлением карт различными слоями, шаблон разбивается на множества геометрических элементов и текстовых блоков.

$$sh = [S^k(Z)] \cdot [S^k(G_{det})] \cdot [S^k(G_{add})] \cdot [S^k(I_{text})] \cdot [S^k(G_{oe})] \quad (2)$$

S^k – функция объединения элементов в картографический слой.

\cdot – 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 .

$$Z = G(x_0, y_0) \quad \begin{cases} x_0 > a \\ y_0 > b \end{cases} \quad (3)$$

G_{det} – нормативное представление исходной детали, это подразумевает что с 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

$$G^D \Rightarrow \{Gr_i^{HOD}\} \cup \{Gr_i^{HID}\} \cup \{Gr_i^{PD}\} \quad (4)$$

В процессе эксплуатации шаблона он может выполнять две основные функции: контроль изготовленной детали или разметка для изготовления детали, вскрытия в ней отверстий. В обоих случаях перенос геометрии должен быть осуществлен с обеспечением определенной погрешности $\pm\Delta$, определенной на стадии проектирования. Поэтому геометрические элементы, полученные с детали должны укладываться в отклонение.

$$G^D\{L(x_1, y_1, x_2, y_2)\} \xrightarrow{\Delta} G^{SH}\{L(x_1 \pm \Delta, y_1 \pm \Delta, x_2 \pm \Delta, y_2 \pm \Delta)\} \quad (5)$$

$$G^D\{C(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3)\} \xrightarrow{\Delta} G^{SH}\{C(x_1 \pm \Delta, y_1 \pm \Delta, x_2 \pm \Delta, y_2 \pm \Delta, x_3 \pm \Delta, y_3 \pm \Delta)\} \quad (6)$$

$$G^D\{SP(x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, \dots, x_{n-1}, y_{n-1}, x_n, y_n)\} \xrightarrow{\Delta} G^{SH}\{SP(x_1 \pm \Delta, y_1 \pm \Delta, x_2 \pm \Delta, y_2 \pm \Delta, x_3 \pm \Delta, y_3 \pm \Delta, \dots, x_{n-1} \pm \Delta, y_{n-1} \pm \Delta, x_n \pm \Delta, y_n \pm \Delta)\} \quad (7)$$

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

Также состоит из внешних, внутренних контуров и рисок

$$G_{add} = \{Gr_i^{HOAdd}\} \cup \{Gr_i^{HIAAdd}\} \cup \{Gr_i^{PAAdd}\} \quad (8)$$

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

$$I_{text} = \{Text_i(x_1, y_1, x_2, y_2, f_j, t)\} \quad (9)$$

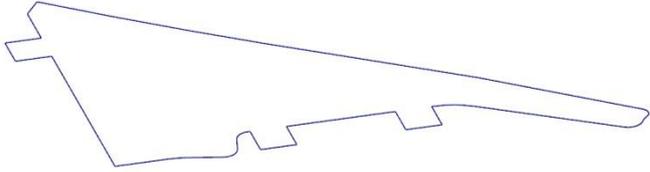
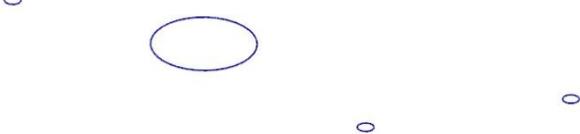
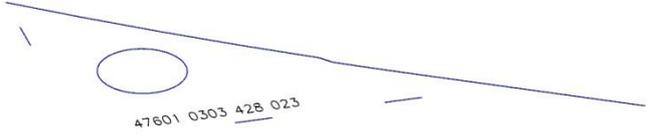
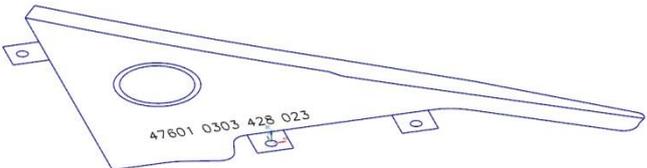
$S^k(G_{oe})$ - дополнительные элементы, связанные с шаблоном (пластины, упоры и т.д.)

Таким образом, уточнённое описание будет выглядеть (Рисунок 34)

$$sh = [S_1^k(Gr^Z(\emptyset))] \cdot [S_2^k(\{Gr_i^{HOD}\} \cup \{Gr_i^{HOAdd}\})] \cdot [S_3^k(\{Gr_i^{HID}\} \cup \{Gr_i^{HIAAdd}\})] \cdot [S_4^k(\{Gr_i^{PD}\} \cup \{Gr_i^{PAAdd}\})] \cdot [S_5^k(\{Text_i(x_1, y_1, x_2, y_2, f_j, t)\})] \cdot [S_6^k(G_{oe})] \quad (10)$$

Таблица 3.

Разделение контура шаблона на слои

S_1^k – слой заготовки	
S_2^k – слой наружного контура для вырезки	
S_3^k – слой внутреннего контура для вырезки	
S_4^k – слой с рисками	
S_5^k – информационный слой	
S_6^k – дополнительный слой	
	

Профили, расположенные на S_2^k, S_3^k, S_4^k должны обладать свойством **Nap** – **направленность** (каждая следующая кривая в контуре должна начинаться с конца предыдущего).

Профили, расположенные на S_2^k, S_3^k должны дополнительно обладать свойством **Zam** – **замкнутость** (координаты начала и конца профиля должны совпадать)

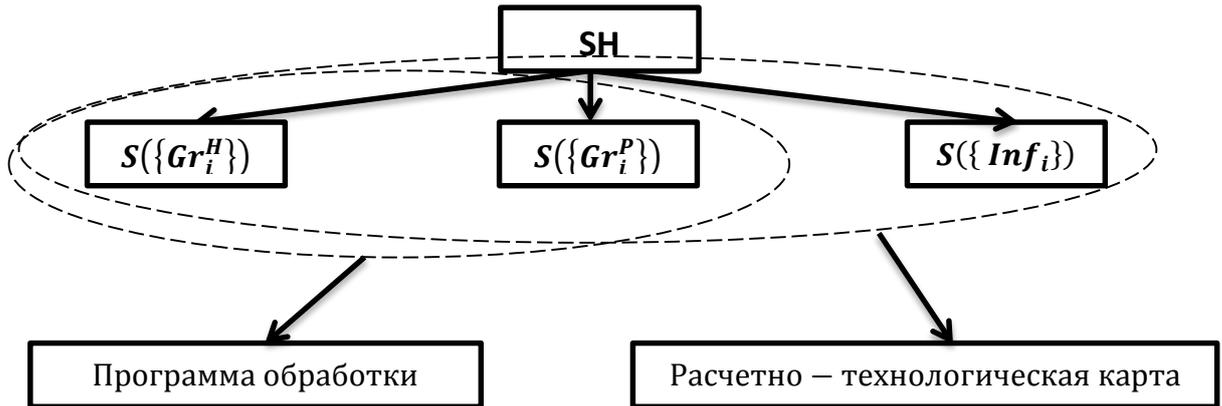


Рис. 34. Применение слоев при проектировании шаблонов

Кроме разбиения на слои для оформления документации и формирования элементов программы лазерной обработки, этот способ позволяет разделить элементы по состояниям, на которых происходит обращение. Сокращение количества структурных элементов, позволяет решать поставленную задачу без потери внимания (Рисунок 35).

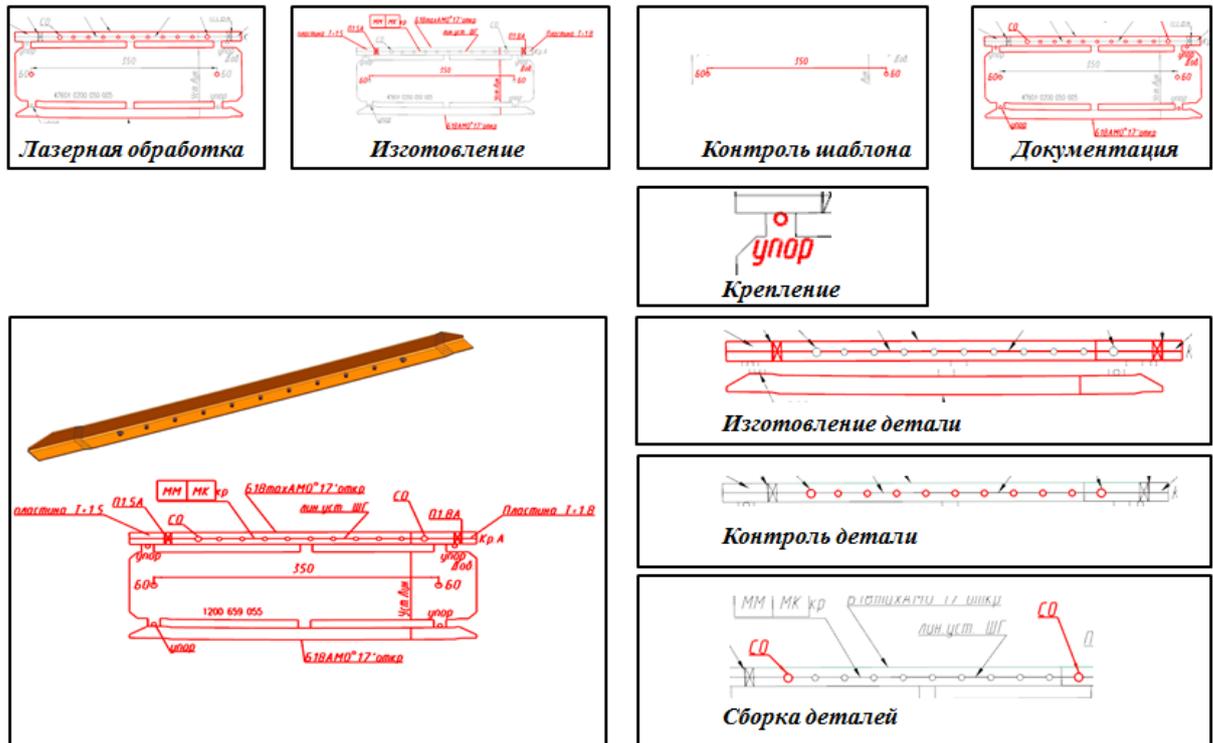


Рис. 35. Применение слоев для изображения различных состояний

2.2.2. Язык лазерной резки

Высокую трудоемкость имеет и процесс составления управляющих программ, на этом этапе инженер-программист подготавливает информацию для обработки, большая часть которой попадает на станок, минуя рабочего. Но в свою очередь сложность составления программы на порядок выше, чем для универсального станка.

Станки с ЧПУ, в том числе и лазерные, управляются машинными кодами называемыми G-кодами. Общий список основных кодов управления станков с ЧПУ приведен в таблицах 4, 5, 6.

Таблица 4.

Подготовительные ЧПУ команды

G10	Задать новые координаты для начала координат	G10 X10 Y10 Z10;
G15	Отмена полярной системы координат	G15 X15. Y22.5; G15;
G16	Полярная система координат (X радиус Y угол)	G16 X15. Y22.5
G17	Выбор рабочей плоскости X-Y	

G18	Выбор рабочей плоскости Z-X	
G19	Выбор рабочей плоскости Y-Z	
G20	Режим работы в дюймовой системе	G90 G20;
G21	Режим работы в метрической системе	G90 G21;
G40	Отмена компенсации радиуса инструмента	G1 G40 X0. Y0. F200
G41	Компенсировать радиус инструмента слева от траектории	G41 X15. Y15. D1 F100
G42	Компенсировать радиус инструмента справа от траектории	G42 X15. Y15. D1 F100
G43	Компенсировать длину инструмента положительно	G43 X15. Y15. Z100. H1 S1000 M3
G44	Компенсировать длину инструмента отрицательно	G44 X15. Y15. Z4. H1 S1000 M3
G49	Отмена компенсации длины инструмента	G49 Z100
G94	F (подача) — в формате мм/мин.	G94 G80 Z100
G95	F (подача) — в формате мм/об.	G95 G84 X0. Y0. Z-10. R3 F1.411
M03	Начать вращение шпинделя по часовой стрелке	M3 S2000
M04	Начать вращение шпинделя против часовой стрелки	M4 S2000

Таблица 5.

ЧПУ команды для обработки

G00	Ускоренное перемещение инструмента (холостой ход)	G0 X0 Y0 Z100;
G01	Линейная интерполяция	G01 X0. Y0. Z100 F200;
G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке	G02 X15. Y15. R5 F200;
G03	Круговая интерполяция против часовой стрелки	G03 X15. Y15. R5 F200;

Таблица 6.

ЧПУ команды для завершения обработки

M00	Приостановить работу станка до нажатия кнопки «старт» на пульте управления, так называемый «безусловный технологический останов»	G0 X0 Y0 Z100 M0
M01	Приостановить работу станка до нажатия кнопки «старт», если включён режим подтверждения останова	G0 X0 Y0 Z100 M1
M02	Конец программы, без сброса модальных функций	
M05	Остановить вращение шпинделя	M5

2.2.3. Формальное описание графических примитивов

1. Отрезок прямой параметрический записывается уравнениями и параметрами вершин t_s и t_e .

$$X = X_0 + At;$$

$$Y = Y_0 + Bt.$$

1-L (x_1, y_1, x_2, y_2) - построение отрезка через начальную и конечную точку

2. Дуга и в частности окружность параметрически описываются уравнениями параметрами углов t_s и t_e .

$$X = X_0 + R \cos(t);$$

$$Y = Y_0 + R \sin(t).$$

2- A ($x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$) – дуга по 2 конечным точкам и координате центра;

2.1- A2 ($x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$) – дуга по 2 конечным точкам и дополнительной точке на дуге.

2.2- A3 (x_1, y_1, x_2, y_2, R) – дуга по 2 конечным точкам и радиусу.

Частным случаем дуги является окружность

2.3- C (x_1, y_1, R) – окружность по координате центра и радиусу;

2.4- C2 ($x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$) – окружность по 3 точкам на дуге.

2.5- C3 (x_1, y_1, x_2, y_2) – окружность по координатам центра и дополнительной точке на дуге.

3. Прямоугольник.

3- R ($x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$) – прямоугольник через 3 точки

3.1 – R2 (x_1, y_1, x_2, y_2) – прямоугольник через 2 точки диагонали, стороны совпадают с координатными осями.

4. Полилиния – состоит из нескольких связанных отрезков прямых.

4- P (x₁, y₁, x₂, y₂ ... x_n, y_n)

5. Контур – непрерывный направленный набор дуг окружностей и отрезков прямых, в каждом смежном сегменте начало второго элемента совпадает с концом первого.

5- PR ({x₁, y₁} ... {x_{n-1}, y_{n-1}, x_n, y_n}) – контур из n элементов, отрезок задается одной парой координат, а дуга точкой и координатами центра.

5.1- PR2 ({x₁, y₁} ... {x_{n-1}, y_{n-1}, x_n, y_n}) – замкнутый контур, конечная и начальная точка совпадает.

2.3. Описание расширения языка WIQA.Net

Выбор системы **WIQA** обосновывается возможностью описания процесса проектирования не только с точки зрения машинных команд, но и формального описания последовательности действий человека на языке близком к естественному.

Для использования уже имеющегося потенциала интерпретаций и моделирования, что есть в WIQA, требуется разработать псевдокодовый язык, согласованный с существующим. Создание расширения языка LCMT (Language conceptual modeling template).

Язык WIQA может быть дополнен различными расширениями, одним из которых является расширения описывающей процесс проектирования шаблонов. r - существующие расширения.

Для решения задач исследования моделируемых объектов необходимо разработать расширение языка

$$LWIQA = LBASE [RAS]$$

$$RAS = r / LCMT.$$

В это расширение включаются операторы SOCMT (operator CMT), SDCMT (data CMT). SOCMT состоит из подмножества подготовки, моделирования, поиска в библиотеки, адаптации, лазерной резки.

Специфика процедур наследуется из WIQA и представлена следующим образом:

Lb = {Процедура}

Процедура=Процедура_моделирования_геометрии|процедура_вырезки

Если рассматривать листовой шаблон с точки зрения обработки на станке лазерной вырезки то он представляет собой набор замкнутых контуров для сквозной вырезки $[Kh1, Kh2, \dots, Khn]$, а также набор линий для нанесения рисок $[D1, D2, \dots, Dn]$. К этому описанию еще добавляется информация, не наносимая на шаблон, но отображаемая в расчетно-технологической карте (РТК).

Так как на этапе обработки, станок лазерной резки оперирует по факту с двумя геометрическими примитивами (линией – G1, дугой-G2 и G3), а в свою очередь модель, построенная в UG NX, состоит из наследников класса Curve (кривая), это Arc (дуга), Line(линия), Spline (различные виды сплайнов), первоначально требуется аппроксимировать сплайны в дуги с заданной точностью, для этого используется команда «Упростить сплайн».

Если рассматривать непервичный набор линий и дуг, то каждый элемент будет преобразовываться следующим образом.

Таблица 7.

Связь псевдокодовых и ЧПУ команд

<i>Элемент</i>	<i>Код обработки</i>
<i>Line(x1,y1,x2,y2)</i>	<i>G0 X x1 Y y1 F2000 G1 X x2 Y y2 F1130</i>
<i>Arc (x1,y1,x2,y2,x3,y3)</i>	<i>G0 X x1 Y y1 F2000 G3 X x2 Y y2 I x3 J y3 F1130</i>

В таком случае если начальные координаты следующего элемента совпадают с конечными координатами предыдущего, то код G0 не требуется, а если не совпадают, то это ведет к потерям времени на холостое передвижение лазерной головки. Для снижения времени на позиционирование предлагается сначала по возможности объединить элементы в контуры, а после этого искать минимальный путь обхода этих контуров с помощью модификации задачи коммивояжера. Эта активность

реализуется соответственно командами «*Сбор набора линий в контур*» и «*Найти минимальную траекторию обхода*»

Контур состоит из упорядоченной последовательности координат элементов (дуг и прямых), каждая, из последующих в которой имеет началом конец предыдущего элемента. В описании сквозных вырезов все выделенные контуры должны обладать свойством замкнутости – начинаться и заканчиваться из одной точки. Для описания рисок такое свойство не требуется.

Для работы со станком используются специфичные операторы, отражающие команды для подготовки и настройки, а также команды для его эксплуатации и обслуживания.

Таблица 8.

Набор псевдокодовых команд

Настроечные команды	Эксплуатационные команды
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>подготовить к настройке</i> 2. <i>настроить движение лазерного луча</i> 3. <i>включить питание</i> 4. <i>подсоединить охлаждающие шланги</i> 5. <i>включить компрессоры</i> 6. <i>очистить машину</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>разместить лист материала</i> 2. <i>настроить мощность</i> 3. <i>поиск начальной точки</i> 4. <i>оптимизация контура</i>

Для вырезки контура шаблона применяется следующая методика:

Прочитать список объектов.

1. **Объединить** объекты согласно принадлежности к группе (внешний контур, внутренний контур, риски, информация).
2. Если среди **объектов** есть отличные от линий и дуг, пометить их как требующие упрощения, иначе **Перейти** к п.5.
3. **До тех пор**, пока есть помеченные объекты, для каждого из них **подобрать** соответствующую процедуру упрощения.
4. **Применить** процедуру упрощения кривой.
5. **Объединить** объекты в каждой группе в направленные полилинии.
6. **Выбрать** группу внутренних контуров.
7. **Установить мощность** станка для сквозного реза.
8. **Найти** точку начала реза и **перейти к ней на холостом ходу**.

9. Если объект длиннее Δ разбить его на меньшие объекты.
10. Прорезать составляющую. Если конец контура, то найти следующий контур и перейти к п. 8 иначе перейти к п. 9.
11. Выбрать группу рисок.
12. Установить мощность станка для рисок.
13. Найти точку начала реза и перейти к ней на холостом ходу.
14. Если объект длиннее Δ разбить его на меньшие объекты.
15. Прорезать составляющую.
16. Если конец контура, то найти следующий контур и перейти к п. 14 иначе перейти к п. 15.
17. Выбрать внешний контур.
18. Установить мощность станка для сквозного реза.
19. Найти точку начала реза и перейти к ней на холостом ходу.
20. Если объект длиннее Δ разбить его на меньшие объекты.
21. Прорезать составляющую.
22. Если не конец перейти к п. 21

Псевдокодированное описание модели шаблона, формируемой в UG NX, позволяет связать два отображения шаблона – на этапе трёхмерного моделирования и проектирования, а также в виде кодов микропрограммы управления станком лазерной резки (Рисунок 36 и Рисунок 37) [157].

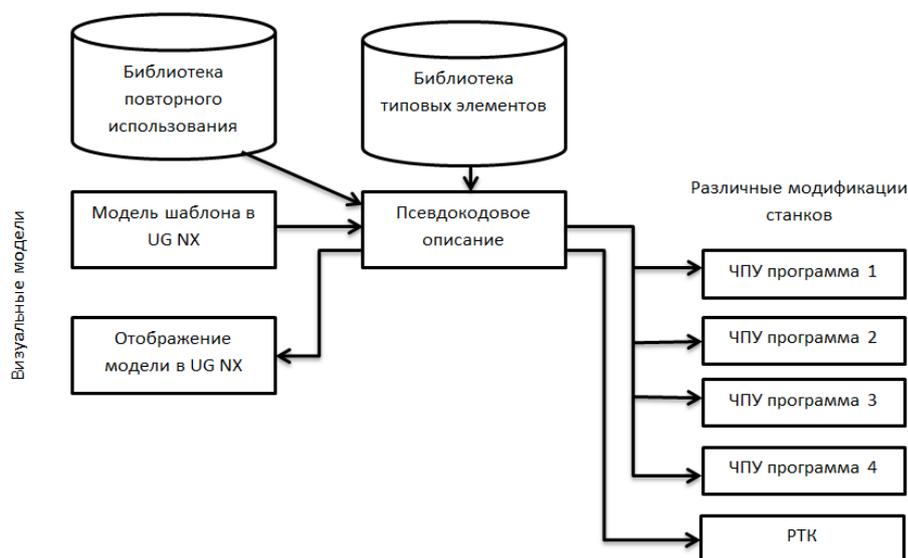


Рис. 36. Универсальность псевдокодированного описания

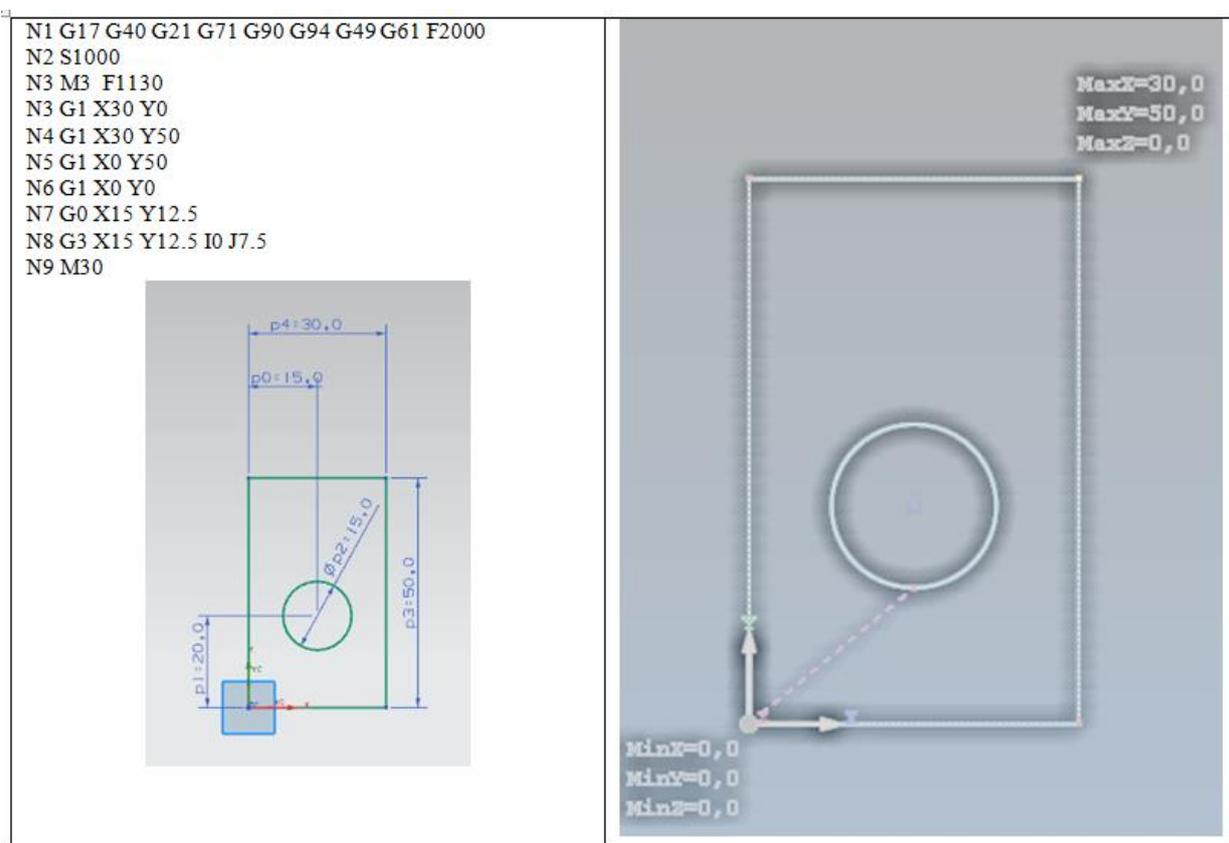


Рис. 37. Соответствие между графическим описанием и ЧПУ командами

Кроме этого существует информация, непосредственно связанная с шаблоном, например:

- Шифр изделия
- Шифр шаблона, детали
- Номер извещения на запуск чертежа
- Марка материала детали, серия действия
- Источник изготовления шаблонов
- Номер цеха изготовителя шаблонов
- Номер тех. Задания
- Дата изготовления и табельный номер рабочего
- Клеймо БТК.

Псевдокодированное описание шаблона позволяет получить из него как программы обработки с учетом специфики конкретного станка, так и сопроводительную документацию на шаблон.

Порядок действий

1. Установить плоскость XY
2. Отключить коррекцию на радиус инструмента

3. Выбор метрической системы мер
4. Выбор абсолютной системы координат
5. Установка подачи в мм/мин
6. Отключение компенсации на длину инструмента
7. Установка холостой подачи 2000 мм/мин
8. Установка рабочей подачи 1130 мм/мин
9. Установка мощности 1000 единиц
10. Рез линии от точки (0,0) до точки (30,0)
11. Рез линии от точки (30,0) до точки (30,50)
12. Рез линии от точки (30,50) до точки (0,50)
13. Рез линии от точки (0,50) до точки (0,0)
14. Быстрое перемещение в точку (15, 12.5)
15. Круговая интерполяция до точки (15,12.5) против часовой стрелки с центром смещенным на вектор (0, 7.5)
16. Завершение работы

Псевдокодированное описание

1. НАЧАЛО ()
2. СКВОЗНОЙ_РЕЗ
3. {
4. ПОЛИЛИНИЯ по массиву точек
 $\{(0,0),(30,0),(30,50),(0,50),(0,0)\}$
5. ОКРУЖНОСТЬ С ЦЕНТРОМ (15,20) и диаметром 15
6. }
7. КОНЕЦ()

Для более сложного шаблона, содержащего риски и информацию, псевдокодированное описание будет выглядеть следующим образом (Рисунок 38 и Рисунок 39):

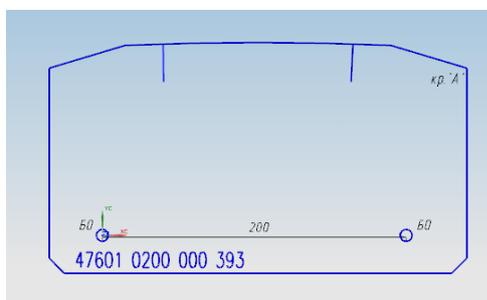


Рис. 38. Графическое представление

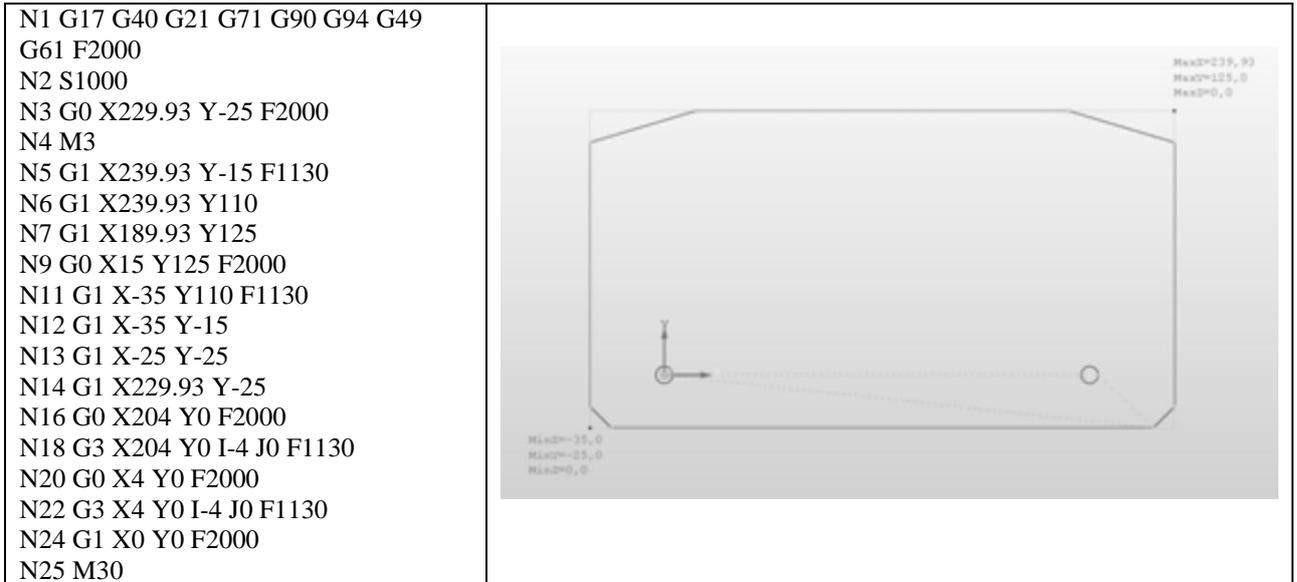


Рис. 39. ЧПУ представление геометрии

Псевдокодированное описание:

1. НАЧАЛО ()
2. СКВОЗНОЙ РЕЗ
3. {
4. ПОЛИЛИНИЯ по массиву точек
5. ОКРУЖНОСТЬ С ЦЕНТРОМ () и диаметром 8
6. ОКРУЖНОСТЬ С ЦЕНТРОМ () и диаметром 8
7. }
8. РИСКИ
9. {
- 10.ЛИНИЯ()
- 11.НАНЕСТИ НОМЕР ДЕТАЛИ
- 12.}
- 13.ИНФОРМАЦИЯ
- 14.{
- 15.ОБОЗНАЧЕНИЕ БО
- 16.ОБОЗНАЧЕНИЕ КРОМКИ
- 17.}
- 18.КОНЕЦ()

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.

2.4. Библиотека повторного использования

В мировой практике наблюдается общая тенденция перехода от технологий, основанных на интенсивном индивидуальном труде по созданию изделий, удовлетворяющих предъявляемым специфическим требованиям одного конкретного применения, к технологиям основанных на планируемых работах по разработке повторно-используемых элементов [142].

Одним из применений озвученного подхода, является организация на предприятии библиотеки, содержащей успешные решения.

В библиотеке хранятся так называемые прецеденты, аккумулирующие уже созданные решения при проектировании. В нее могут собираться как решения, принимаемые до внедрения системы, так и прецеденты, формируемые в ходе адаптации решений под новые условия. Такая база, накапливающая множество заданий, моделей, документов, программ обработки, вопросно-ответных протоколов позволяет оценивать каждое новое решение и принимать лучшее из доступных на данный момент.

Организация библиотеки нацелена на выявление систематизацию и сохранение тех решений, которые уже были полезны в конструкторском бюро и могут стать полезными в будущем. Таким образом, тиражируемые решения, накапливают предыдущий положительный опыт и могут быть представлены различным образом: в виде графического представления, документов, стандартов, руководств, образцов, библиотеки фрагментов программных кодов, а также различных инструментов, например, макросов и встраиваемых в САПР программ. После формирования библиотеки целесообразно встраивать их в процесс проектирования как полезный ресурс.

Модуль перехода соотносится в трансляции списка объектов из UG NX в WIQA.Net, в которой мы видим такой же шаблон, как и в САПР пусть и упрощенный.

Для каждого конструктивного элемента может быть уже разработана программа обработки в составе другого листового шаблона, так что

возникает необходимость разработки методики создания базы элементов технологической подготовки производства, накапливающей реализации разработки шаблонов на основе номенклатуры изделий рассматриваемого производства авиационного предприятия.

Все операторы языка могут быть интерпретированы как в программе обработки, так и на трехмерной модели. Для обратного преобразования модели детали в NX к псевдокодovому описанию используется представление в виде списка объектов LIST {} (Рисунок 40).

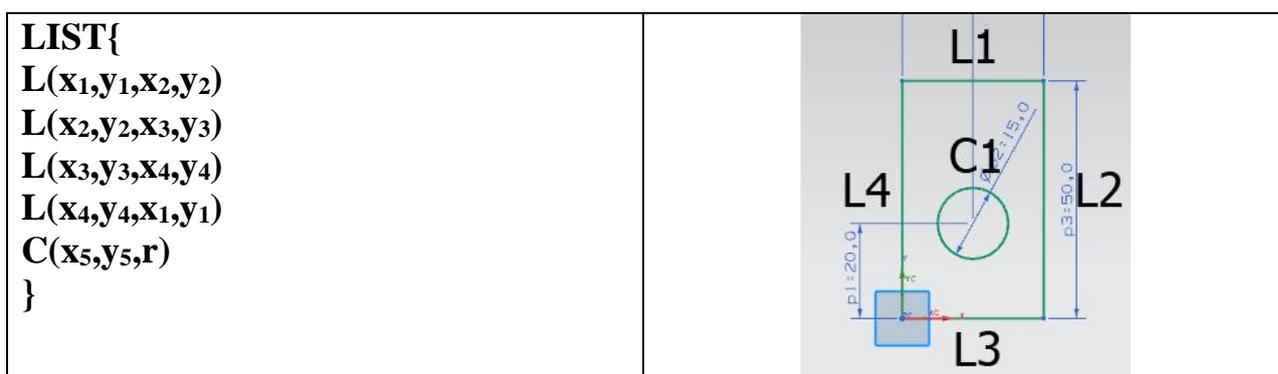


Рис. 40. Представление контуров как список составляющих элементов

Взаимодействовать с накопленным опытом позволяют псевдокодовые программы, создаваемые на языке LWIQA, предназначены для интерпретации проектировщиком, как «интеллектуальным процессором». Инструментарий вопросно-ответной среды позволяет осуществлять построение алгоритмов решения задач на естественно-профессиональном языке в его алгоритмическом представлении. Под контролем интерпретатора псевдокодовых программ может работать проектировщик, исполняя роль интеллектуального процессора.

Разнообразные задачи, а также проблемы, связанные с их решением, заставляют проектировщика принимать творческие решения, применяя процедуры адаптации $[\alpha_i]$ для хранимых прецедентов.

Псевдокодovое описание процесса проектирования шаблонов позволяет меньше полагаться на память, а действовать согласно отработанным типовым решениям, но в случае необходимости среда WIQA

позволяет в любой момент прервать заложенную последовательность, для проявления творческой активности, и возврата обратно к типовому решению.

Представление методик проектирования различных шаблонов в библиотеке с помощью псевдокодowego описания, позволяет ориентировать эти прецеденты на решение задач адаптации, производя настройку библиотечных единиц для применения их в качестве экземпляров.

Экспериментирование в процессе решения определенного круга задач при проектировании шаблонов, подразумевает, что экспериментатор ориентируется на собственный индивидуальный опыт и опыт, накопленный в библиотеке, обоюднo дополняющие и совершенствующие друг друга. Обращение к частному опыту необходимо в тех случаях, когда задача адаптации связана с реализацией нового в этом направлении требования, в остальных случаях требуется оперативное обращение к правильно отобранным прецедентам из базы с помощью процедур поиска $[φ_i]$ наиболее подходящего шаблона в библиотеке. Организация библиотеки и структура хранимых прецедентов показана на Рисунке 41.

Рассмотрим подробнее специализированные модели, составляющие прецедент, ориентированные на жизненный цикл проектирования шаблона (Рисунок 41):

1. **текстовая модель P^T** - формализация постановки задачи на проектирование, обычно представляет собой специализированный документ ВПШО;
2. **вопросно-ответная модель P^{QA}** – протокол, соответствующий решению поставленной задачи, включает в себя заполнение вопросно – ответного протокола для формирования итогового документа;
3. **логическая модель P^L** – конкретизирует типовую логическую схему построения модели шаблона;
4. **графическая модель P^G** – представляет результат проектирования в виде наглядного изображения, сформированного в редакторе диаграмм WIQA. Также используется для оформления итогового документа РТК;
5. **модель исходного кода P^I** – псевдокодowego представление модели шаблона по слоям;
6. **исполняемый код P^E** – представление шаблона, ориентированное на лазерную обработку, то есть в командах управления станком раскроя.

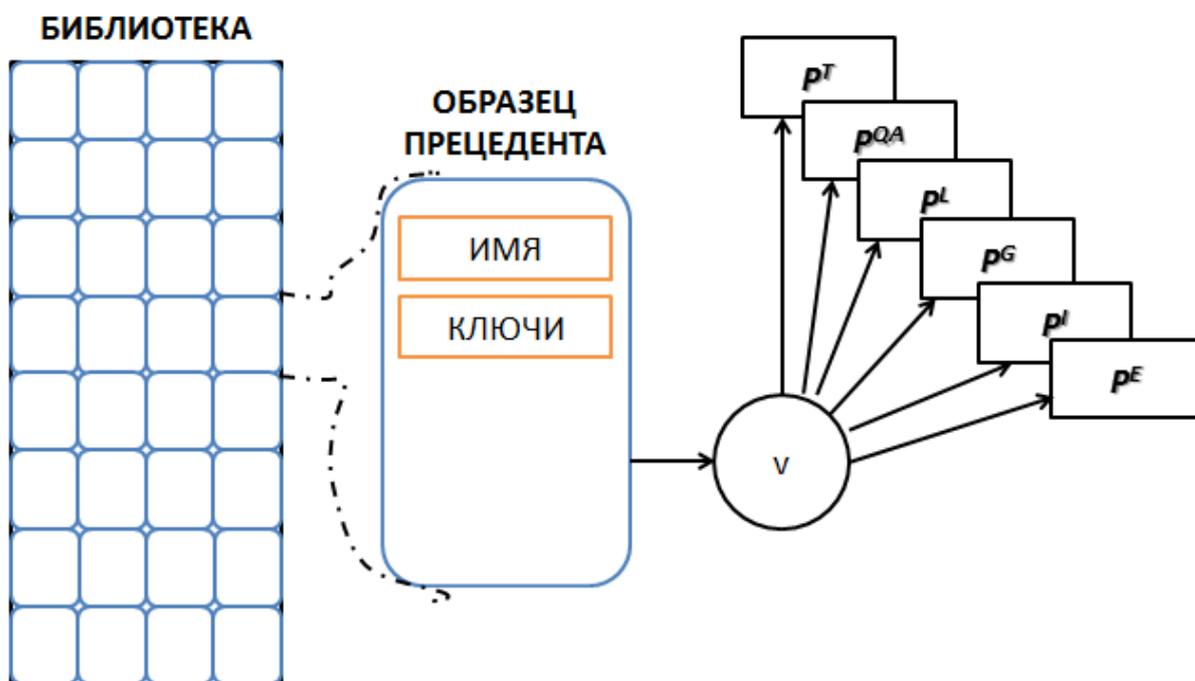


Рис. 41. Формирование библиотеки прецедентов

Следует отметить, что при перспективных методах проектирования конструктора и технологи в своей работе обязаны оперировать с большим количеством информации об успешных и неуспешных опытах, а при хранении основной информации в виде бумажных, разрозненных справочников – зачастую хранить информацию в голове, опираясь в большей части на интуицию, чем на строгие формулы и правила.

Переход от бумажного архива документов, фиксирующих только конечные результаты бесконтрольно и внесистемно пополняющегося, с использованием по желанию конкретного исполнителя к единой компьютерной базе знаний всего подразделения (цеха, завода) планомерно пополняющейся на основе отслеживания мировых тенденций, представляющей доступ к возможностям компьютерного представления – дерево построение, обновление, совместный доступ, доступ по ЛВС на рабочие места всех задействованных исполнителей. Наиболее удобной является база знаний, представленная гипертекстовым справочником,

организованным в локальной сети бюро, цеха, предприятия и поэтому доступным в качестве справочно-методического материала для всех участников. Это позволяет иметь единый глоссарий терминов и единое представление о составляющих процесса проектирования шаблонов, и кроме этого позволяет использовать базу знаний при обучении новых сотрудников. Таким образом внедрение общего нормативного справочника позволяет избежать затрат на ввод, хранение, обработку дублирующей информации, в идеальном случае, информация о сущности должна быть введена в систему один раз и в следующие моменты предоставляться по запросу.

Выводы и рекомендации по второй главе

1. При модернизации существующих методов проектирования шаблонов для авиационных изделий, особое место занимает формализация этого процесса, с выделением основных объектов, характеристики которых являются основой информационных потоков.
2. Унификация формального описания типовых элементов и самих шаблонов в целом позволит получить полезный эффект в виде экономии времени, и повышении надежности работы эргатической системы (Проектировщик - САПР) или в целом повышении трудоемкости.
3. В состав WIQA включен расширяемый язык псевдокодированного программирования L^{WIQA} , для описания состояний жизненного цикла шаблона было добавлено расширение **LCMT**.
4. Для возможности организации библиотеки повторного использования и снижения зависимости процесса проектирования от человеческих, программных или аппаратных факторов необходимо организовать интерпретацию псевдокодированных моделей с трехмерными моделями САПР и управляющими программами ЧПУ.

Глава третья. Методическое обеспечение процесса проектирования конфигурируемых шаблонов листовых деталей

3.1. Общий процесс проектирования

Основываясь на стандарте предприятия можно выделить основную последовательность операций при проектировании шаблонов.

1. На стадии КТПП запускается ВПШО, оформленное согласно ТИ 687.25200.00022. Запросы на оснастку составляют технологи цехов-потребителей, после чего они передаются в отраслевые технологические отделы. Технологи отраслевых отделов заполняют форму ВПШО в БДЭОИ на основании извещения УГК.

2. В соответствии с планом от УГК, службой главного технолога отд. 790 подготавливается согласно ТИ электронные технологические модели, с учетом всех требований, заложенных в ВПШО.

3. Далее конструктор КБ ПО цеха 141 на основе ВПШО и ЭМТ приступает к проектированию ЭМ ШО.

4. Руководствуясь ТИ и СТП ЗАО «Авиастар-СП» конструктор создает электронную модель шаблона в САД-системе UG NX 7.5, с которой впоследствии формируются файл DXF, служащий для вырезки шаблона на лазерном станке, и файл STEP для контроля вырезанного шаблона на КИМ.

5. Также конструктором заполняется РТК, включающая эскиз шаблона и ТТ.

6. РТК передается в ПДБ, которое вносит изготовление ШО в план и оформляет заявку на вырезку шаблона

7. Файл DXF передается оператору лазерного станка, который наиболее оптимально размещает шаблоны на листе, после чего они вырезаются в металле

8. После вырезки шаблон вместе с программой STEP передается на КИМ, где осуществляется выявление отклонений изготовленного шаблона в металле от ЭМ ШО. В случае недопустимых отклонений, если таковые могут быть исправлены вручную, шаблон передается слесарю, если нет - оснастка аннулируется.

9. Внесенная в реестр РТК передается нормировщику в БТЗ, который устанавливает норму на изготовления данной оснастки.

10. После контроля на КИМ шаблон вместе с РТК передается слесарю на участок для нанесения технической информации с эскиза шаблона, установления пластин упоров, покраски и пр.

11. По окончании работ слесарь сдаёт шаблон на проверку контроллеру БТК. В случае выявления брака шаблон отправляется на доработку, а в РТК вносится отметка о всех необходимых изменениях, либо отметка об аннулировании и перезапуске ШО.

12. Шаблон, прошедший проверку БТК, отправляется на промежуточный склад, после чего передается цеху-потребителю оснастки.

Диаграммы общего процесса проектирования шаблонов представлены на Рисунке 42, Рисунке 43, Рисунке 44.

Внутри подразделения процесс протекает следующим образом:

Для плазово-шаблонного отделения составляется план работы на каждый месяц. Планирование осуществляет планово-диспетчерское бюро цеха, исходя из общего количества конструкторов, работающих в плазовом отделении, и общего количества нормо-часов работы в заданном месяце, умноженное на определенный коэффициент.

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. Далее в БТЗ осуществляется нормирование в установленном порядке.

После регистрации и нормирования РТК поступает к мастеру на производственный участок. Здесь осуществляется изготовление оснастки по РТК на станке с ЧПУ или в ручном режиме.

Изготовленную оснастку контролируют. Затем на нее ставится клеймо бюро технического контроля, и она отправляется в цех-потребитель.

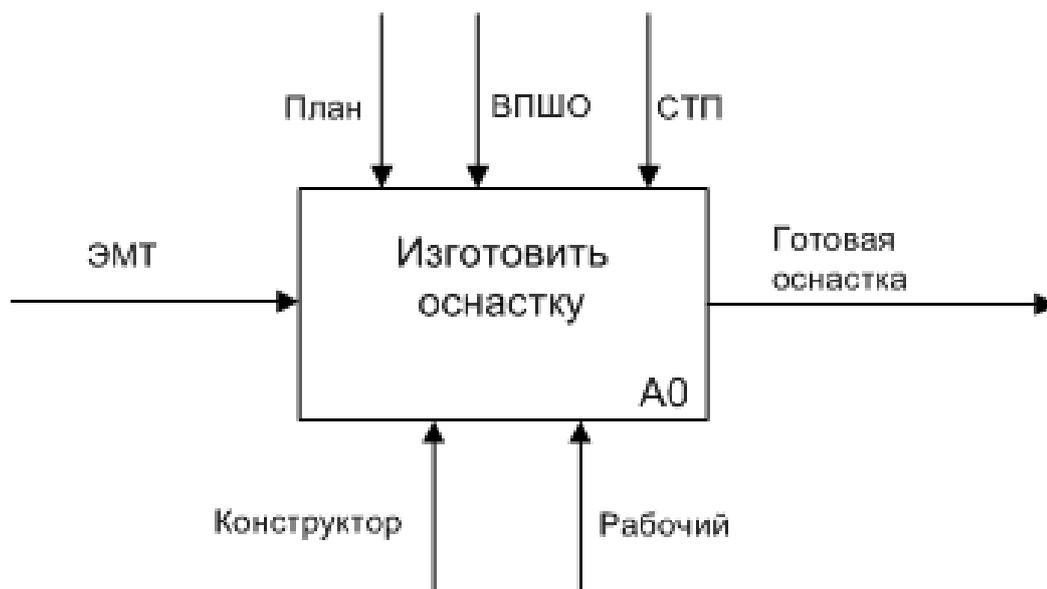


Рис. 42. Общая схема изготовления шаблона

Базовый процесс проектирования шаблонов по предлагаемой схеме имеет следующий вид:

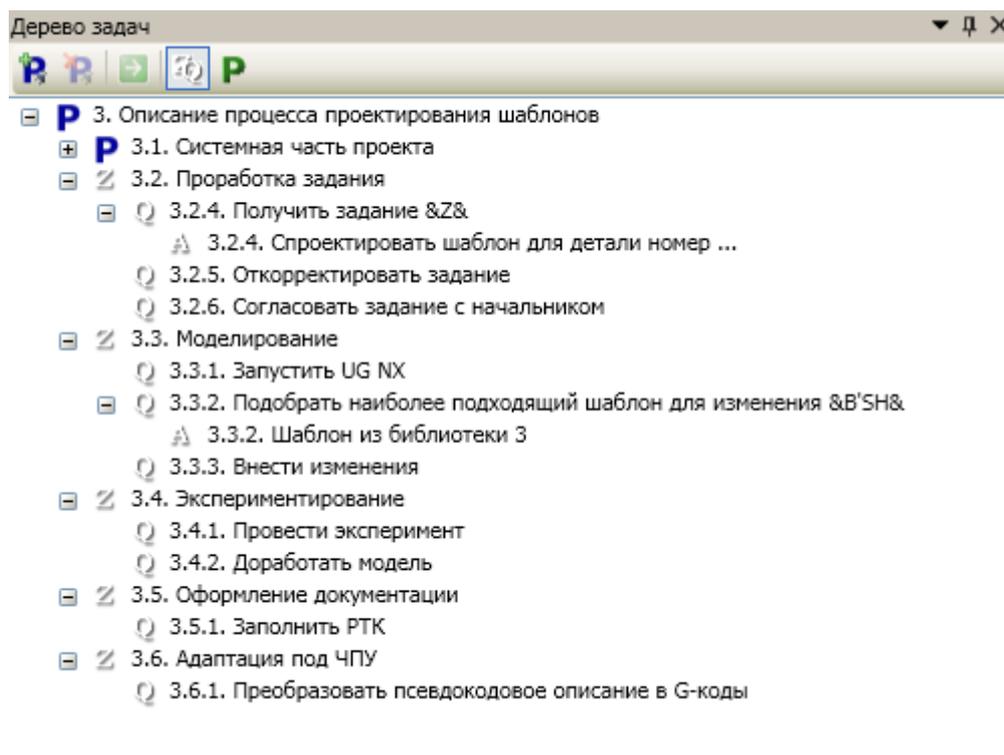


Рис. 43. Вопросно – ответное представление процесса проектирования шаблонов

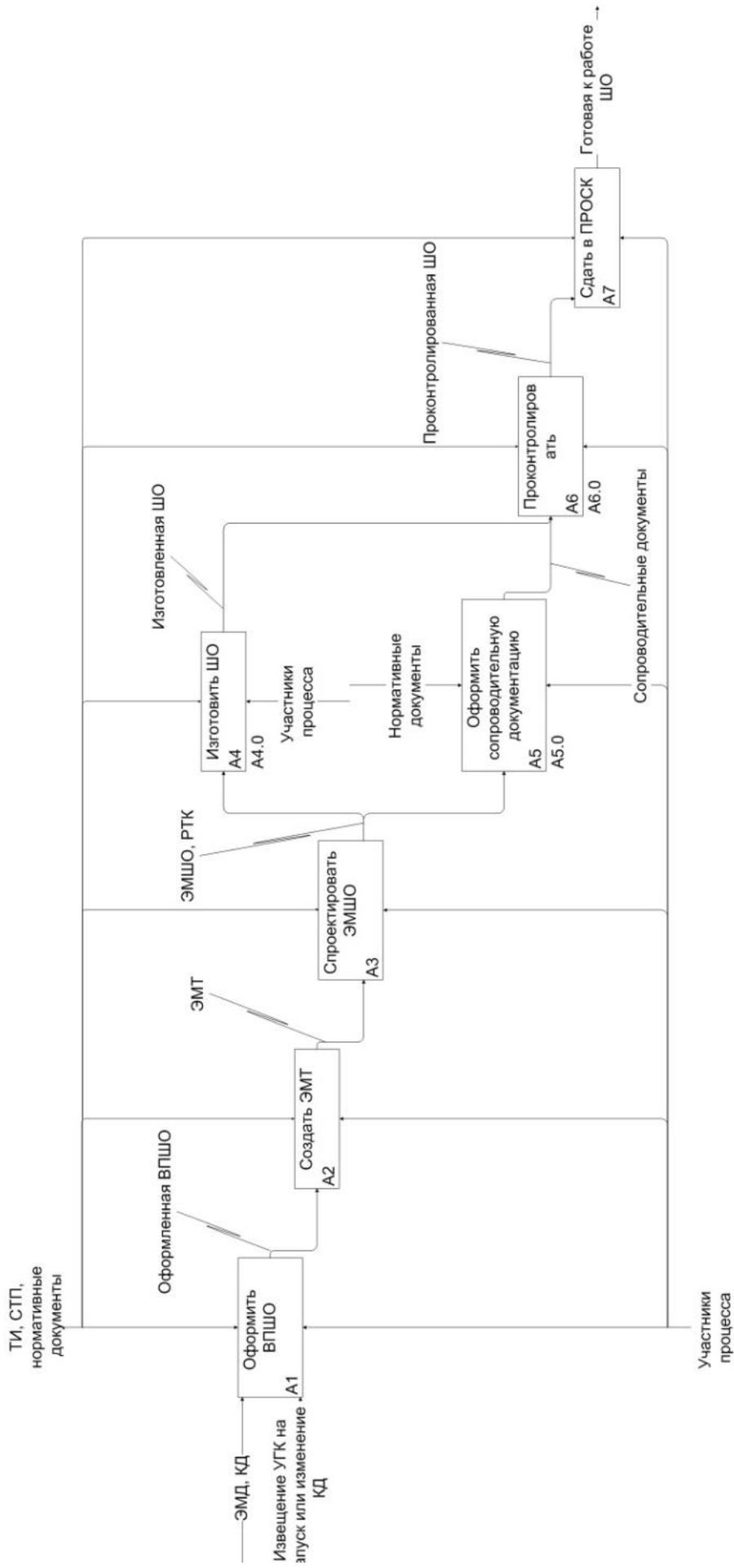


Рис 44. Общий процесс проектирования

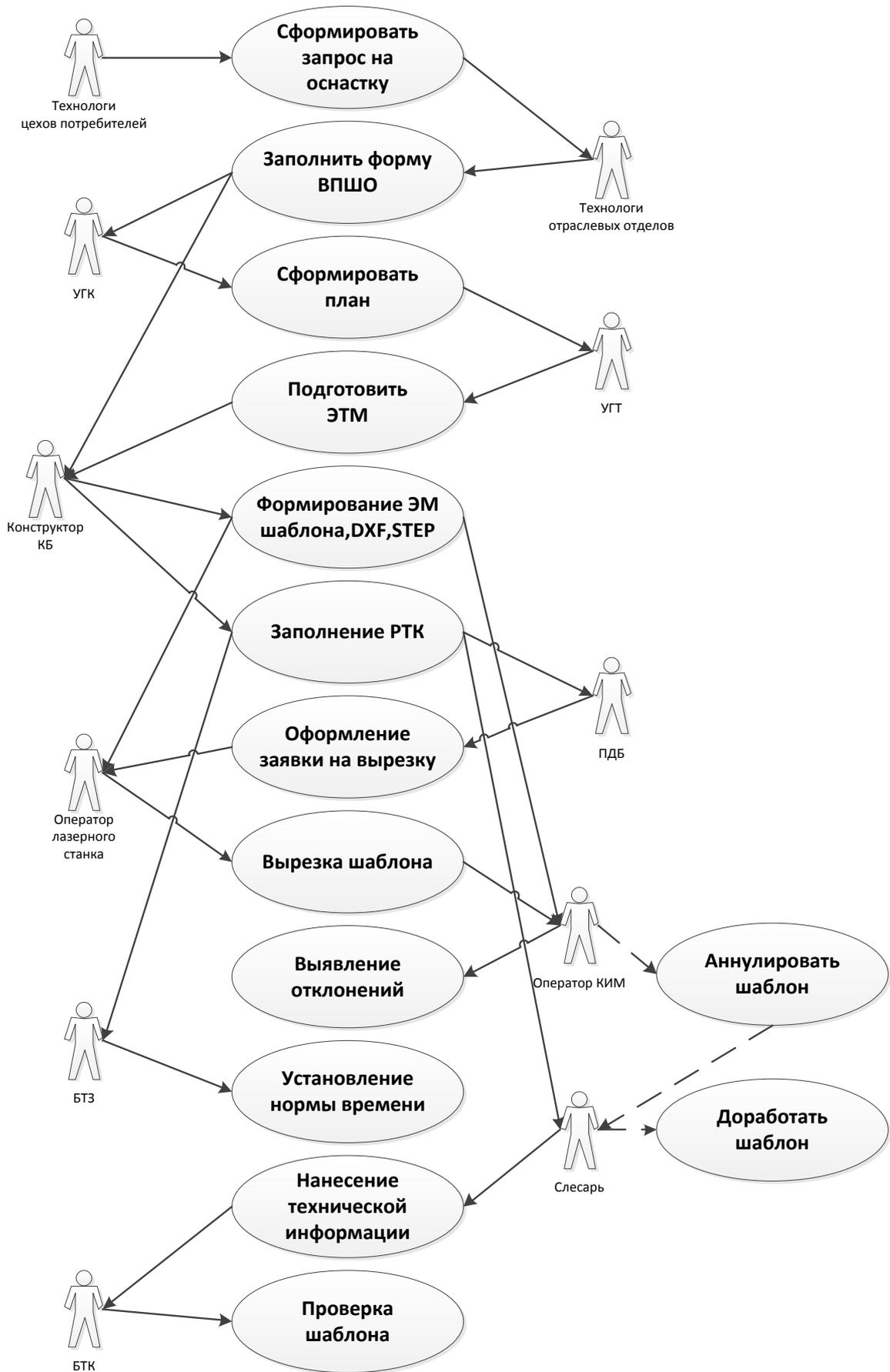


Рис. 45. Общий процесс проектирования

3.2. Концептуальное экспериментирование

Отображение процесса проектирования в вопросно-ответную память позволяет проводить концептуальное экспериментирование, что подразумевает возможность остановки на любом этапе проектирования, оценки принятого решения, многократной визуализации и возможности коррекции (Рисунок 46).



Рис. 46. Отображение задач на семантическую память

Первоначально выбирается наиболее подходящая заготовка из библиотеки, а работа с геометрией происходит непосредственно в САПР *Unigraphics*, на следующем этапе преобразованную модель можно подвергнуть экспериментам. Экспериментирование возможно в WIQA.NET, с помощью описания действий в псевдокоде и их исполнения. Чтобы провести эксперимент необходимо описать весь процесс целиком в WIQA.NET, с прерыванием и переходом в другие программы (UGs и др.), а также возвратом обратно. Такой эксперимент можно произвести с целью повторения сколько угодно раз для любых заинтересованных лиц. Это

позволит оптимизировать процесс, изъять узкие места. Последним этапом формируются программа обработки шаблона на станке лазерного раскроя.

Особенности семантической памяти инструментария WIQA раскрывают структура и содержание ячейки памяти, представленной на Рисунке 47 и ориентированной на загрузку вопросно-ответных единиц (вопроса или ответа, или их композиции).



Рис. 47. Структура ячейки вопросно-ответной памяти

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 LWIQA. Программы на этом языке могут исполняться с помощью пооператорного (пошагового) интерпретатора, интерпретатора с компиляцией выбранных групп операторов и компилятора, причем, проектировщик в таком исполнении исполняет роль «интеллектуального процессора», взаимодействующего с компьютерным процессором.

1. Выполнить работу «Создать новый проект»
2. Выполнить работу «Проанализировать задание»
3. Выполнить работу «Определить тип проектируемого шаблона»
4. Выполнить работу «Запросить аналоги в библиотеке прецедентов»

5. Выполнить работу «Подготовить решения по адаптации»
6. Подготовить систему к итерационному решению
7. Выбрать задачу Z^{add}_m из множества задач адаптации $\{Z^{add}_m\}$, где m – индекс задачи.
8. Выполнить работу «Решить задачу» для задачи Z^{add}_m
9. Выполнить работу «Провести эксперимент» для решенной задачи Z^{add}_m
10. Если результаты эксперимента не соответствуют поставленным требованиям, то Перейти к очередной итерации по п. 6
11. Если множество задач $\{Z^{add}_m\}$, не пусто, то Перейти к очередной итерации по п. 7
12. Выполнить работу «Оформить документацию»
13. Выполнить работу «Подготовить программу для станка с ЧПУ»
14. Завершить проектирование

Для приведенной алгоритмической схемы, 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.

Основным источником прецедентов в библиотеку являются шаблоны, разрабатываемые в конструкторском бюро (рисунок 48).

После успешного применения прецедент подготавливается для повторного использования и добавляется в библиотеку совместно с ключевыми метриками для поиска. При необходимости модель выводится в результатах поиска, извлекается из библиотеки, адаптируется и измененная версия сохраняется как новый прецедент.

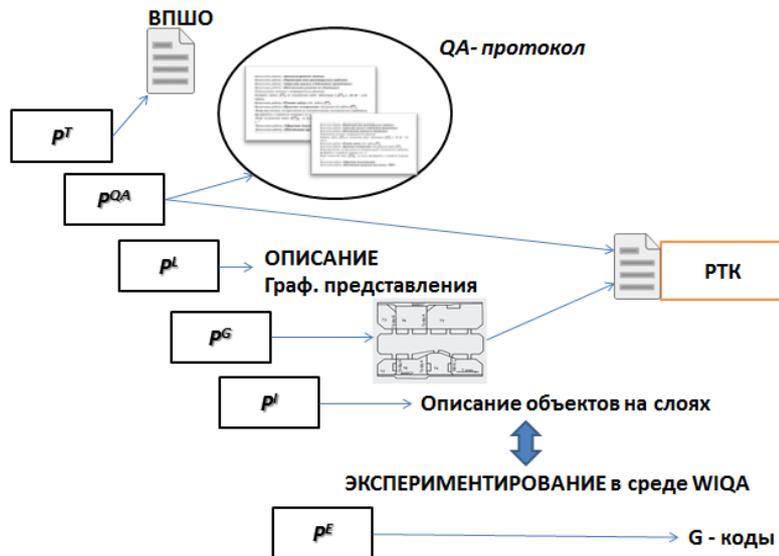


Рис. 48. Прецеденты в библиотеке шаблонов

Для использования инструментальных средств системы WIQA в дерево задач включаются внутренние технологические задачи в служебных целях. Такой тип задач помогает в процессе решения основных задач, например, предоставление возможности экспериментирования над концептуальными моделями в процессе проектирования шаблона. Моделирование задач в среде WIQA основывается на использовании основных конструктивных элементов «задача», «вопрос», «ответ», применяемых при описании решения задач на естественном языке (Z-, Q- и A- объекты). Автоматизация проектных решений в САПР представляется с помощью встроенных в систему языков, а визуализация на основе редактора диаграмм, подходящего для отображения различных решений (Рисунок 49).

При лазерной обработке в качестве элементарных составляющих возможны три вида линий:

- отрезок прямой;
- окружность;
- дуга окружности.

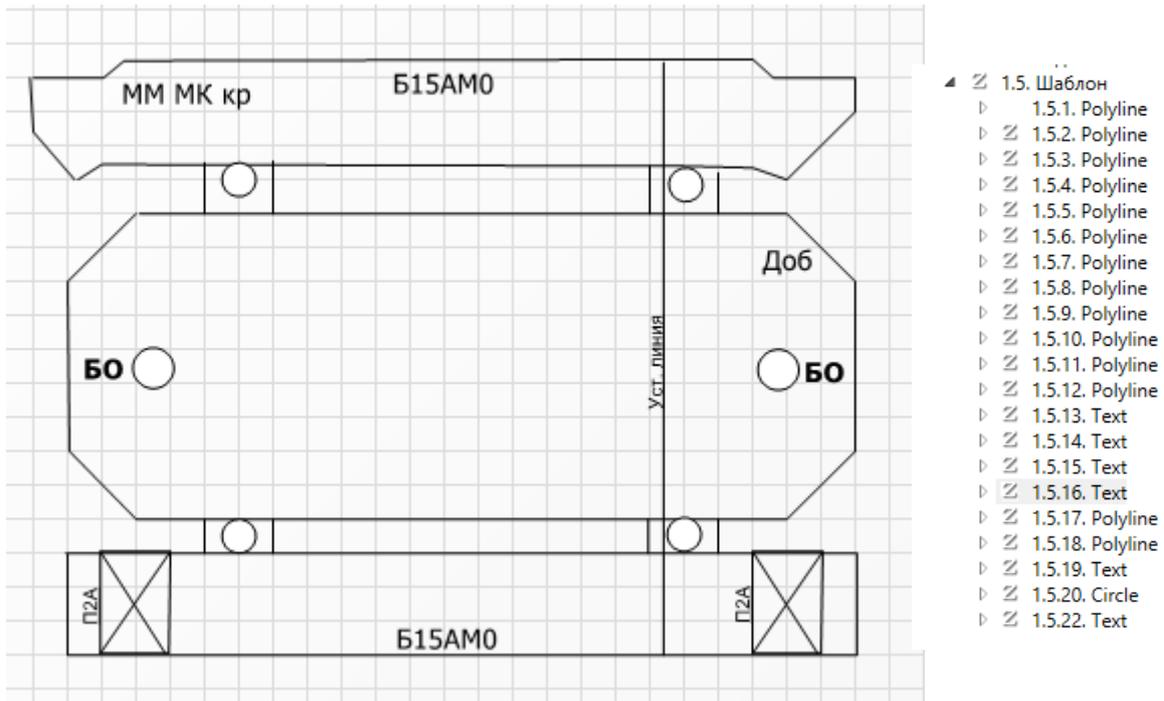


Рис. 49. Пример отображения шаблона в редакторе WIQA.Net

Более сложные кривые, формируемые САПР, например, сплайны, перед генерированием программы вырезки преобразуются в контур, состоящий из отрезков прямых и дуг окружностей соблюдая определенный допуск. Рассмотрим реализацию псевдокодовых программ имитации обработки для каждого варианта примитивных элементов, описанных выше.

Визуализация обхода и вырезки шаблона является вспомогательным экспериментальным инструментом. 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 UG 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.

Для описания ограничений на отрезок, достаточно указать начальную (x_1, y_1) и конечную (x_2, y_2) точки. А для динамического отображения хода лазерной резки необходимо разделить отрезок на n частей, каждая из которых не больше чем $\Delta l = \Delta t \times V$.

$$n = \frac{L}{\Delta l} = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}{\Delta l}; \quad (15)$$

$$\begin{cases} x_{\text{пр}i} = \frac{(x_2 - x_1) \times i}{n}; \\ y_{\text{пр}i} = \frac{(y_2 - y_1) \times i}{n}. \end{cases} \quad (16)$$

Промежуточные точки имеют соответственно координаты $(x_{\text{пр}1}, y_{\text{пр}1})$ и $(x_{\text{пр}2}, y_{\text{пр}2})$. Положение лазерного луча условно изображается треугольником.

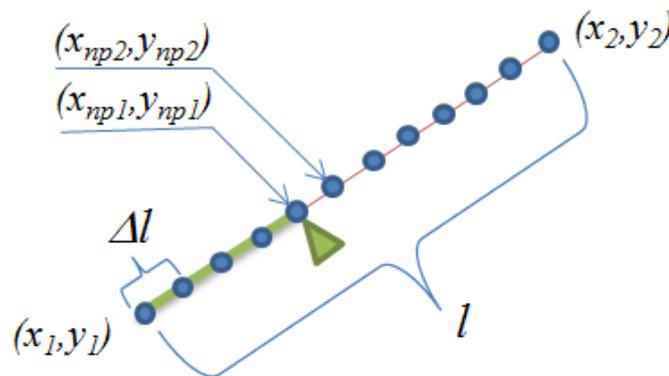


Рис. 50. Визуализация лазерной резки отрезка

В процессе экспериментирования проектировщик может включить пошаговый режим исполнения для прерывания и остановок на точках отрезка, дуги, сплайна. Также проектировщик может варьировать число n на которое разбивается исходный элемент геометрии.

Процедура визуализации пошаговой вырезки прямолинейного сегмента выглядит следующим образом:

```

&n& := 10      // Параметр детализации
&x1& := 250    // Начало линии
&y1& := 50     // Начало линии
&x2& := 200    // Конец линии
&y2& := 0      // Конец линии

PROCEDURE &CutLine&
1. &i& := 1
2. &xpr1& := &x1&
3. &ypr1& := &y1&
4. LABEL &L1&
5. IF &i& > &n& THEN GOTO &LEXIT&
6. &RES& := SplitLine (&x1&,&y1&,&x2&,&y2&,&i&,&n&)
7. &xpr2& := STR_SPLIT (&RES&, “;”, 1)
8. &ypr2& := STR_SPLIT (&RES&, “;”, 2)
9. DD_CreateLine(“Polyline”, “ShapeName = Poly&i&”, “X1= &xpr1&”, “Y1=
&ypr1&”, “X2= &xpr2&”, “Y2= &ypr2&”)
10. DD_Update(“ShapeName = Poly&i&”, “LineStyle = CutStyle”)
11. DD_Update(“ShapeName = LasKar”, “X = (&xpr1& + &xpr2&) / 2”, “Y =
(&ypr1& + &ypr2&) / 2”)
12. &i& := &i& + 1;
13. &xpr1& := &xpr2&
14. &ypr1& := &ypr2&
15. GOTO &L1&
16. LABEL &LEXIT&
ENDPROC &CutLine&

```

Для полной окружности описанием служат координаты центра (x_0, y_0) , радиус R , начальная точка - точка врезания (x_1, y_1) , соответственно для визуализации процесса раскроя необходимо разделить окружность на n частей, каждая из которых не больше чем Δl .

$$n = \frac{L}{\Delta l} = \frac{2 \times \pi \times R}{\Delta l}; \alpha_0 = \tan^{-1} \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}; \Delta \alpha = \frac{2 \times \pi}{n};$$

$$\begin{cases} x_{\text{пр}i} = \cos(\alpha_0 + i \times \Delta \alpha); \\ y_{\text{пр}i} = \sin(\alpha_0 + i \times \Delta \alpha). \end{cases} \quad (17)$$

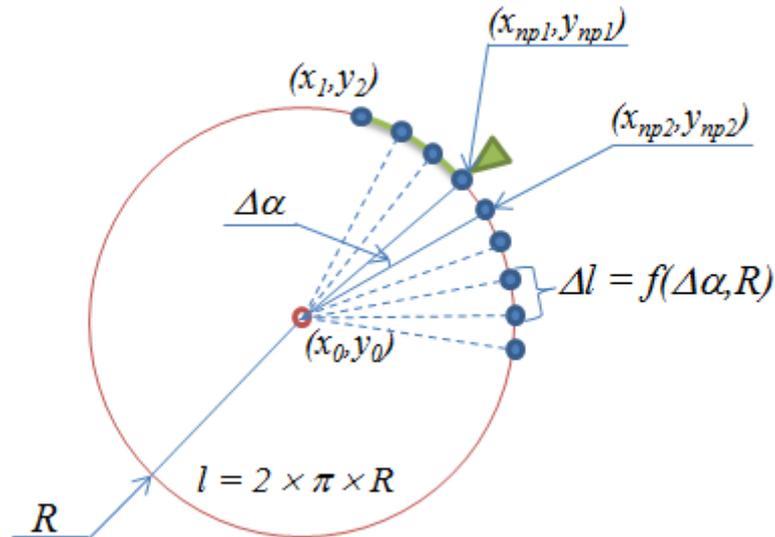


Рис. 51. Визуализация лазерной резки окружности

Процедура визуализации поэтапной вырезки окружности

```

&n& := 10      //Параметр детализации
&x1& := 400    //Точка входа луча
&y1& := 200    //Точка входа луча
&xc& := 200    //Центр окружности
&yc& := 0      //Центр окружности
&r& := 0       //Радиус окружности

PROCEDURE &CutCircle&
1. &i& := 1
2. &xpr1& := &x1&
3. &ypr1& := &y1&
4. LABEL &L1&
5. IF &i& > &n& THEN GOTO &LEXIT&
6. &RES& := SplitCircle(&x1&,&y1&,&xc&,&yc&,&r&,&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 &CutCircle&

```

Для дуги окружности вычисления аналогичные, только требуется вычислить координаты центра и радиус, так как дуга задается 3 точками.

$$x_0 = \frac{m_a \times m_b \times (y_1 - y_3) + m_b \times (x_1 + x_3) - m_a \times (x_2 + x_3)}{2 \times (m_b - m_a)};$$

$$y_0 = \frac{m_a \times m_b \times (x_1 - x_3) + m_b \times (y_1 + y_3) - m_a \times (y_2 + y_3)}{2 \times (m_b - m_a)};$$

$$m_a = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}; m_b = \frac{(y_3 - y_2)}{(x_3 - x_2)}.$$
(18)

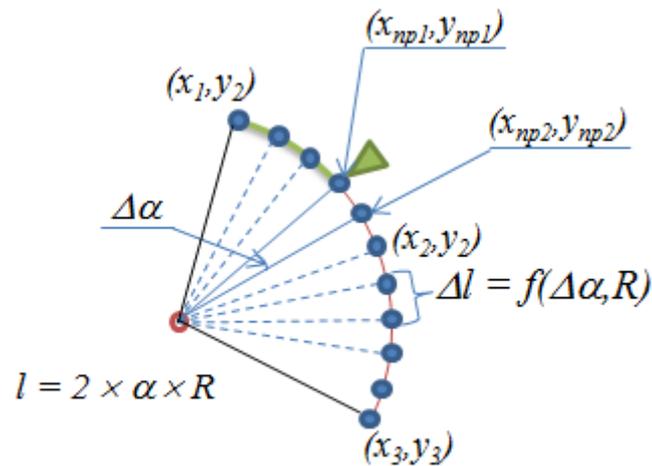


Рис. 52. Визуализация лазерной резки дуги

Для формирования программ для контуров, состоящих из нескольких типовых элементов, они обрабатываются последовательно (Рис. 53).

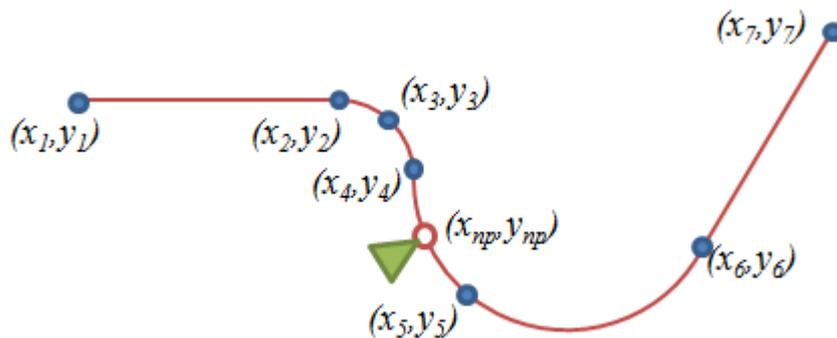


Рис. 53. Визуализация лазерной обработки контуров

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&

```

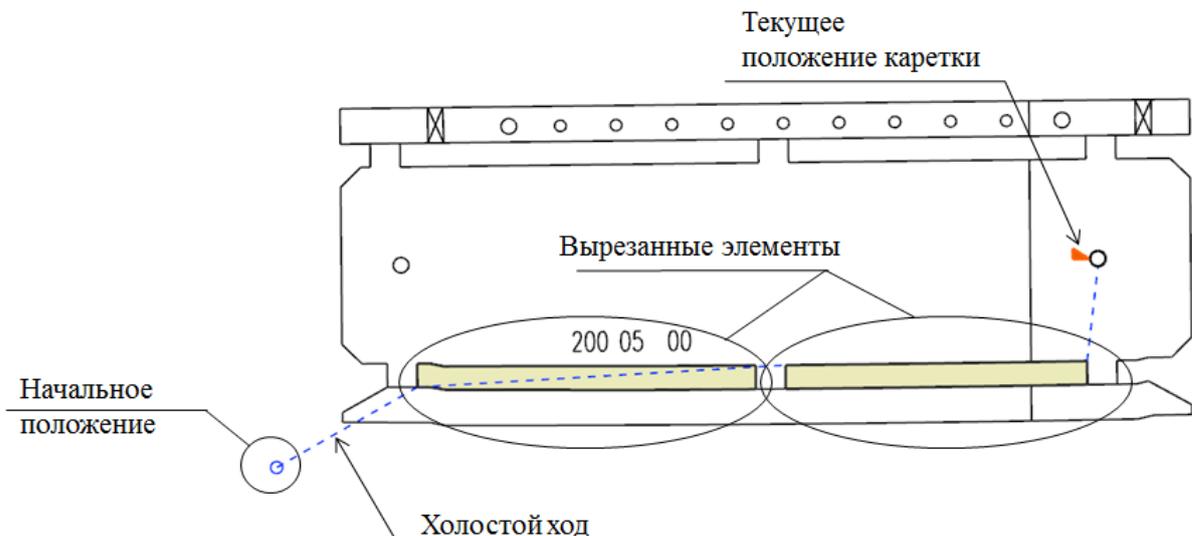


Рис. 54. Динамическое отображение обработки шаблона

На Рисунке 54 пунктирной линией представлено перемещение каретки излучателя лазерного луча в отключённом состоянии между вырезаемыми контурами. Холостой ход образуется как совокупность отрезков, проведенных между точками в которых происходит врезание в обрабатываемые контуры. Так как холостое перемещение выполняется по линейным траекториям, то расстояние, пройденное головкой, равно расстоянию между всеми точками врезания и вычисляется как сумма расстояний между n точками:

$$lindist = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2}, \quad (19)$$

где x_0, y_0 – координаты начальной точки.

Для сравнения холостого хода и рабочего можно рассчитать и перемещения при круговой интерполяции - пройденное инструментом, равно сумме длин i дуг между точками и вычисляется по формуле:

$$arcdist = \sum_{i=1}^n 2R_i \times \arcsin \left(\frac{\sqrt{(x_{i1} - x_{i2})^2 + (y_{i1} - y_{i2})^2}}{2R_i} \right) \quad (20)$$

где x_{i1}, y_{i2}, R_i – параметры i -той дуги.

Таким образом, можно рассчитать путь, пройденный головкой на рабочем ходу по отрезку или дуге, и холостой ход по прямым между точками врезания. Для определения общего времени обработки сумму расстояний на каждом ходу необходимо разделить на скорость перемещения.

$$t_{sum} = \frac{\sum S_i}{v_{work}} + \frac{\sum L_j}{v_{idl}} \quad (21)$$

где v_{work} и v_{idl} – скорость рабочего и холостого хода соответственно.

3.3. Описание методики документирования

Комплект ВПШО формируется программно в БД ЭОИ на основании извещения УГК на запуск или изменение КД на всю номенклатуру деталей (узлов), запускаемых извещением после заполнения КТС.

ВПШО оформляется технологами цехов и отделов-потребителей, БППП.

Цеха МСП, МКП, АСП заполняют графы:

- 3, 4, 5, 6, 8, 9, 13а, 14, 15а, 16, 17, 18, 19, 20

Цеха МСП, МКП, АСП заполняют графы:

- 3, 4, 5, 6, 8, 9, 12, 13, 13а, 14, 15, 15а, 16, 19, 20

Цеха МСП, МКП, АСП заполняют графы:

- 11, 12, 13, 15, 15а, 16

Бюро БПППП в ВПШО указывает графы:

- 14а, 16а, 20а, 21а, 22а

После окончания заполнения ВПШО в каждом подразделении, она должна быть подписана технологом цеха или соответствующего отраслевого отдела, при необходимости утверждена начальником цеха или отдела

Пример заполнения формы ВПШО приведён на Рисунке 55.

Ведомость ПШО	Дата регист	Обозначение детали		Код СТК	№ документа УГК		Выпущена взамен		Лист				
	2	4		6	8		10		12				
		47601.0307.880.249		476003024	476.03 1384				Лист				
Номер ВПШО	Изделие	Обозначение сб. единицы		ПГО	С серии по серии		Расцеховка		Листов				
1	3	5		7	9		11		13				
28368	476	47601.0307.880.001			101 - 9999;				1				
Позиция ВПШО	Наименование оснстки (сокр.) / значный код оснстки	13	Код цеха изготовителя / код оснстки	Код цеха потребителя / код затрат	Технические условия на изготовление оснстки				Условия поставки де тали				
14	15 / 23		16 / 24	17 / 25	18				19				
1			222	303					Поставка по ЭМД. Дать НО под крепеж со стеной .009 согласно ЭМСЕ.				
2			222	264					Подать с техушками 50x30 мм по одной длинной стороне шагом 1000 мм.				
3	ШР		141	222	по усл. ц. 303 и 264.								
4	ШКС		141	222	по усл. ц. 303 и 264.								
№ очереди	Срок проектир.	Срок изгот.											
20	21	22											
Изм. Лист № докум. Подпись Дата													
Отд 282 АСП		Отд 283 АСП		Тех. бюро МСП		Тех. бюро СЛП		Тех. бюро		Тех. бюро ЗШП	ПШО	ЗШП	Глав. Технолог

Ведомость ПШО	Дата регист	Обозначение детали		Код СТК	№ документа УГК		Выпущена взамен		Лист				
	2	4		6	8		10		12				
		47601.0307.880.249		476003024	476.03 1384				Лист				
Номер ВПШО	Изделие	Обозначение сб. единицы		ПГО	С серии по серии		Расцеховка		Листов				
1	3	5		7	9		11		13				
28368	476	47601.0307.880.001			101 - 9999;				2				
Позиция ВПШО	Наименование оснстки (сокр.) / значный код оснстки	13	Код цеха изготовителя / код оснстки	Код цеха потребителя / код затрат	Технические условия на изготовление оснстки				Условия поставки де тали				
14	15 / 23		16 / 24	17 / 25	18				19				
5	РФП2А		141	222	по усл. ц. 303 и 264.								
Изм. Лист № докум. Подпись Дата													
Отд 282 АСП		Отд 283 АСП		Тех. бюро МСП		Тех. бюро СЛП		Тех. бюро		Тех. бюро ЗШП	ПШО	ЗШП	Глав. Технолог

Рис. 55. Пример оформления ВПШО

Графы ВПШО заполняются на основе запросов технологов цехов основного производства технологами отраслевых отделов:

- графа 1 - № ведомости

- графа 2 - дата регистрации
- графа 3 – код изделия (476, 400)
- графа 4 - обозначение детали (пятнадцатизначный самолетный код). Оформляется на одну позицию или на позиции изображенной и зеркально отраженной детали.
- графа 5 - обозначение сборочной единицы (пятнадцатизначный самолетный код)
- графа 6 - код СТК (9 знаков) из КТС
- графа 7 – подгруппа опережения
- графа 8 - № документа УГК (извещение, ПИ, служебная записка и т.д.). Указывается полное буквенно-цифровое обозначение документа УГК.
- графа 9 - с серии по серию (0101 первое изделие, 0102 второе изделие и т.д.)
- графа 10 - выпущена взамен
- графа 11 - расцеховка
- графа 12 – номер листа ВПШО
- графа 13 – общее количество листов ВПШО
- графа 14 – сокращенное название оснастки (например, ШР – шаблон развертки)
- графа 14а – 13-значный код оснастки
- графа 15- код цеха-изготовителя из КТС
- графа 15а - код оснастки по классификатору
- графа 16 - код цеха-потребителя из КТС
- графа 16а – код затрат
- графа 17 – технические условия на изготовление оснастки
- графа 18 - условия поставки детали
- графа 19 – эскиз оснастки (при необходимости)
- графа 20 – эскиз детали (при необходимости)
- графа 20а – номер очереди
- графа 21а – срок проектирования ПШО
- графа 22а - срок изготовления ПШО с учетом рабочих графиков изготовления машин и групп опережения

Ниже приведен пример заполнения лицевой стороны формы расчетно-технологической карты используемой в практике авиастроения (Рисунок 56).

Расчетно-технологическая карта цеха 141 ПТО ВЕНRENS SIGMA ALPHA LASER										
Имя										
Код основного изделия	Наименование вида оснастки	Цех-потребитель оснастки	Номер детали	номер оснастки	Источник информации	Номер ТП	Марка материала детали	Размер и материал заготовки	Количество	Лист
476	ШР	222	47601.2263.060.201 - пок.	47601.2263.060.202 - отр.	ртек;эмт.		Лист Д16АТ 1.5	220x430 CT20п2	1	1
Номер изменения	Перекодировка оснастки в ПДБ				Номер нормативной карты		Комплект			
							ШР			
							ФРМБ			
9 Примечание										
1. Вскрыть 2 БО Ø8; Вскрыть 2 ШО Ø8; Вскрыть 4 СО Ø8 с дет 47601.2263.060.111/112; 407/408, СО армировать к/в Ø2,5 2. Всю информацию и необходимые риски нанести согласно эскизу РТК. 3. Контроль рабочего контура на КИМ.										
10										

Рис. 56. Пример оформления РТК. Лицевая сторона

В РТК указываются:

- код основного изделия (графа 1);
- тип оснастки (графа 2);
- цех-потребитель оснастки (графа 3);
- номер детали (графа 4);
- материал детали (графа 5);
- материал и габариты заготовки (графа 6);
- количество (графа 7);
- комплект (графа 8);
- примечания (вскрываемые в шаблоне отверстия и их количество; наносимая на шаблон информация; расположение пластин и упоров и т.д.) (графа 9);
- эскиз шаблонной оснастки (графа 10);
- номер изменения (графа 11);
- серия введения (графа 12);
- содержание изменения (графа 13);
- основание, номер извещения об изменении (номер ВПШО) (графа 14);
- исполнитель (графа 15);
- контролер (графа 16);
- начальник КБ ПО (графа 17);
- номер заказа (графа 18);

Графы "Серия введения", "Основание, номер извещения об изменении" заполняются на основании ВПШО. В случае доработки шаблона на обратной стороне РТК проставляется порядковый номер изменения, записывается сущность доработки либо аннулирования шаблона, основание изменения и ставится подписи разработчика и контролёра.

Описанные формы отражают тот факт, что по ходу проектирования шаблона требуется формировать определенную нормативную документацию, в состав которой входит и расчетно-технологическая карта (РТК), отображающая как геометрию спроектированного шаблона, вариант применения (эскиз приложения шаблона к детали), так и сопутствующую информацию, вносимую в определенные ячейки табличного документа.

Исходя из того, что все необходимые формы документов, используемые на предприятии уже разработаны, и некоторая их часть создается в PDM-системе, то необходимо провести детальный анализ на предмет оптимизации по исключению неиспользуемых граф и автоматизировать создание той часть конструкторско-технологической документации (к примеру: РТК), которая в данный момент создается ручным способом, чтобы снизить трудовые и временные затраты в процессе проектирования.

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. Схема документирования РТК, осуществляемого в среде WIQA, приведена на Рисунке 58.

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.

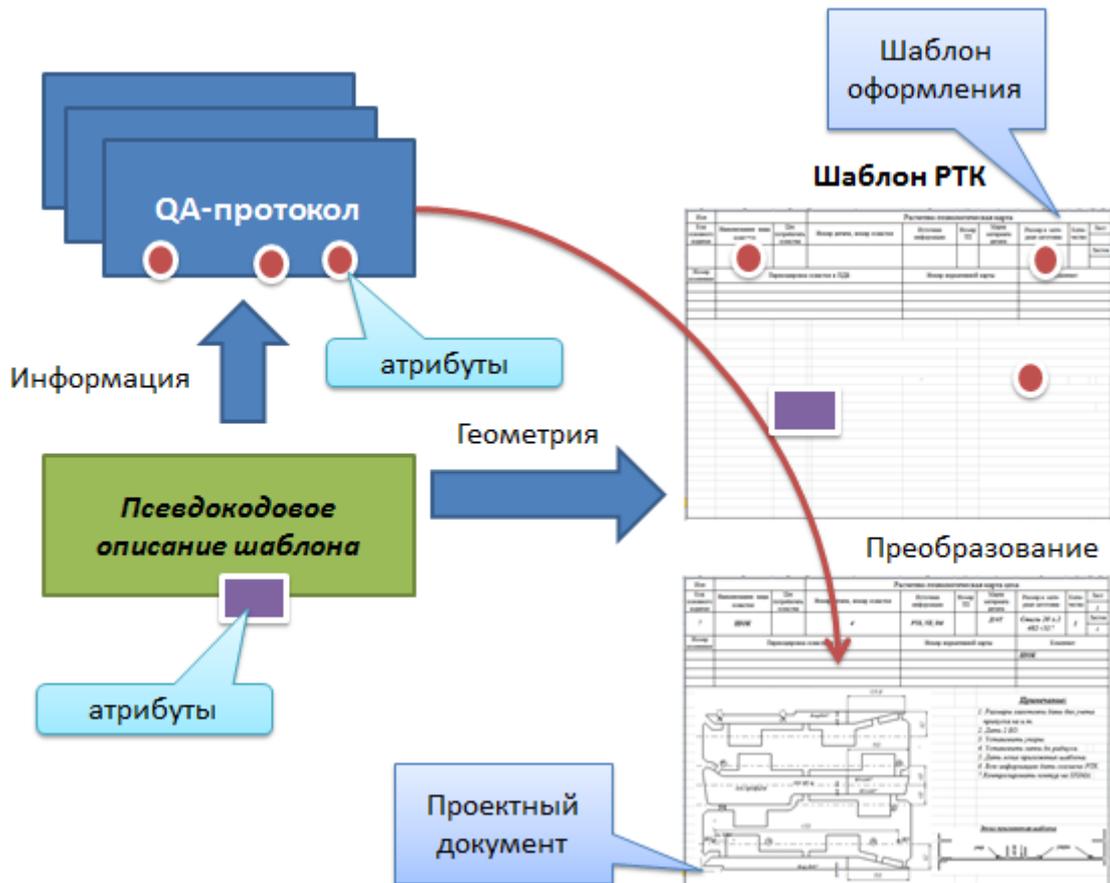


Рис. 58. Процесс формирования документа в среде WIQA

Для создания документа нужно четко описать его структуру и правила заполнения. Вопросы, задаваемые к структурным элементам должны полностью отражать функции, выполняемые документом, как связанные с самим шаблоном, так и с его производством, контролем и эксплуатацией, а также сохранять иерархию этих элементов.

Z 1.3 Заполнение расчетно- технологической карты

Q 1.3.1 Основная информация о шаблоне

Q 1.3.1.1 Какой код изделия?

А 1.3.1.1 <код изделия для которого производится шаблон>

Q 1.3.1.2 Наименование вида оснастки?

А 1.3.1.2 <сокращение вида оснастки>

...

Q 1.3.1.12 Как выглядит шаблон?

А 1.3.1.12 <эскиз шаблона>

Q 1.3.1.13 Какие примечания необходимо указать?

А 1.3.1.13 <список примечаний>

Другое содержимое, неизменяемое в процессе создания документов, не вводится в состав вопросно-ответного шаблона, а представлено в табличном представлении на базе гипертекстовой разметки:

```
<TABLE BORDER='1'CELLSPACING='0', CELLPADDING='0', WIDTH="100%",
HEIGHT='100%' ALIGN='center'>
```

```
...
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD ><b>$list</b></TD>
</TR>
```

```
...
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD ><b>$listov</b></TD>
</TR>
```

```
...
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
</TABLE>
```

Ответами может служить единичная текстовая строка или несколько строк, а также графическая иллюстрация. Итоговое представление лицевой части формы, после заполнения шаблона документа представлено на Рисунке 59.

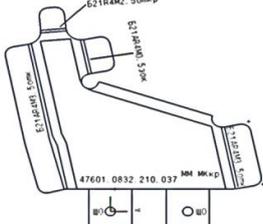
Расчетно-технологическая карта вала 141 ПТО ВEHRENS SIGMA ALPHA										
Имя	Код основного изделия	Наименование вала осевого	Цеп. потребитель осевого	Номер детали, номер осевого	Источники информации	Номер ПП	Марка материала детали	Размер и категория заготовки	Кол-во деталей	Лист
476	ШВК	654	47601.7567.678.001	РТК.ЭМТ			Профиль Д16АТ	СТ20х2	1	Листов 1
Номер отсылки	Переклассификация осевого в ПДБ			Номер нормативной карты			Комплект			
							ШВК ШКС ШОК			
 <p>Примечание:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вскрыть 2 БО Д8 2. Вскрыть 6 НО Д6, 3. Все информации и необходимые риски нанести согласно эскизу РТК. 4. Установить упоры с двух сторон. 5. Контроль рабочего контура на КИМ. 										

Рис. 59. Заполненная лицевая часть РТК

Загрузка стандартных технических требований, таких как примечания, кодируются с помощью predefined символов, и подменяется из библиотеки прототипов ответов.

3.4. Описание моделей на производстве

Современной системе проектирования и изготовления целесообразно выполнение следующих функций:

1. Анализ оснащаемого объекта, его изготовления, моделирование этого объекта и процесса изготовления.

2. Синтез конструкций из конструктивных элементов с выполнением точностного, геометрического и силового анализов, оптимизацией по соответствующим критериям полного информационного описания синтезируемой конструкции.

3. Отображение пространственного описания конструкций на плоскости проекций (построение графика сборочного чертежа).

4. Поэлементный анализ конструкции с отображением описаний оригинальных деталей на плоскости проекций, получением детализованных чертежей и сопоставлением спецификаций.

5. Технологический анализ конструкции, решение технологических задач и получение управляющей информации для изготовления на оборудовании с ЧПУ.

6. Технико-экономическая оценка конструкции и определение её качественных показателей.

7. Разработка необходимой технологической и технико-экономической документации.

Информация об оснащаемой детали и схеме её обработки создаётся (в случае отсутствия её в базе данных) также средствами системы. Это сведения о размерах, геометрии, физических характеристиках, точности оснащаемой детали и отдельных её поверхностях, данные о схеме базирования, закрепления, об обрабатываемых элементах, информация об оснащаемом оборудовании, требуемой производительности обработки, количестве одновременно устанавливаемых заготовок, режимах и усилиях резания. Каждая из перечисленных функций с решением задач различного уровня и степени сложности.

После анализа и приведения исходной информации к каноническому виду начинается реализация комплекса программ синтеза конструкций, в результате чего генерируется информационное описание конструкции

приспособления. Далее составляется спецификация, формируется сборочный и рабочие чертежи деталей конструкции.

Выполнение функций САПР включает в себя поиск типовых изображений для графического моделирования конструктивных элементов приспособлений, компоновку сборочного чертежа из типовых изображений и формирование его описания, определение сборочного чертежа и его масштаба, распознавание видимости линий на чертеже из условий видимости и принятого масштаба, идентификацию структурных единиц конструкции на чертеже.

Последовательность работ при решении задач синтеза конструкций приспособлений следующая:

Сначала создаётся общая компоновка конструкции. Решение этой глобальной задачи связано с анализом информации об оснащаемой детали в целом и далее локальные задачи, связанные с отдельными поверхностями детали.

Для их решения рассматриваются и моделируются локальные проектные ситуации, которые могут возникать в связи с одной какой-либо поверхностью детали. Локальную проектную ситуацию характеризуют форма, размеры, технологическое назначение поверхности обрабатываемой детали, конфигурация, количество и пространственное расположение функциональных элементов приспособления, контактирующих с данной поверхностью.

Примером глобальной задачи является синтез корпуса приспособления на основе данных об оснащаемой детали и конструктивных элементах, которые он объединяет в единую жёсткую систему. Локальной задачей могут быть определение количества и расстановка пластинчатых опор под базовой плоскостью, ограниченной контуром.

Процесс синтеза – это накопление информации, отображающее изменения пространственного образа конструкции во времени. То есть это многоэтапный процесс, который начинается в момент завершения

формирования модели обрабатываемой детали, а заканчивается формированием полного описания требуемой конструкции приспособлений. Этапы синтеза – это части процесса, соответствующие построению определённых групп элементов приспособлений установочных, направляющих, зажимных, фиксаций и т.д.

Для большинства этапов процесс синтеза протекает в три стадии. Например, при синтезе установочных элементов на первой стадии из описания обрабатываемой детали выделяется для анализа информация, характеризующая схему базирования этой детали.

На второй стадии происходит выбор схемы установки, которая представляет собой перечень наименований классов установочных элементов, реализующих выбранную схему (установка на цилиндрический палец и штыри, установка с помощью двух призм и пластинчатых опор и т.д.)

На третьей стадии осуществляется воплощение выбранной схемы установки в виде конструктивно завершённой функциональной группы установочных элементов приспособления.

Аналогичные стадии проводятся также на этапах синтеза функциональных групп зажимных, направляющих, делительных корпусных и других элементов.

Важным вопросом является получение рациональной конструкции. Трудности решения задач оптимизации заключаются в их многокритериальности и многопараметренности. Рациональные решения могут быть получены только на отдельных стадиях проектирования, например, на стадии выбора схемы установки. Конструкция должна быть работоспособной, пригодной для обработки оснащаемой детали и обеспечивающей требуемые параметры точности. Пригодность конструкции определяется рядом технических, технологических, эстетических, экономических и других показателей (точности, жёсткости, дисбаланса, быстродействия, простоты и

технологичности, удобства и безопасности, эстетичности внешнего вида и др.).

Последовательность процессов синтеза приспособлений строится на аналогии с практикой традиционного конструирования. Например, для сверлильных приспособлений процесс синтеза конструкций сводится к выполнению последовательно решаемых задач, как определение типа кондукторных втулок, нахождение толщины кондукторной плиты, определение габаритов поля, занятого кондукторными втулками, нахождение высот кондукторных втулок, распознавание установочно-зажимной схемы приспособлений, проектирование установочных элементов и элементов зажима.

Завершающими этапами являются синтез несущих специальных конструктивных элементов типа кондукторных плит и корпусов, а также проектирование вспомогательных и нижних (подкладных) плит.

При формализации процессов компоновки конструкций из конструктивных элементов решаются следующие задачи:

1. Выбор определённых значений из базы по заданным условиям.
2. Геометрического анализа.
3. Непосредственного проектирования: определения количества и положения функциональных конструктивных элементов, выделении параметров, от которых зависит возможность использования элементов по ГОСТ (СТП), проверка возможности применения ГОСТ (СТП).
4. Расчётного типа.
5. Построения результирующих данных по заданным требованиям.

Известно, что в базу конструктивных элементов включаются отличные по форме конструктивные элементы, которые нецелесообразно членить на составляющие. В ряде случаев трудно предусмотреть необходимую форму специального элемента; она окончательно вырисовывается в процессе проектирования приспособления. Поэтому в базу конструктивных элементов

включаются также и элементы формы, с помощью которых в процессе синтеза дорабатываются базовые конструктивные элементы.

Система предусматривает хорошо организованную базу данных, состоящую прежде всего из конструктивных элементов.

Конструктивные элементы – это объекты со своими свойствами (форма, структура, функции, материал, и др.), количественными параметрами (размеры, вес, допуски, состав, и др.). То есть это часть конструкции, обладающая информационной самостоятельностью.

Статистическое обследование ряда общемашиностроительных и станкостроительных предприятий показывает, что в прямых затратах времени, которые непосредственно служат процессу конструирования, чертежные работы составляют более 30 %, в то время как творческие элементы проектных работ—только 15%. Доля вычислительных работ по сравнению с проектными и чертежными работами в процентном отношении довольно незначительна. Остальные, так называемые косвенные проектные работы, занимающие примерно одну треть общего времени на конструирование, могут быть в основном охарактеризованы как «рутинные» этапы, которые по временным затратам примерно равноценны.

Поэтому первым направлением рационализации процесса проектирования было стремление автоматизировать «рутинные» этапы с помощью средств вычислительной техники. На сегодняшний день наибольшие успехи достигнуты при автоматизации расчетов и разработке различного вида текстовой и табличной документации, в поиске аналогов машин и деталей.

При проведении конструкторских работ первой операцией является функциональный анализ объекта проектирования для создания внутренней многоуровневой структуры объекта проектирования. Результаты этого этапа необходимы в первую очередь для объективного разбиения задачи проектирования на части и определения стратегии решения общей задачи.

Каждый элемент структуры объекта проектирования представляется в виде системной модели; его служебное назначение описывается как функция элемента многоуровневой системы. Затем проводится исследование объекта проектирования, то есть выявляются и описываются внешние и внутренние связи его системной модели. При этом требуется проведение целого ряда научно-исследовательских работ, под которыми подразумевается не только анализ литературных источников, но и эксперименты на натурных образцах.

Весьма важным является следующий этап — формализация объекта проектирования. От полноты формального описания объекта зависит выбор метода решения задачи, а, следовательно, определяется возможность применения при проектировании средств вычислительной техники. Если задача не формализована, то конструктор в дальнейшем пользуется одним из эвристических методов решения задачи. Когда задача формализована полностью, т. е. имеется полная математическая модель объекта проектирования, ее можно решать с помощью ЭВМ автоматически. Если же задача формализована частично, т. е. не все связи системной модели удалось выразить в виде аналитических и логических зависимостей, то разрабатывается так называемый диалоговый метод решения, включающий вариант математической модели объекта и сценарий взаимодействия конструктора и ЭВМ.

После выбора одного из алгоритмических методов решения весь процесс проектирования можно формализовать и разработать алгоритмы автоматизированного конструирования.

Разработка стандартов основывается на систематизации и обобщении передового конструкторского опыта, отраженного в государственных, отраслевых и заводских стандартах; в свободных таблицах применяемости отдельных марок металлов, подшипников, крепежных деталей, конструктивных элементов (модели зубчатых колес, допуски и посадки, резьбы и др.); в результатах лабораторных и эксплуатационных испытаний узлов, деталей; в данных нормализационного контроля.

Введение нормоконтроля имеет большое воспитательное и организующее значение. Нормоконтроль стимулирует у конструкторов уважение к стандартам и унификации. Еще одна задача нормоконтроля - проверка правильности выполнения конструкторских документов в соответствии с требованиями ЕСКД.

Создание параметрических рядов (гамм) - один из наиболее эффективных методов конструирования изделий. Под параметрическим рядом подразумевается совокупность изготавливаемых на данном заводе или в данной отрасли машин, приборов или иного оборудования одного эксплуатационного назначения, аналогичных по кинематике или по рабочему процессу, но различных по габаритам, мощностным или эксплуатационным параметрам.

Каждый параметрический ряд имеет свое основание (базовая модель) и полученные от этого основания производные. Конструирование начинается с выбора основания.

Важнейшие задачи организации чертежного хозяйства заключаются в обеспечении порядка в хранении и обращении чертежей и другой технической документации, в своевременном обеспечении ими цехов и рабочих мест, в поддержании строгой конструкторской и технологической дисциплины (Рисунок 60).

Формирование библиотеки моделей



Рис. 60. Повторное использование моделей шаблонов

Организация чертежного хозяйства основывается на единой системе классификации документации, которая предусматривает единые принципы классификации и индексации изделий и документации, определенный порядок хранения, учета и дублирования документации, а также порядок внесения изменений (Рисунок 61).

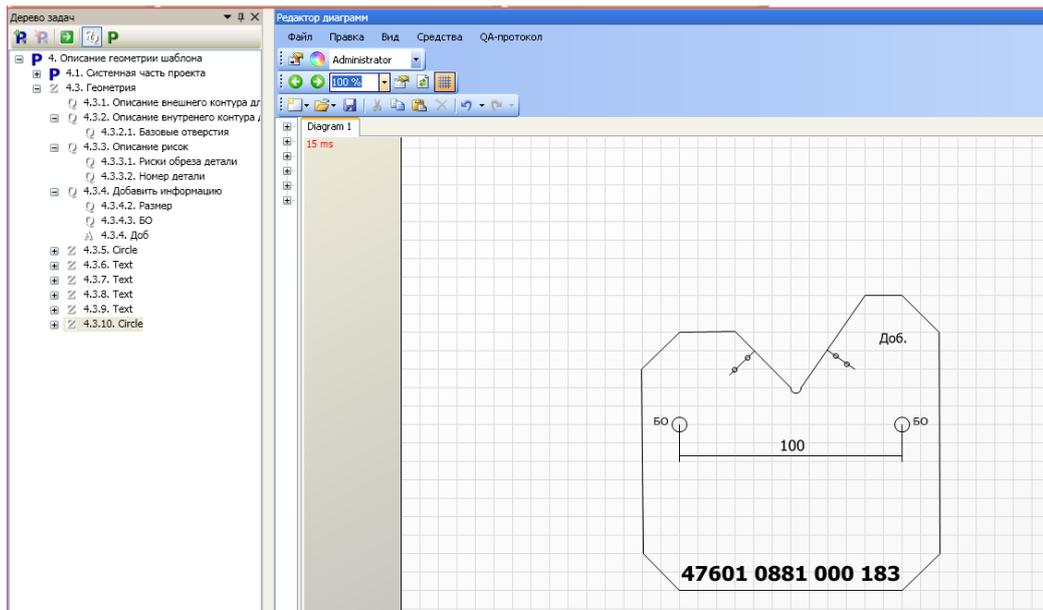


Рис. 61. Отображение шаблона в редакторе диаграмм

Под автоматизацией проектирования понимается автоматизированный конструкторский синтез устройства с выпуском необходимой конструкторской документации (КД) (Рисунок 62).

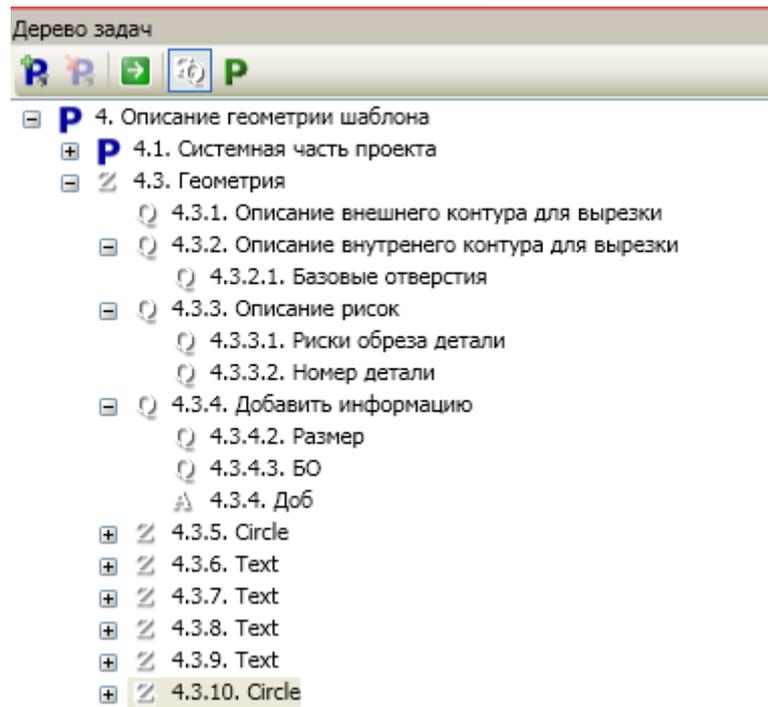


Рис. 62. Дерево протокола

В отличие от проектирования вручную, результаты которого во многом определяются инженерной подготовкой конструкторов, их производственным опытом, профессиональной интуицией и т. п., автоматизированное проектирование позволяет исключить субъективизм при принятии решений, значительно повысить точность расчетов, выбрать варианты для реализации на основе строгого математического анализа, значительно повысить качество конструкторской документации, повысить производительность труда проектировщиков, снизить трудоемкость, существенно сократить сроки конструкторской и технологической подготовки производства, эффективнее использовать технологическое оборудование с ЧПУ.

Выводы и рекомендации по третьей главе:

1. В составе методического обеспечения принципиальное место занимает именно расширение *LCMT* для языка вопросно-ответной среды *WIQA.Net*, как средства накопления проектных решений, проведения и визуализации анализа.

2. Картографическое представление шаблонов в рамках языка псевдокодowego описания позволяет накрыть все жизненный цикл процесса проектирования с учетом изготовления и эксплуатации шаблонов, т.е. псевдокодowego описание отражает все действия специалистов.

3. Решение вопроса организации библиотеки шаблонов и поиска в ней открывает широкие возможности для модернизации уже готовых решений и адаптации решений, полученных из сторонних источников.

4. Методическое описание позволяет сформировать описание средств для визуализации процесса изготовления шаблона, и преобразования псевдокодowego описания геометрии в управляющие программы для различных станков с ЧПУ которые позволяют повысить качество проектирования за счет самоанализа действий.

Глава четвертая. Реализация фрагмента подсистемы структурного проектирования конфигурируемых шаблонов.

4.1. Архитектура подсистемы и ее интеграция с NX

Система проектирования интегрирована с САПР UG NX7.5, и поэтому запускается только непосредственно из ее среды. Для удобного запуска системы требуется наличие в UG NX панели инструментов **Проектирование шаблонов**. Эта панель входит в настройки пользовательских ролей, файл которых поставляется в комплекте с программным обеспечением системы (Рисунок 63).

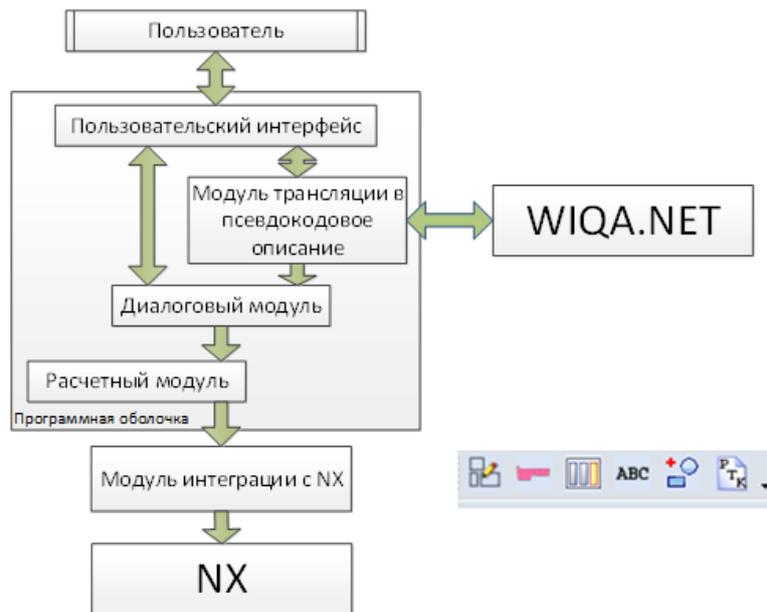


Рис. 63. Структура подсистемы

TITLE—задает заголовок встраиваемого меню.

BUTTON—Ключевое слово для вызова кнопки с подсказкой **LABEL**, иконкой **BITMAP** и действием **ACTION**

Для того чтобы избежать прямых путей до иконки и исполняемого файла введена переменная среда $\{\text{UG_ISPO}\}$ указывающая путь до меню, иконок, и .grx файлов.

Меню вызывает одну из 10 функций:

- Sloi.grx
- Nomer.grx
- Bort.grx
- Dobavok.grx
- kromka.grx
- mmmk.grx
- export.grx
- BO.grx
- SO.grx
- SHO.grx

В результате работы системы, в качестве выходных данных, создается модель шаблона. Его конструкция и размеры рассчитываются согласно требованиям СТП и параметрам, заданным пользователем.

При возникновении ошибок, вызванных неправильными действиями пользователя или некорректно созданным листовым телом, система выдает на экран сообщения с наименованием ошибки.

Интерфейс системы представлен полностью на русском языке и имеет удобные средства управления.

Структура программы такова, что в дальнейшем при необходимости можно произвести доработку с целью улучшения некоторых функций системы без каких-либо больших серьезных изменений в общем алгоритме. Пользовательский интерфейс также может быть улучшен, например, добавлением каких-либо дополнительных кнопок.

Система проектирования разрабатывается с целью ее интеграции с используемой на предприятии САПР Unigraphics NX7.5. Разрабатываемое приложение является внутренним и должно запускаться только в текущей сессии UG NX. В результате Unigraphics возьмет на себя функции отображения сгенерированной приложением геометрии в модельном

пространстве. Для решения подобных задач NX располагает достаточно развитыми возможностями модуля UG/Open API (Application Program Interface), реализованного на принципах открытой архитектуры и предоставляющего доступ к объектам геометрической модели для программных приложений разработчиков или программ отдельных пользователей. UG/Open дает возможность программным способом создавать геометрические модели, получать информацию об объектах, формировать сборки, генерировать чертежную документацию и т.д. [38].

Модуль UG/Open API работает с программами пользователя, написанными на языке C. Заголовочные файлы (.h) соответствуют требованиям стандарта ANSI C и поддерживают разработку программ с использованием языка C++ и C# [38].

Для написания программы проектирования ОП был использован язык программирования C#.

Язык C# – объектно-ориентированный язык программирования. Разработан в 1998 – 2001 годах группой инженеров под руководством Андерса Хейлсберга в компании Microsoft как язык разработки приложений для платформы Microsoft.NET Framework. C# относится к семье языков с C-подобным синтаксисом, из них его синтаксис наиболее близок к C++ и Java.

Программа создана в интегрированной виртуальной среде разработки приложений, разработанной корпорацией Microsoft, – Microsoft Visual C# 2008 Express Edition, так как в ней есть все инструменты для полноценной разработки и отладки программ/приложений на языке C# на платформе .NET Framework.

Visual C# Express является частью продуктовой линейки Visual Studio Express Family – свободного набора инструментов, которые Windows разработчики любой квалификации могут использовать для создания собственных приложений, используя базовые или расширенные возможности. Visual C# создан для работы над разными типами приложений, которые выполняются в окружении .NET Framework. Visual C# прост в

обучении и использовании, мощный, поддерживающий безопасные типы объектно-ориентированный язык. Благодаря множеству инноваций, Visual C# обеспечивает быструю разработку приложений, при этом сохраняя выразительность и элегантность, присущую языкам в стиле C.

Приложение на языке C# подключается к UG NX в виде динамически подгружаемых библиотек DLL (Dynamic Link Library). Для разработки приложений внутри Unigraphics можно использовать одно из двух инструментальных средств:

- *GRIP – несложный, хорошо документированный внутренний язык NX, имеющий достаточно обширный список доступных операторов. Компиляция производится приложением, входящим в состав поставки UG NX 7.5.*
- *Open C – продвинутый язык, с синтаксисом, основанным на C, имеющим доступ к диалоговым окнам и ядру с UG NX 7.5.*

Open GRIP подробно описан в русскоязычном руководстве, поэтому разработка основных утилит произведена на нем. Язык GRIP состоит из четырёх типов операторов: операторы, описания переменных, функции и символы [173].

GRIP – это аббревиатура, означающая «Графическое интерактивное программирование», представляет собой язык программирования, похожий на FORTRAN. В некоторых случаях использование GRIP более эффективно, чем интерактивная работа в UG.

GRIP имеет большинство обычных возможностей языков программирования высшего уровня и, в дополнение к этому, большой набор операторов работы с геометрией, замечаниями, надписями, размерами и подобным, при повторяющихся операциях.

Для создания программы, ее компиляции и формирования исполняемого модуля пользователю Unigraphics предлагается GRIP Advanced Development Environment (GRADE) -- интегрированная среда разработки. Искушенные программисты могут посоветовать на небогатый, на первый

взгляд, набор функций этой программной оболочки, однако, независимо от типа рабочей станции (PC или Unix-машина) и операционной системы (Windows, IRIX, Solaris и т.д.), это окружение будет выглядеть абсолютно одинаково, а исходный код GRIP-программ, созданный на одной платформе, после перекомпиляции работоспособен на любой другой.

Для связи GRIP приложения с интерфейсом UG NX7.5 применялось встраиваемое меню реализуемое написанием файла Shablon.tbr , имеющего структуру, представленную в приложении.

Функция работы со слоями Sloi.grx

Данная функция при запуске создает категории слоев (функция CAT/'kontur',1, DESCR,'Контур шаблона с отверстиями'), и позволяет управлять видимыми и рабочими слоями (функция LAYER/WORK,1,ACTIVE,1,2,4,5).

Цвет и размер шрифта управляется с помощью глобальных переменных. (&CSLANT=30, &CSIZE=5, &CFONT=1)

Функция нанесения номера детали Nomer.grx

Функция извлекает номер детали из атрибутов детали (ST= &ATTVL (&PARATT,'DB_PART_NO', IFERR, err_n5:)), затем номер разбивается посимвольно (SIM=SUBSTR(ST,I,1)) и вызываются подпрограммы обрисовки символов (0.grx..T.grs).

Функция нанесения информации борта Bort.grx

Вызывается диалог для ввода высоты борта, угла малки и радиуса скругления. Эти данные обрабатываются, вычисляется направление борта, открытая или закрытая малка, отсекаются заведомо неверные исходные данные. После обработки формируется информация о борте размещенная на слое с информацией в позиции выбранной проектировщиком.

Функция построения добавка Dobavok.grx

Функция рассчитывает длину выбранной кривой и по ней определяет количество необходимых перемычек, в местах планируемых перемычек дается точка разметки. Строиться эквидистанта, при необходимости добавок удлиняется. Функция рассчитывает возможное расстояние между базовыми отверстиями, кратное 50 и размещает их, даются надписи «Доб.» и «БО», базовые отверстия образмериваются.

Функции нанесения текстовой информации kromka.grx, mmmk.grx, export.grx, BO.grx, SO.grx, SHO.grx

Функции делают активным слой с информацией, располагают рабочую систему координат в необходимой плоскости (\$WCS), вслед за этим в черчении наноситься необходимая надпись.

Функции проверки и экспорта export.grx

Функция проверяет расположение БО относительно координатной плоскости, при замечаниях выводится окно с сообщением. Далее просматриваются Слои с информацией для визуального контроля правильности расположения по слоям. В случае успешного прохождения контроля выводится информация о марке материала детали и о габаритах заготовки для шаблона. Следом выводятся сообщения с типичными ошибками при проектировании оснастки.

Формирование РТК

Программа является стандартизованной формой ввода/вывода и обработки информации. Программа с помощью модуля DRAGANDDROP может принять файл ВПШО, заполнив поля РТК, и файл эскиза в формате BMP. Модуль FORMOTR формирует номер отраженной детали. Модуль КомрOSNASTKI позволяет выбрать из ВПШО все необходимые позиции оснастки и указать цех потребитель оснастки.

Программа позволяет экспортировать документы в MS Excel, располагая обе стороны РТК на разных листах, или в MS Word который позволяет использовать двухстороннюю печать (Рисунок 64).



Рис. 64. Интеграция ИСПО UG NX

Работа со слоями

Меню создает категории слоев и позволяет переключать активные и рабочие слои в соответствии с выполняемой задачей (Рисунок 65 и Рисунок 66).

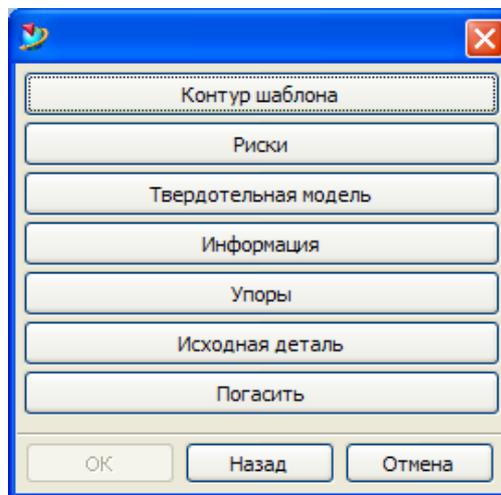


Рис. 65. Меню работы со слоями

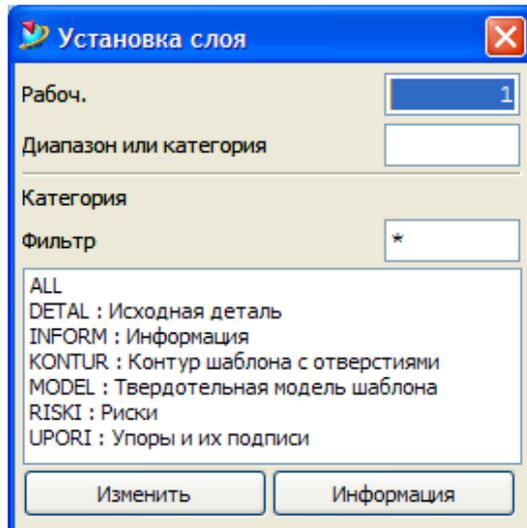


Рис. 66. Созданные категории

Нанесение номера детали

Номер детали загружается из атрибутов детали, у пользователя запрашивается положение надписи (Рисунок 67):

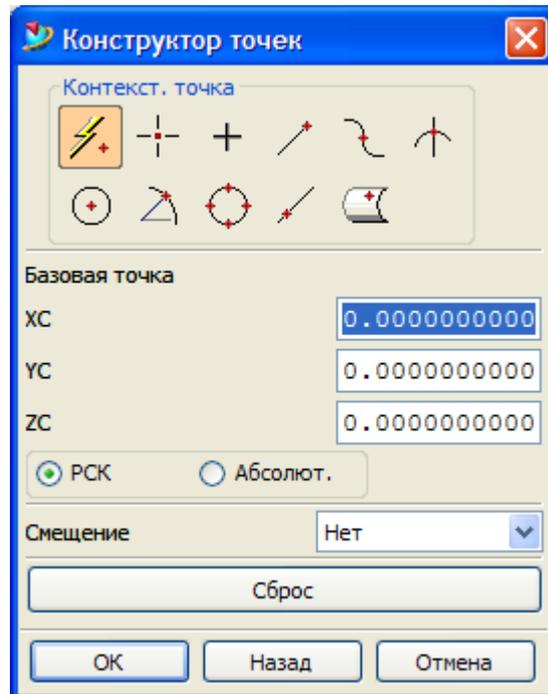


Рис. 67. Задание положения надписи

Извлеченный номер детали выводится в поле ввода (Рисунок 68), где в случае необходимости его можно откорректировать.

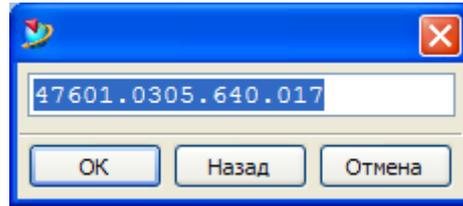


Рис. 68. Поле для корректировки номера детали

Нанесение информации борта

Для нанесения информации борта необходимо заполнить диалог ввода (Рисунок 69)

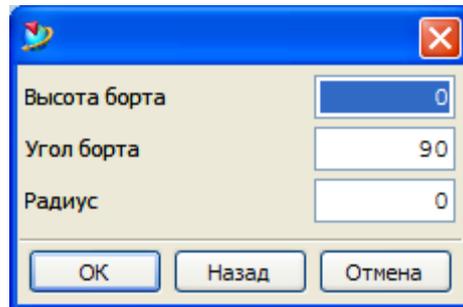


Рис. 69. Поле ввода параметров борта

Если высота борта положительная, то борт будет помечен А, если отрицательная – Б. Аналогично если угол больше 90 градусов, малка – открытая иначе – закрытая. Если радиусгиба указывать не надо, то требуется оставить поле нулевым.

Формирование добавка

Запрашивается кривая для построения добавка, после построений и размещения БО и надписей добавок принимает вид, представленный на Рисунок 70.

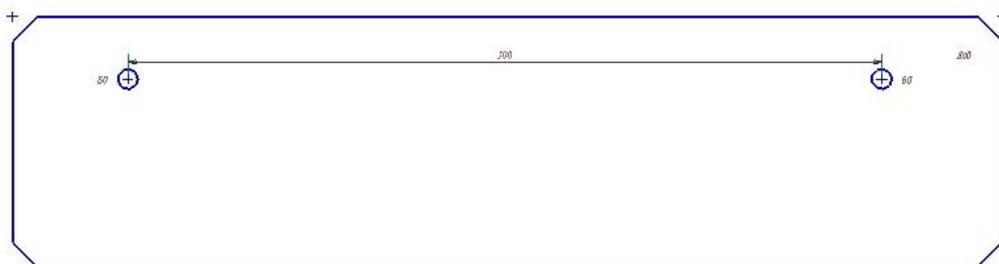


Рис. 70. Результат работы программы формирования добавка

Проверка модели и экспорт данных

Программа просит указать левое и правое БО, проверяет их параметры и взаимное расположение, если их координаты не соответствуют требованиям, то выводится сообщение с текстом ошибки (Рисунок 71).

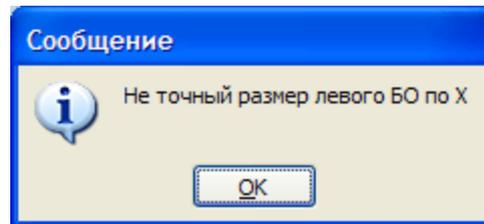


Рис. 71. Пример сообщения об ошибке расположения БО

Вслед за этим циклом показываются слои и производится визуальный контроль правильности расположения по категориям.

После указания твердого тела шаблона программа рассчитывает габариты заготовки и выводит материал детали (Рисунок 72).

```

=====
Информация создана для пользов.: Student
Дата                               : 24.05.2010 16:05:36
Текущая рабочая деталь             : H:\47601.2233.080.447_2.prt
Имя узла                           : cadcam124
=====
Левое БО
0.000000,0.000000,0.000000
4.000000
Правое БО
100.0000,0.000000,0.000000
4.000000
ящик|
ГАБАРИТЫ - 240X290
МАТЕРИАЛ - Лист 1163АТ 1,5 ОСТ1 90246-77 180x180

```

Рис. 72. Вывод информации о шаблоне

Формирование РТК.

Программа является стандартизированной формой ввода/вывода и обработки информации. Программа с помощью модуля DRAGANDDROP может принять файл ВПШО, заполнив поля РТК, и файл эскиза в формате BMP. Модуль FORMOTR формирует номер отраженной детали. Модуль КомрOSNASTKI позволяет выбрать из ВПШО все необходимые позиции оснастки и указать цех потребитель оснастки.

Программа позволяет экспортировать документы в MS Excel, располагая обе стороны РТК на разных листах, или в MS Word который позволяет использовать двухстороннюю печать.

В рамках представленной модели формализованы потоки данных и разработано клиентское приложение, позволяющее производить оформление расчетно-технологических карт в автоматизированном режиме (Рисунок 73).

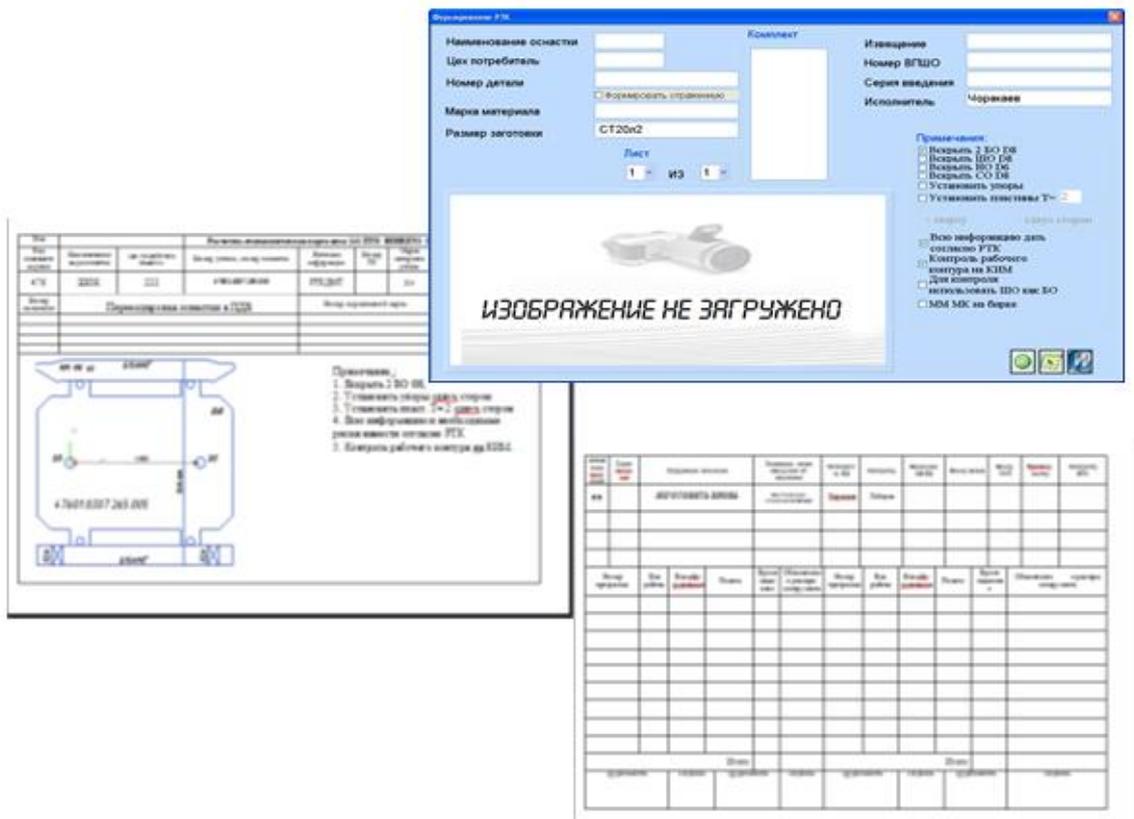


Рис. 73. Автоматизированное заполнение РТК

Использование специального модуля позволяет сократить на 50% ошибки при подготовке технологических процессов и позволяет произвести оснащение изделия в максимально короткие сроки, с помощью оптимизации до 20% требуемых временных затрат. А также открывается возможность рационального использования производственных мощностей путем повышения производительности процессов технологической подготовки производства (Рисунок 74).



Рис. 74. Диаграмма использования системы

Следует отметить, что программа обработки типового также может быть на подпрограммы: 2 для контролирующего контура и для добавочного материала. В процессе накопления базы шаблонов имеет смысл редактировать только ту подпрограмму, в которую вносятся изменения, не трогая все остальные.

Проведя аппроксимацию контура дугами и линиями, мы получим программу для обработки контура шаблона в G-кодах. Причем контур, лежащий на 1 слое детали UG NX 7.5 будет использован как контур обрезки, а линии, лежащие на 2 слое как линии гравировки. Гравироваются линии обреза детали и номер детали для идентификации вырезанного из листа шаблона (рисунок 75).

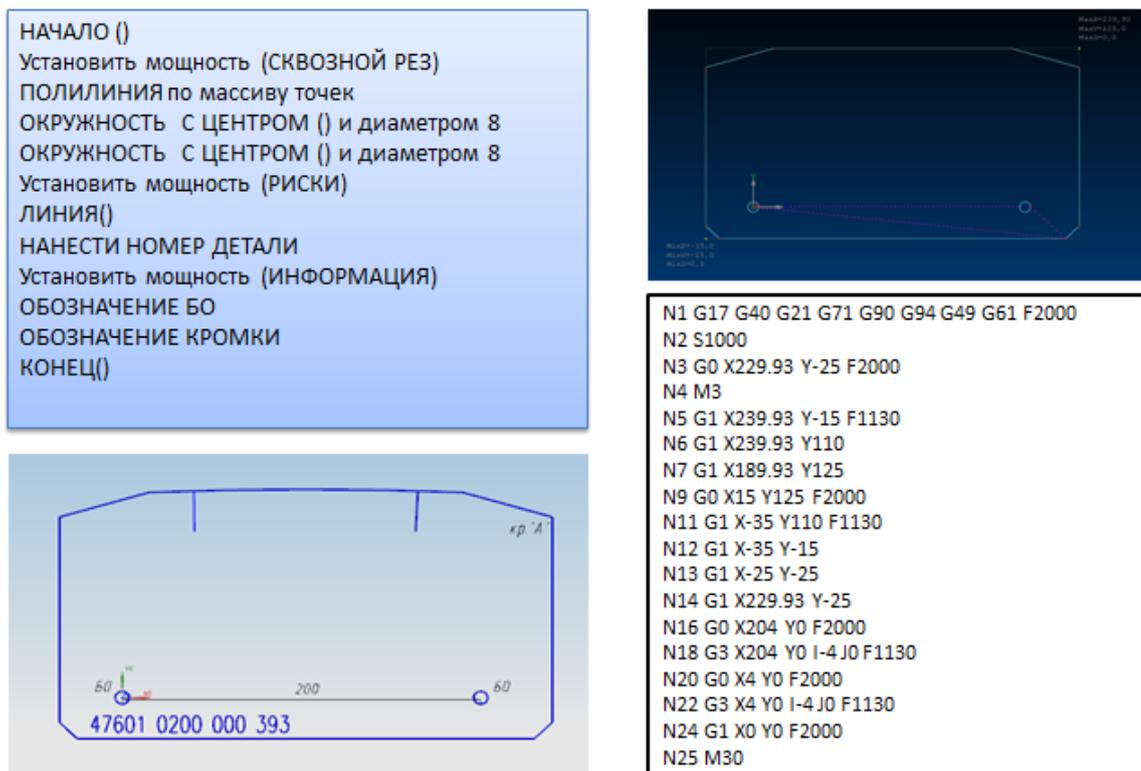


Рис. 75. Представление шаблона на различных этапах

4.2. Сквозная передача информации о единице технологического оснащения

Между параметрами оснащаемой детали и формируемой технологической оснасткой существует информационно-функциональная взаимосвязь. Аналогичные взаимосвязи существуют также между технологическими решениями по производству детали и информационными

моделями этой детали. Всё это создаёт предпосылки для комплексной автоматизации: деталь– технологический процесс изготовления детали – проектирование и изготовление технологической оснастки – изготовление детали. В связи с этим при автоматизации проектирования приспособлений и был определён метод построения технологического оснащения на базе информационной модели, получившей название синтеза конструкций.

В основу этого метода положены следующие принципы:

1. Информация, описывающая конструкцию приспособления, является результатом переработки сведений об оснащаемой детали и технологических операциях её изготовления.

2. Для конструкции любого приспособления существует возможность её декомпозиции на определённое число составляющих – конструктивных элементов.

3. Конструкция всякого приспособления может быть синтезирована из определённого числа конструктивных элементов.

4. Конструктивные элементы отличаются свойствами и характеристиками, которые можно представлять в ЭВМ.

5. Между элементами в конструкции существуют некоторое количество моделированных отклонений, общих для всех приспособлений.

6. В каждом конструктивном элементе как разновидности твёрдого тела можно зафиксировать его положение для определения значений позиционных отношений между элементами (Рисунок 76, Рисунок 77 и Рисунок 78).



Рис. 76. Схема данных для сущности «Деталь»

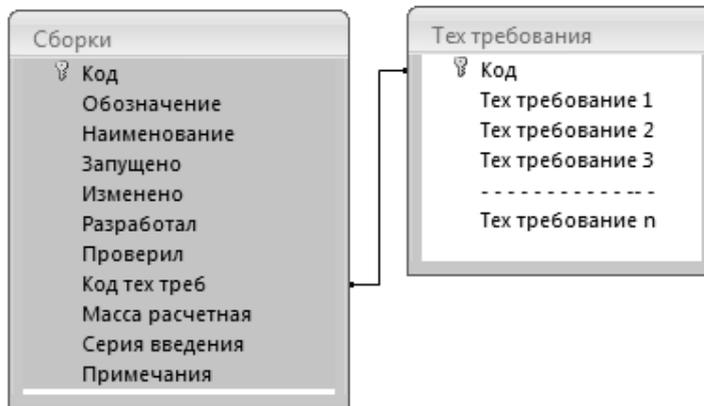


Рис. 77. Схема данных для сущности «Сборка»



Рис. 78. Схема данных для сущности «Оснастка»

Масса модели, сборочной единицы или единицы оснащения имеет смысл вычислять перемножая объем по САД- модели и плотности материала восстановленной из атрибутов по дополнительному справочнику.

Особым образом необходимо отметить такой параметр как габариты изделия и соответственно выводимые размеры заготовки. Современные САПР-системы позволяют найти габариты, но только вдоль осей X, Y, Z, которые далеко не всегда составляют минимум функции объема ограничивающего параллелепипеда; в задачах раскроя неправильный выбор габаритов повлечет за собой перерасход материала. Конечно, опытный проектировщик может повернуть оси, но это не является оптимальным решением поставленной проблемы. В настоящее время опубликован ряд работ, посвященных проблеме вычисления габаритов для трехмерных полигональных сеток. Внимание может заслуживать несколько упрощенный алгоритм нахождения точного минимального ограничивающего параллелепипеда [27].

На Рисунке 79 представлена иллюстрация предлагаемого процесса сквозной передачи информации об оснастке между этапами ее проектирования в ПШЦ. Реализация и использование совместного хранения данных включает в себя целый ряд этапов, таких как соблюдение требований, создание трехмерной модели, проверка требований, разработка программ для станков с ЧПУ, а также подтверждения качества и сравнения фактических и заданных значений для готового изделия [150].

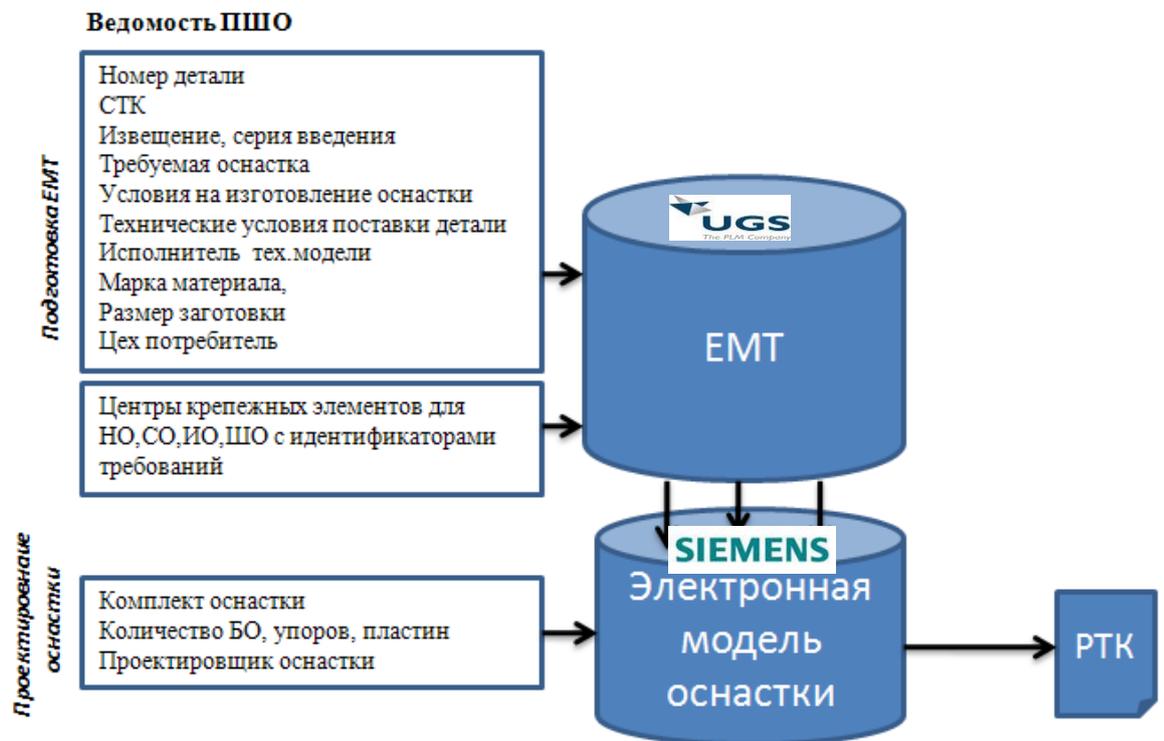


Рис. 79. Диаграмма совместного использования информации ПШЦ

Следует отметить, что централизованное хранение информации, в том числе в файле детали NX (в виде атрибутов сборки, самой детали или ее конкретных конструктивных элементов) позволяет получить точные результаты, не требующие дополнительного времени на внесение изменений. Кроме того, возрастают возможности для управления данными, проверки на соответствие требованиям, унификации и их повторного использования.

Если рассматривать предлагаемую систему как модель внедрения бережливого производства в информатизации, то необходимо делать упор на небольшие, но емкие и быстрые преобразования приводящих к постепенному

развитию предприятия, в итоге приводящих к полной системной инновации, что не требует первоначальных крупных вложений, но требует скоординированной работы всех исполнителей.

Наблюдается общая тенденция перехода от технологий, основанных на интенсивном индивидуальном труде по созданию изделий, удовлетворяющих предъявляемым специфическим требованиям одного конкретного применения, к технологиям основанных на планируемых работах по разработке повторно-используемых элементов. Особое внимание уделяется настраиваемым параметрически стандартизованным элементам в виде базовых единиц проектирования.

Переход от бумажного архива документов, фиксирующих только конечные результаты бесконтрольно и внесистемно пополняющегося, с использованием по желанию конкретного исполнителя к единой компьютерной базе знаний всего подразделения (цеха, завода) планомерно пополняющейся на основе отслеживания мировых тенденций, представляющей доступ к возможностям компьютерного представления – дерево построение, обновление, совместный доступ, доступ по ЛВС на рабочие места всех задействованных исполнителей.

То есть в итоге при первом подходе, конструктора и технологи в своей работе обязаны держать в голове большое количество информации о успешных и неуспешных опытах, зачастую опираясь в большей части на интуицию, чем на строгие формулы и правила. Кроме этого нельзя не учитывать возможности использования базы знаний при обучении новых сотрудников. Прикладные автоматизированные системы в рамках предприятия решают задачу автоматизации системы целей и показателей их достижения, путем оптимизации бизнес-процессов. Такие системы учитывают основные составные части производство, продажа, транспорт, снабжение, финансы, бухгалтерский учет, персонал, ИТ. Рассмотрение потребностей каждой из составных частей как элементов единой системы позволяет избежать затрат на ввод, хранение, обработку дублирующей

информации, в идеальном случае, информация о сущности должна быть введена в систему один раз и в следующие моменты предоставляться по запросу.

Информационной основой для разработки подсистемы для ТПП авиационной техники является совокупность входной конструкторской, технологической, нормативно справочной, директивной информации, содержащей описание стандартных проектных процедур и типовых решений. Основной документацией в рассматриваемой области являются ГОСТы, ОСТы, СТП, ISO и т.д. Оптимизация технологического процесса с помощью математического моделирования (Рисунок 80).

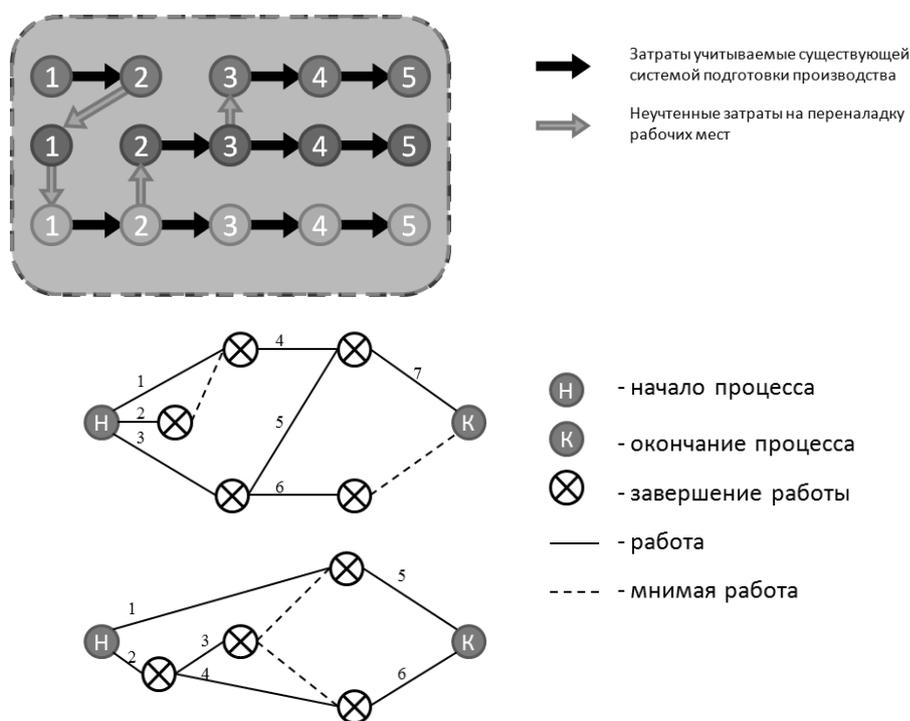


Рис. 80. Граф – представление процесса работ

Существует множество факторов, негативно влияющих на производство. Это поломки оборудования, ошибки персонала, перебои в снабжении, болезни сотрудников, неблагоприятные погодные и другие условия, запланировать которые невозможно. Но можно учесть их влияние на производство на основе статистики [123, 136]. Предприятие имеет определенную статистику по основным факторам, влияющим на

производство. Использование этой статистики в рамках предлагаемой модели позволит получить более реалистичные оценки показателей выполнения комплексов работ. Причем этот учет будет не грубым с погрешностью десятков процентов, а более точным с погрешностью в единицы процентов. Основная идея использования статистики предприятия заключается в моделировании производства с учетом случайного воздействия на конкретные ресурсы, причем законы этого воздействия задаются на основе имеющейся статистики. Многократный прогон модели позволит получить статистически обоснованные оценки общих показателей производства (Рисунок 81).

№р	Предш. ресурсы	Оборудование				Оснастка				Персонал		
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1.1		1	1			1	1			1	1	
1.2		1						1		1		
1.3			1				1				1	1
1.4	1.1, 1.2			1					1		1	1
1.5	1.3		1				1			1	1	
1.6	1.3				1				1			1
1.7	1.4, 1.5	1	1			1		1		1		1
1.8	1.6				1			1			1	1
2.1		1	1				1	1		1	1	
2.2		1	1			1				1	1	
2.3	2.2			1					1			1
2.4	2.2		1	1			1	1	1		1	1
2.5	2.1, 2.3				1				1			1
2.6	2.3, 2.4					1				1		

Работы	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
1.1	0	690	∞	∞	∞	∞	1240	∞	0	300	∞	∞	∞	∞
1.2	720	0	∞	∞	∞	∞	1105	∞	2500	402	∞	∞	∞	∞
1.3	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.4	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.5	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.6	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.7	189	563	∞	∞	∞	∞	0	∞	0	258	∞	∞	∞	∞
1.8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2.1	0	457	∞	∞	∞	∞	0	∞	0	369	∞	∞	∞	∞
2.2	529	114	∞	∞	∞	∞	659	∞	115	0	∞	∞	∞	∞
2.3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞
2.4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞
2.5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
2.6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

Работы	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
1.1	0	3,84	∞	∞	∞	∞	1,3	∞	0	1,1	∞	∞	∞	∞
1.2	2,41	0	∞	∞	∞	∞	0,6	∞	0,18	0,69	∞	∞	∞	∞
1.3	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.4	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.5	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.6	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
1.7	0,8	0,24	∞	∞	∞	∞	0	∞	0	1,1	∞	∞	∞	∞
1.8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2.1	0	1,67	∞	∞	∞	∞	0	∞	0	2,1	∞	∞	∞	∞
2.2	2,5	0,45	∞	∞	∞	∞	1,5	∞	3,1	0	∞	∞	∞	∞
2.3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞	∞
2.4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞	∞
2.5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	∞
2.6	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0

Рис. 81. Таблицы представления графов

4.3. Рациональный выбор траектории холостого хода

Общая длина лазерной обработки складывается из двух составляющих: сумма длин всех отрезков резки и длины холостых проходов.

$$S = \sum S_i + \sum L_j; \quad (11)$$



Рис. 82. Формирование маршрута обхода

Так как сокращение рабочего хода возможно только в узкоспециализированных задачах [44, 45] практически не применимо при изготовлении листовых шаблонов, то сократить общее технологическое время рационально выбрав траекторию обхода.

4.3.1. Нахождение рациональной траектории холостого хода на примере абстрактного шаблона

Для минимизации холостого хода необходимо максимальное объединение разрозненных элементов в связанные замкнутые или разомкнутые контуры. Вторым аспектом для минимизации холостого хода является оптимальное определение точек врезания в контуры, таким образом, чтобы сумма расстояний между точками врезания была минимальной.

Предоставление проектировщику шаблонов возможности экспериментирования с точками входа лазерного луча в обрабатываемые контуры, а также динамическая визуализация резки во времени, с возможностью коррекции этих точек позволяет рационализировать перемещения головки станка на холостом ходе.

Таким образом **цель экспериментирования** – это снизить время изготовления шаблона из листа за счет уменьшения холостого хода.

Ход эксперимента:

1. Проектировщик шаблона загружает подготовленную модель шаблона, для формирования управляющей программы.

2. Указывается начальная точка обработки, например, начальное положение каретки лазерного излучателя в станке.

3. Программно рассчитывается рациональный путь обхода составляющих контуров, с выводом основных метрик, таких как полезный путь и холостой ход.

4. На основе визуального представления проектировщик принимает решение о необходимости коррекции результатов расчета, и в случае необходимости перемещает начальную точку или точки врезки по контурам и вызывает повторный расчет метрик обработки, до тех пор, пока не получает удовлетворяющие его результаты.

5. На основе результатов экспериментального нахождения точек обхода контуров формируется программа обработки для станка с ЧПУ.

Различные решения проблемы оптимизации лазерного раскроя предложены в работах [44,45,71,72,154]. В диссертации используются обобщённые и адаптированные под проблематику решения из этих работ.

Перейдем к детализации намеченного эксперимента на примере абстрактного шаблона, структура которого представлена на Рисунке 83.

Первым этапом в последовательности действий для подготовки лазерной обработки является размещение шаблона с составляющими его элементами на листе материала.

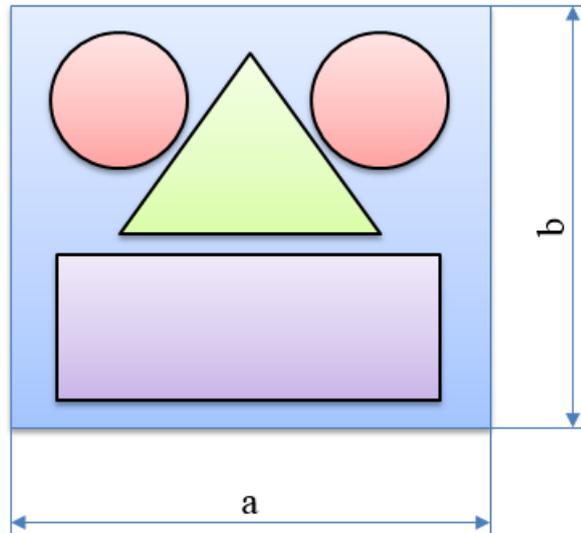


Рис. 83. Структура абстрактного шаблона на листе материала

Формирование последовательности обхода контуров с учетом вырезки и разметки внутренних контуров, до сквозной вырезки, так как после вырезки наружного контура происходит смещение заготовки относительно координатного стола из-за отделения элементов от основного листа. Но с другой стороны вырезка и разметка всех внутренних отверстий и рисок до внешней вырезки приводит к увеличению суммы холостых ходов при вырезке. Рассматриваются как внешние и внутренние сквозные контуры, так и различные контуры для нанесения рисок.

$$F = \min \sum L(t)_{i,k} \quad (12)$$

Как уже было сказано, процесс реальной лазерной резки будет затрагивать внутренние и внешний контур, для чего разрозненные отрезки и дуги, имеющие общие точки объединяются в наборы связанных элементов. Но как было сказано выше между контурами каретка лазерного излучателя совершает холостые перемещения.

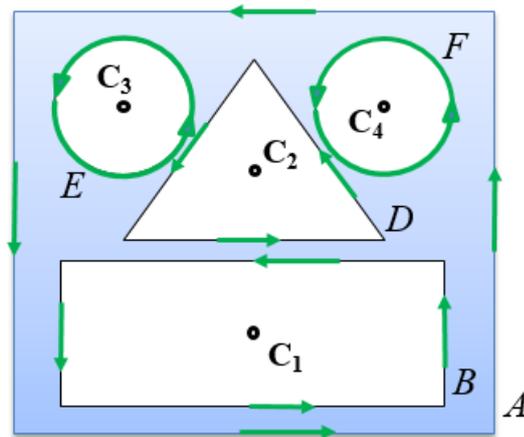


Рис. 84. Объединение связанных элементов в контуры

Первоначальная и конечная точки задаются технологическими особенностями вырезки, и называются точками подхода и отхода режущего инструмента. Для определения минимального пути холостого хода необходимо определить последовательность обхода деталей.

В диссертационном исследовании предлагается для построения траектории холостого хода использовать задачу коммивояжера, причем, как для формирования списка точек врезки (разумеется с их координатами), так и для формирования «маршрута» перемещения каретки лазерного излучателя. Другими словами, проводятся параллели между задачей коммивояжера и задачей построения траектории холостого хода с учетом следующей аналогии:

- каретка лазерного станка – коммивояжёр;
- 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 согласованы с рациональным поиском маршрута на основе решения задачи коммивояжера.

Для выбора совокупности точек врезки предлагается использовать также решение задачи коммивояжера, но на их промежуточных расположениях, которые приближаются к рациональным. Для сведения этой

задачи к задаче коммивояжера необходимо заменить отдельные контуры – мнимыми точками – используемыми в расчетах в первом приближении. С этой целью каждый контур, подлежащий вырезке, заменяется центральной точкой C_i , кроме этого вводится точка IP отображающая начальное положение лазерной каретки и являющейся априори первой в обходе. Для сквозных отверстий начальная точка обхода и конечная совпадают. Причем найденная оптимальная точка не обязательно будет существующей вершиной, а может быть введена разделением существующего элемента.

На Рисунке 85 проведена прямая из точки IP в центр C_1 ближайшего контура B , пересекающая этот контур в двух точках B_1 и B_2 , которые рассматриваются, как претенденты на включение одной из них в список L .

Альтернативность точек B_1 и B_2 , разрешаются с помощью критерия «Длина оптимального маршрута задачи коммивояжера» для точки $B_1 = TSP(IP, B_1, C_2, \dots, C_k)$ и $B_2 = TSP(IP, B_2, C_2, \dots, C_k)$. То есть в построении списка точек врезки используются приближения к рациональному их позиционированию, разумеется исходная точка входит в этот список в соответствии с её интерпретацией, представленной выше. Первое приближение рассмотрено на Рисунке 85.

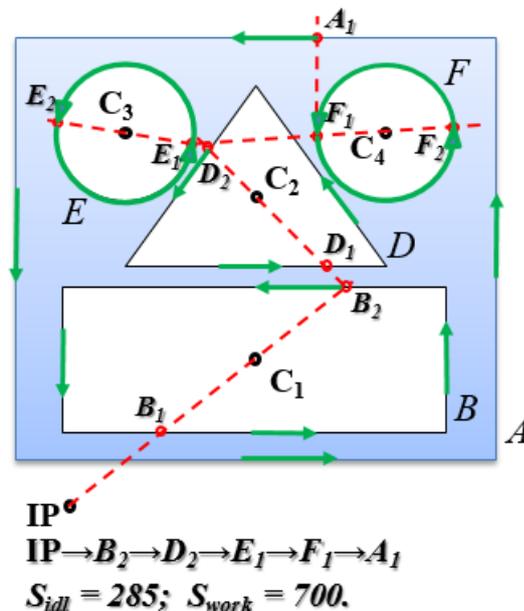


Рис. 85. Определение рационального пути холостого хода

В последнюю очередь вырезается внешний контур шаблона, для определения точки врезания в которой находится ближайшая точка внешнего контура из точки врезания в последний внутренний элемент. Точка A_I на которой завершилась вырезка предыдущего шаблона на листе играет роль начальной точки при расчете пути обхода для следующего шаблона.

При размещении нескольких шаблонов стараются расположить заданное количество шаблонов с учетом технологического припуска на листе материала минимальной площади, что повышает коэффициент использования материала, так как число и площадь шаблонов задаются изначально.

$$KIM = \frac{S_{use}}{S_{sum}} \Rightarrow \max; \quad (13)$$

$$S_{use} - \text{const}, S_{sum} = a \times b \Rightarrow \min; \quad (14)$$

Общая схема поиска рациональной траектории холостого хода:

1. *Сформировать список точек обслуживания (точек врезки)*
 - 1.1. *Сформировать список внутренних контуров для обхода $LK(B, D, E, F, \dots)$ и рассчитать для них точки первого приближения $\{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$*
 - 1.2. *Включить в пустой список $L(\emptyset)$ начальную точку IP // в алгоритме коммивояжера это точка начального местоположения, В рассматриваемом случае это точка на листе заготовки, на которую нацелена 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.*

Рис. 86. Сформировать маршрут обхода точек обслуживания

- 2.1. Определить рациональный маршрут $M\}$ 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.

Так как расстояния между любыми точками на плоскости можно рассчитать, задача обхода центральных точек минимальным суммарным путем сводится к классической задаче коммивояжера.

Так как каретке необходимо вернуться в первоначальное положение задача является замкнутой, а так как вычисление происходит на плоскости, задача является метрической и симметричной – расстояния между точками одинаковые в обе стороны и расстояние между любыми двумя точками меньше чем через промежуточную точку (правило треугольника).

	IP	K	C ₂	C ₃	C ₄
IP	∞	l ₀₁	l ₀₂	l ₀₃	l ₀₄
K	l ₀₁	∞	l ₁₂	l ₁₃	l ₁₄
C ₂	l ₀₂	l ₁₂	∞	l ₂₃	l ₂₄
C ₃	l ₀₃	l ₁₃	l ₂₃	∞	l ₃₄
C ₄	l ₀₄	l ₁₄	l ₂₄	l ₃₄	∞

Рис. 87. Таблица расстояний для решения задачи коммивояжера

Решаем задачу коммивояжера по алгоритму Литлла:

1. В каждой строке матрицы стоимости найдем минимальный элемент и вычтем его из всех элементов строки. Сделаем это и для столбцов, не содержащих нуля. Получим матрицу стоимости, каждая строка и каждый столбец которой содержат хотя бы один нулевой элемент.
2. Для каждого нулевого элемента матрицы l_{ij} рассчитаем коэффициент $\Gamma_{i,j}$, который равен сумме наименьшего элемента i строки (исключая элемент $l_{i,j}=0$) и наименьшего элемента j столбца. Из всех коэффициентов $\Gamma_{i,j}$ выберем такой, который

является максимальным $\Gamma_{k,l} = \max\{\Gamma_{i,j}\}$. В гамильтонов контур вносится соответствующая дуга (k,l) .

- 3. Удаляем k -тую строку и столбец l , поменяем на бесконечность значение элемента $l_{l,k}$ (поскольку дуга (k,l) включена в контур, то обратный путь из l в k недопустим).*
- 4. Повторяем алгоритм шага 1, пока порядок матрицы не станет равным двум.*
- 5. Затем в текущий ориентированный граф вносим две недостающие дуги, определяющиеся однозначно матрицей порядка 2. Получаем гамильтонов контур.*

Так как центральные точки являлись только первым приближением для поиска оптимально пути, и не принадлежат вырезаемому контуру, выбираем только первую из найденных точек и получаем две возможных точки врезания на первом контуре, из каждой потенциальной точки снова запускаем поиск кратчайшего пути по оставшимся центральным точкам первого приближения, исключая уже найденную и выбираем ту, включение которой позволит достичь меньшего пути. Таким образом, используя рекурсивный вызов решения задачи коммивояжера получаем набор реальных точек врезания и пересчитываем обход этих точек, для исключения погрешности от расчета по мнимым центральным точкам контуров.

Программные решения некоторых используемых классов и функций вынесены в Приложение 4.

4.3.2. Описание фрагментов реального шаблона для визуализации и нахождения рационального пути холостого хода

Описанные выше оценки и представленные возможности визуализации позволяют проектировщику проводить экспериментирование на реальных шаблонах, выбирая начальные точки и проводя коррекцию точек врезания, в случае рационализации в ходе визуального отображения.

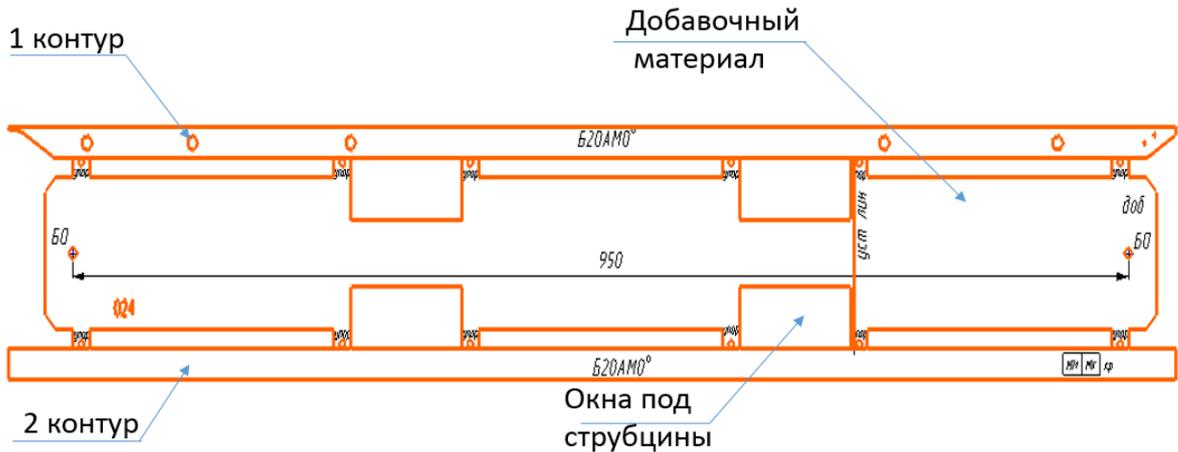


Рис. 88. Пример описания шаблона и применения процедур визуализации обработки

Структурно-лингвистическое описание шаблона

//Первый рабочий контур

РАБОЧИЙ_КОНТУР (

ДУГА (-45.32, 78.66, -50.32, 80, -50.32, 70)

ПОЛИЛИНИЯ (-50.32, 80, -57.63, 80, -57.63, 82, 992.44, 82, 992.44, 77, 966.45, 62, -16.46, 62, -45.32, 78.66)

)

//Второй рабочий контур

РАБОЧИЙ_КОНТУР (ЗАМК_ПОЛИЛИНИЯ (-57.64, -62, -57.63, -82, 992.44, -82, 992.44, -62))

// Добавочный материал

ДОБАВОК (-25, -50, 975, 50)

БАЗОВОЕ_ОТВЕРСТИЕ (0,0)

БАЗОВОЕ_ОТВЕРСТИЕ (950,0)

//Внутренние отверстия

ОКНА_ПОД_СТРУБЦИНЫ (

(250, 22, 350, 62);

(600, 22, 700, 62);

(250, -62, 350, -22);

(600, -62; 700; -22);

)

ПЕРЕМЫЧКИ_С_УПОРОМ (

(0,50,15,62, 7.5, 59);

(235,50,250,62, 242.5, 59);

(350,50,365,62, 357.5, 59);

(585,50,600,62, 592.5, 59);

(700,50,715,62, 707.5, 59);

(935,50,950,62, 942.5, 59);
 (0,50,15,62, 7.5, 59);
 (235,-62,250, -50, 242.5, -59);
 (350,-62,365, -50, 357.5, -59);
 (585,-62,600, -50, 592.5, -59);
 (700,-62,715, -50, 707.5, -59);
 (935,-62,950, -50, 942.5, -59);

)
 ОКРУЖНОСТЬ (12, 72, 10)
 ОКРУЖНОСТЬ (107, 72, 10)
 ОКРУЖНОСТЬ (249, 72, 10)
 ОКРУЖНОСТЬ (730, 72, 10)
 ОКРУЖНОСТЬ (886, 72, 10)
 ОКРУЖНОСТЬ (965, 72, 3)
 ОКРУЖНОСТЬ (973.5, 77, 3)

//Информация

ОБОЗНАЧЕНИЕ_БОРТА («Б20АМ0», 451, 69, 505, 82)
 ОБОЗНАЧЕНИЕ_БОРТА («Б20АМ0», 462, -81, 522, -67)
 НОМЕР («024», 32, -41, 58, 30)
 УСТАНОВОЧНАЯ_ЛИНИЯ (703, -62, 703, 62)

Псевдокодовая программа визуализации обработки шаблона

START_PROCESSING

Call &GET_START_POINT (-100, -100) &

// из списка элементов для внутреннего выреза и гравировки выбираем ближайший

// элемент и переходим к нему

Call &IDLING (-100, -100, 0, -62) &

// вызываем процедуру согласно требуемым действиям

Call &ETCHING_LINE (0, -62, 15, -62) &

// следующий элемент не требует перехода

Call &CUT_RECT (15, -62, 15, -62, 235, -50) &

Call &IDLING (15, -62, 0.94, -3.88) &

Call &CUT_CIRCLE (0.94, -3.88, 0, 0, 4) &

...

// после обхода всех внутренних элементов производим вырезку наружного контура

Call &IDLING (972.25, 76.25, 972.25, 82) &

Call &CUT_LINE (972.25, 82, 992.44, 82) &

Call &CUT_LINE (992.44, 82, 992.44, 77) &

...

Call &CUT_LINE (-57.63, 82, 972.25, 82) &

END_PROCESSING

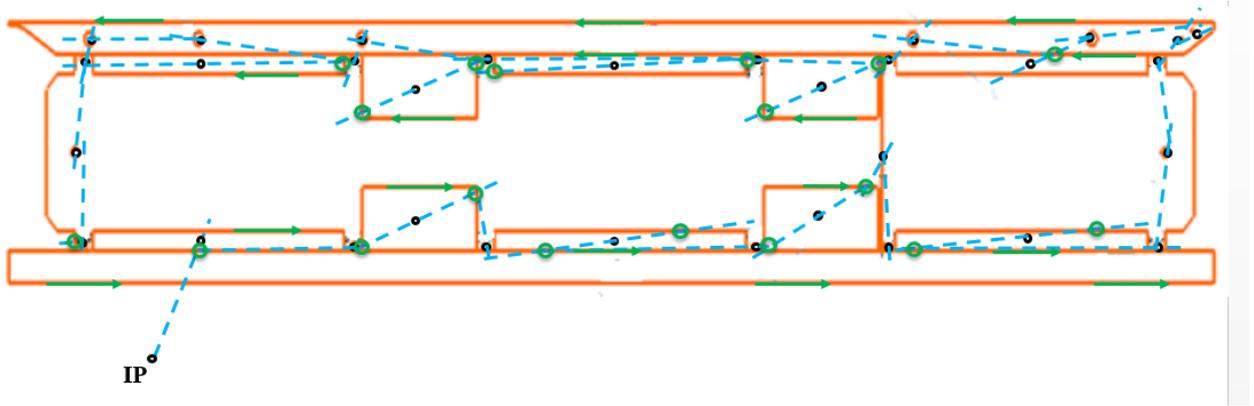


Рис. 89. Визуализация рационального холостого хода

4.4. Анализ результатов практического применения комплекса средств

Основные результаты диссертационного исследования были использованы в ходе реализации хоздоговорной работы с ЗАО «Авиастар-СП» по проектированию шаблонов на серийное изделие (2009-2011 г.), а также в хоздоговорной работе по оцифровке чертежей деталей и сборок на серийное изделие (2014 – 2016 г.), в практике преподавания дисциплины Автоматизированное проектирование технологической оснастки (АПТО) на кафедре «Самолетостроение» ИАТУ УлГТУ, данные по этим работам частично послужили источниками экспериментальных данных для анализа.

4.4.1. Практическое применение при выполнении хоздоговорной работы с ЗАО «Авиастар-СП» по проектированию шаблонов на серийное изделие

В качестве цели эксперимента ставилась задача подтвердить следующую гипотезу:

Г1. Применение средств структурного проектирования конфигурируемых шаблонов позволяет повысить производительность и снизить количество ошибочных решений.

Условия проведения эксперимента следующие.

Для выполнения работы привлекались сотрудники и студенты в течение 8 этапов по 3 месяца каждый. Целью работы было трехмерное моделирование шаблонов по технологическим моделям авиационных деталей и оформление сопутствующей документации согласно предоставленным стандартам, принятым на предприятии. На каждом этапе по различным причинам участвовало различное число исполнителей.

Объемы, сдаваемые по этапам по хоздоговорной работе с ЗАО «Авиастар-СП»:

Таблица 11.

#	1	2	3	4	5	6	7	8
Всего	0	308	420	240	600	700	700	1500
На доработку	-	300	105	7	10	12	10	30
	-	97%	25%	3%	1,9%	1,7%	1,4%	2%
Исполнителей	-	5	8	3	5	5	4	8
Длительность	120дн	90дн						
Производительность	-	0,68	0,58	1,33	1,33	1,56	2,5	2,08

По результатам видно, что после эксплуатации системы (с 3 этапа) производительность значительно возросла, а количество брака резко снизилось, что подтверждает выдвинутую гипотезу.

4.4.2. Практическое применение при обучении студентов правилам проектирования шаблонов в ходе дисциплины «Автоматизированное проектирование технологического оснащения»

В качестве цели эксперимента ставилась задача подтвердить следующую гипотезу:

Г2. Применение средств структурного проектирования конфигурируемых шаблонов позволяет улучшить обучение новых специалистов.

Условия проведения эксперимента следующие.

Так как дисциплина АПТО читается студентам старших курсов, умеющим достаточно хорошо строить электронные модели в САПР UG NX, но в связи с узкой направленностью работ имеющим недостаточное представление о проектировании средств технологического оснащения, результатами их работ можно оценивать влияние системы структурного проектирования шаблонов на обучение новых сотрудников, а по количеству попыток до сдачи контрольной работы по предмету – влияние системы на предупреждение ошибок. В ходе практических и лабораторных работ студенты должны обучиться построению одного из видов шаблона, а контрольная работа включает в себя самостоятельное оснащение группы деталей. Данные и их анализ представлены в таблице:

Таблица 9.

2012 год							2014 год						
№	ШОК	ШР	ШГ	ШКС	ФРМ	КР	№	ШОК	ШР	ШГ	ШКС	ФРМ	КР
1	4	5	4	4	3	2 п.	1	5	5	5	5	5	1 п.
2	н	3	3	н	3	3 п.	2	4	5	5	н	5	1 п.
3	5	5	5	5	5	1 п.	3	4	4	4	4	3	1 п.
4	3	4	4	5	4	1 п.	4	н	4	3	4	4	2 п.
5	4	н	4	3	4	4 п.	5	4	5	4	н	4	2 п.
6	3	4	3	3	4	1 п.	6	5	н	5	5	5	1 п.
7	4	5	3	4	н	3 п.	7	5	5	4	4	4	1 п.
8	н	3	н	3	3	3 п.	8	3	3	4	3	3	3 п.
9	4	5	5	4	4	2 п.	9	н	н	3	4	4	2 п.
10	5	4	3	3	н	2 п.							

Таким образом, сравнительный анализ результатов выглядит следующим образом:

Таблица 10.

№	до		после	
	Количество работ на 5 баллов	11	26%	15
Количество работ на 4 балла	17	40%	17	44%
Количество работ на 3 балла	15	34%	7	18%
Количество работ без ошибок	3	30%	5	56%

Результаты эксперимента наглядно отображают позитивное влияние описываемых средств на качество проектирования и на время включения в работу новых специалистов.

4.4.3. Оценка качества автоматизации

Процесс проектирования шаблонов по своей сути представляет собой процесс преобразования входных данных с целью получения ЭМ оснастки и сопутствующей документации. Для оценки качества автоматизации процессов, входящих в жизненный цикл шаблона сравним автоматизированные этапы жизненного цикла шаблона без использования комплекса средств и с его применением, и на базе этого рассчитаем уровень автоматизации формуле (22):

$$a = \frac{n_a}{n_a + n_{na}}, \quad (22)$$

где a – уровень автоматизации, n_a и n_{na} – число автоматизированных и неавтоматизированных операций соответственно.

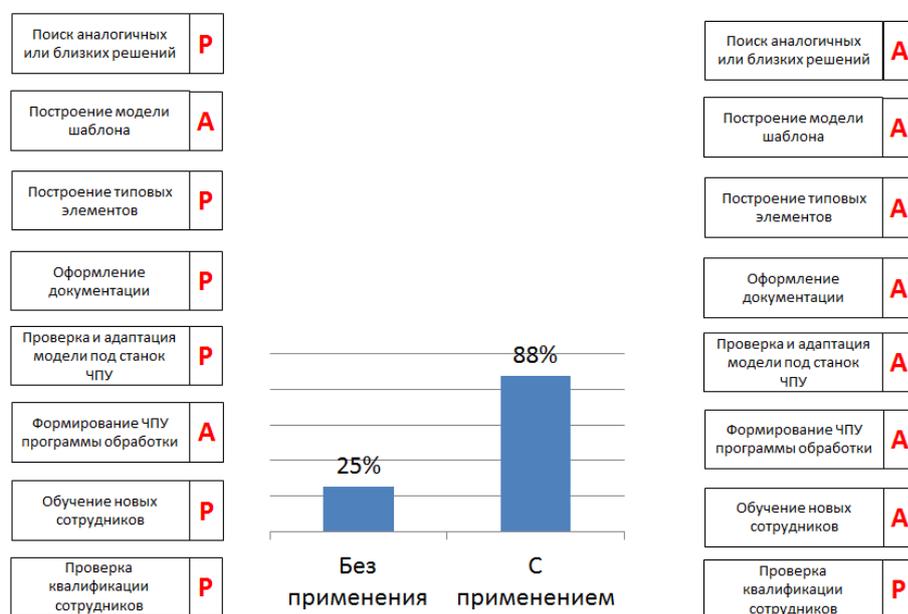


Рис. 90. Автоматизация основных операций при проектировании шаблонов

Таким образом, комплекс средств позволяет повысить степень автоматизации более чем в 3,5 раза, что без сомнения снижает общее технологическое время проектирования шаблонов.

Автоматизация же «рутинных» операций освобождает конструктора для творческой деятельности и повышает производительность процесса проектирования на оформительских этапах работ. Однако автоматизация только отдельных операций, например, за счет введения чертежных автоматов или широкого использования ЭВМ для проведения инженерных расчетов не вносит существенных изменений в сроки проектирования.

Кроме этого в процесс проектирования шаблонов включаются средства обнаружения дефектов, что позволяет если не полностью предотвратить появление отклонений, то снизить стоимость их устранения.

Ошибки проектировщика следует классифицировать по степени затрат на их ликвидацию, например

1. обнаруженные самим исполнителем;
2. обнаруженные контролирующим органом в документации и ЭМ;
3. обнаруженные после изготовления оснастки в металле;
4. обнаруженные при производстве детали;
5. обнаруженные на сборке.

Также можно распределить последствия от отклонений в работе проектировщика по основным уровням:

1. Возможно исправление, самим проектировщиком или кем-то из коллег, а также его начальником. Этот этап подразумевает что ошибочная модель не была ещё изготовлена и затраты на исправление этой ситуации складываются из временных затрат всех вовлеченных в этот процесс специалистов плюс затраты связанные с простоем оборудования на этапе производства изделия, требующего единицу технологического оснащения, или возможно затраты на переналадку оборудования для производства деталей другого типа.

2. Возможно учесть внесенные ошибки, корректируя процесс технологического оснащения и изготовления деталей. Этот уровень подразумевает, что ошибочная модель была изготовлена, и только после этого было обнаружено отклонение. Затраты на данном уровне складываются

либо из ремонта оснастки (обточка, сварка, накладки и т.п.), что ведет к снижению точности оснастки, либо к запуску вновь единицы оснащения что потребует материальных ресурсов для изготовления и операций, описанных в предыдущем пункте.

3. Отклонения в результате проектирования технологического оснащения обнаруживаются на завершающих этапах производства изделия. По неверной оснастке была изготовлена партия деталей. В этом случае затраты включают переделку оснастки, материальные ресурсы на изготовленную бракованную партию деталей, возможно операции демонтажа с готового изделия или его агрегата бракованных деталей, что увеличивает цикл работы, а также снижает основные показатели изделия, характеризующиеся как качество продукции. В таком случае необходимо стремиться к исключению повторного возникновения негативных факторов, повлекших к ошибкам.

Для снижения негативного влияния необходимо целенаправленно снижать причины отклонения от правильных решений. Основной целью экспериментирования является выявление случайных ошибок и дефектов, обусловленных действиями проектировщиков. Присутствие ошибок обнаруживается как отклонение результата от требований в процессе проверки материализации решения. Все подобные аномалии обнаруживаются в процессе жизненного цикла шаблона и существенным образом влияют на результат процесса проектирования.

Введение механизма слоев позволяет упростить работу по проектированию шаблонов, так как каждый слой состоит из меньшего числа элементов и несет логическую завершенность, что позволяет оперировать с меньшим количеством составляющих. Кроме этого процесс проектирования из параллельного преобразуется в последовательный, что также снижает его сложность.

Снижению числа отклонений также способствует формализованный подход к определению задач и обязанностей внутри организации. Вопросно-

ответная модель процесса проектирования шаблона нацелена на определение последовательности работ, стоящих перед конструктором, а создание и использование различных программных модулей на решение повторяющихся, рутинных операций, а также решения новых задач, включаемых в процесс проектирования. Нормативные последовательности действий способствуют предотвращению ошибок в последовательности действий и связанных с этими ошибками потерь времени, а второе направление снимает с проектировщика определенный объем работы, что повышает степень автоматизации процесса проектирования. Решение переданных компьютеру задач, снижает время проектирования и исключает возникновение ошибок, при решении автоматизированных задач.

Псевдокодированное описание процесса проектирования шаблонов, содержащее перечень работ и задач, выполняемых в ходе проектирования, а также совокупность создаваемых при этом документов и моделей.

Накопленный опыт показывает, что автоматизация проектирования — это область эффективного использования ЭВМ. Но в то же время становится ясным, что главное направление здесь — не автоматизация отдельных этапов проектирования, не алгоритмы инженерных расчетов, а завязка проекта, когда только прорисовываются контуры будущей конструкции, которая должна отвечать исходным замыслам. Такой подход основывается на стремлении осуществить основную задачу — повысить качество принимаемых проектных решений за счет применения методов оптимального проектирования.

4.4.4. Выводы по результатам практического применения

Таким образом, достигаемые положительные эффекты складываются из уменьшения времени проектирования, за счет использования библиотеки проектных решений и утилит, автоматизирующих рутинные команды; уменьшения времени на исправление ошибок за счет повторного использования решений и введение в цикл проектирования шаблонов возможностей концептуального экспериментирования в среде WIQA.Net; уменьшения времени оформления документации за счет использования возможностей документирования среды WIQA.Net; а также уменьшение технологического времени изготовления на станках лазерного раскроя за счет объединения элементов слоя в контуры, и исключения лишних холостых перемещений. Оценка общего технологического времени складывается из холостого и рабочего хода. (Рисунок 91)

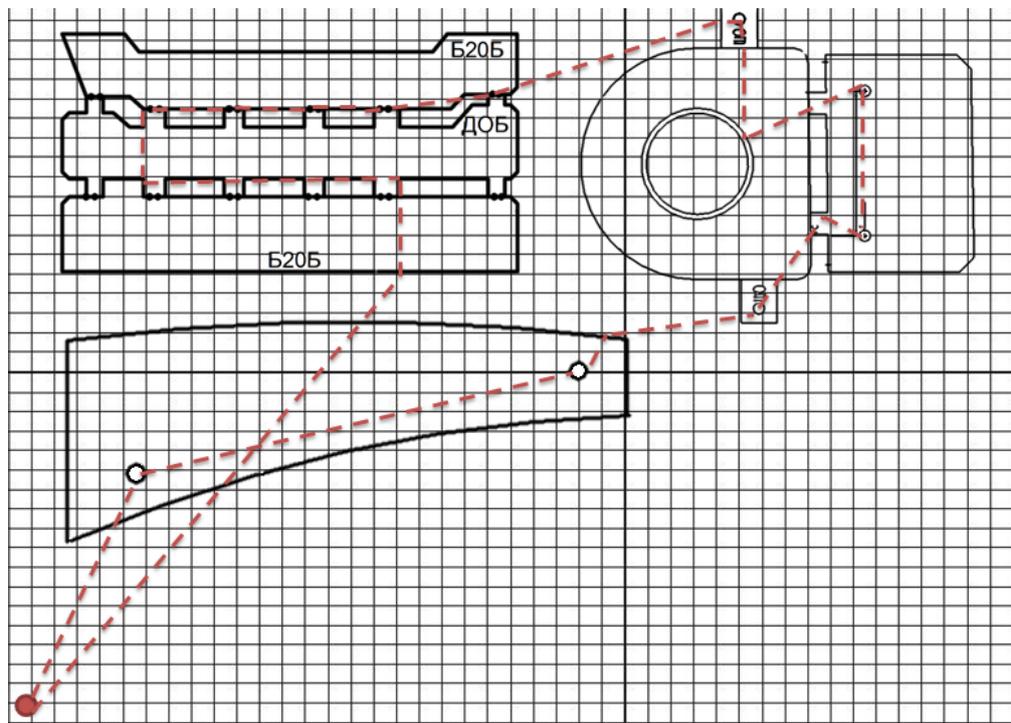


Рис. 91. Лазерный раскрой нескольких шаблонов на листе

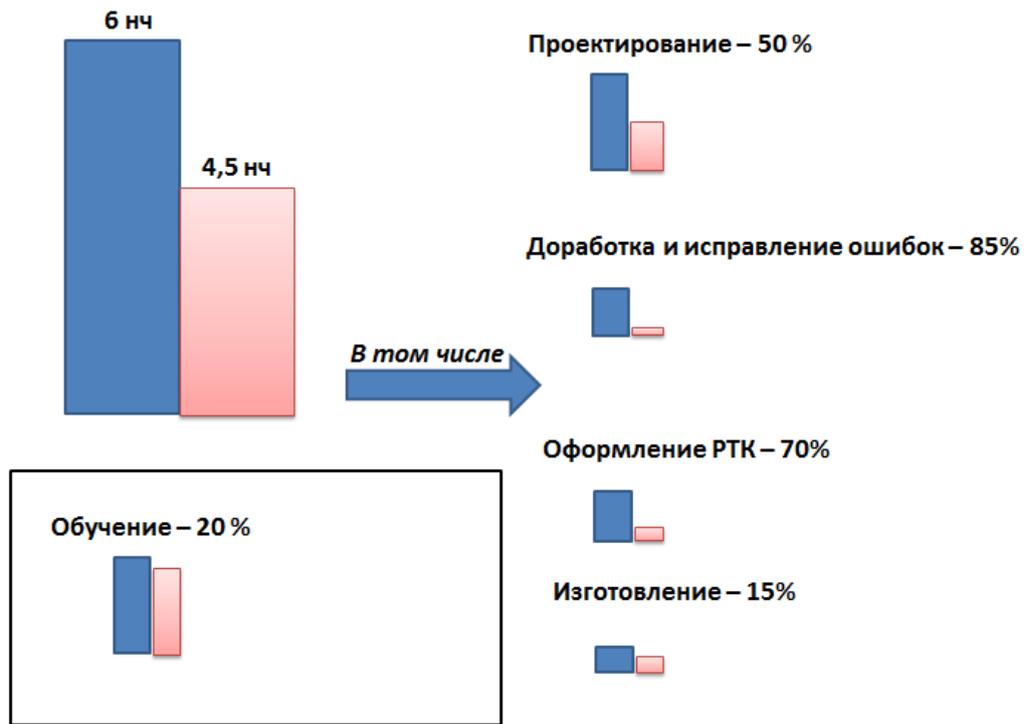


Рис. 92. Оценка положительных эффектов

Также положительным эффектом является уменьшение времени обучения новых сотрудников, за счет систематизации накопленных решений в области проектирования шаблонов. Благодаря включению псевдокодowego описания упрощается адаптация новых видов станков для изготовления шаблонов.

Выводы и рекомендации по четвертой главе:

1. Потенциала системы UG NX и моделирующей среды WIQA.Net достаточно для создания на основе них программного комплекса средств для структурного проектирования шаблонов авиационных деталей покрывающего большую часть их жизненного цикла.
2. Вопросно-ответная среда WIQA.Net может также использоваться для моделирования с последующей визуализацией процесса лазерного раскроя и изготовления шаблонов из листового материала.
3. Анализ составляющих этапов жизненных циклов шаблонов и соответствующих им деталей позволил определить состав компонентов, необходимых для разработки и включения в подсистему структурного проектирования шаблонов авиационных деталей.
4. Включение псевдокодowego описания шаблонов при их проектировании, документировании, изготовлении и применении позволяет производить накопление проектного опыта, со связанными положительными эффектами – уменьшение времени проектирования, снижение процента ошибочных решений, сокращения технологического времени на изготовление, повышение переносимости и адаптации программ, а также включения возможности проведения обучения сотрудников на качественно новом уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя обобщающий итог диссертационному исследованию и практическим разработкам, реализованным на базе результатов исследований, можно утверждать следующее:

Цель исследований, направленная на повышение уровня автоматизации в проектировании конфигурируемых шаблонов авиационных деталей, достигнута и получены новые научные результаты:

- 1.** Методика концептуального проектирования, представленная 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.

В диссертации получены следующие **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.

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.

Список литературы

1. Аверченков, В.И. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. Учеб. пособие для вузов/ В.И. Аверченков, И.А. Каштальян, А.П. Пархутик и др. Мн.: Выш. Шк. 1993. - 288 с.
2. Алиев, Ч.А. Система автоматизированного проектирования технологии горячей объемной штамповки / Ч.А. Алиев, Г.П. Тетерин - М.: Машиностроение, 1097.- 220 с.
3. Артамонов, Е.И. «Комплекс программных средств САД/САМ Графика-81» // «Автоматизация проектирования», №1, 1997 г. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.uns.ru/ap/> (дата обращения 18.02.2013).
4. Артамонов, Е.И. 11-я Международная конференция "Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта" (САД/САМ/РДМ-2011) / Е.И. Артамонов, А.В. Толоч, С.В. Смирнов, Б.С. Готов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 2. С. 3-13.
5. Афанасьев, М.Я. Разработка и исследование МАС для решения задач ТПП / Афанасьев Максим Яковлевич / автореф. дисс. к.т.н.
6. Ахатов, Р.Х. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства /Учебное пособие для студентов специальности «Самолёто- и вертолётостроение» (1 часть).- Иркутск: ИрГТУ, 2007.—104 с.
7. Барвинок, В.А. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, П.А. Бордаков, Б.П. Пешков // Учеб. для вузов по направлению «Авиа- и ракетостроение» и спец. «Самолето-и вертолётостроение».— М.: Машиностроение, 1996.— 575 с.
8. Батищев, Д.И. Оптимизация в САПР. / Д.И. Батищев, Я.Е. Львович, В.Н. Фролов — Воронеж, Изд-во Воронежского государственного университета— 1997.
9. Беспалов, В.А. Автоматизация параметрического проектирования гидроцилиндров с учетом условий их эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Беспалов Виталий Александрович. — Брянск. 2007.—20 с.
10. Бибило, П.Н. Основы VHDL. — М.: Солон-Р—2000.
11. Бобов, А.В. Оптимизация разработки конструкторско-технологической документации на изделие в САПР / А.В. Бобов, А.А. Большаков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2011. № 1. С. 89-98.
12. Бокшиц, Э.Б. САПР фрезерных приспособлений / Э.Б. Бокшиц, А.Г. Ракович // Автоматизация и современные технологии, №1. 1992.

13. Боровков, П.И. Компьютерный инжиниринг: учеб. пособие/ С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина // СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 93 с.
14. Бристоль, Б.Н. «Конструирование приспособлений для металлорежущих станков», Москва-Киев: МАШГИЗ, 1959 г.
15. Буч, Г. UML: Руководство пользователя. / Г. Буч, Дж. Рамбо, Ф. Джекобсон — Пер. с англ. — М.: ДМК, 2000.
16. Вермель, В.Д. Использование системы GeMMa 3D при производстве технологической оснастки на оборудовании с ЧПУ / В.Д. Вермель, С.Г. Зарубин // Автоматизация проектирования .№3. 1998.
17. Гаврилов, Д.А. Управление производством на базе стандарта MRP II. — СПб, Питер, 2003.
18. Гельмерих, Р. Введение в автоматизированное проектирование / Р. Гельмерих, П. Швиндт // М: Маш-е, 1990 г.
19. Голованов, Н.Н. Геометрическое моделирование. — М.: Физматлит, 2002.
20. Горбунов, Н.М. Изготовление элементов и монтаж сборочных приспособлений / Н.М. Горбунов, В.Ф. Мартюшов — Учеб. пособие, Моск. авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе.— М.: Изд-во МАИ, 1990.— 43 с.
21. ГОСТ 2.052-2006 Электронная модель изделия. Общие положения. — М.: Стандартиформ, 2006. — 15 с.
22. ГОСТ 2.102-2013 Виды и комплектность конструкторских документов. — М.: Стандартиформ, 2014. — 18 с.
23. Гришин, М.В. Проектные процедуры в технологической подготовке производства с применением информационных технологий / М.В. Гришин, А.В. Лебедев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 4-4. С. 825-833.
24. Грушвицкий, Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. / Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов — СПб: БХВ-Петербург, 2002.
25. Дин, Э. NX PROGRESSIVE DIE DESIGN - модуль NX по проектированию штампов последовательного действия. САПР и графика. 2011. № 3 (173). С. 30-33.
26. Дружинская, О.И. Методология систем автоматизированного проектирования технологических расчетов / О.И. Дружинская, Р.Н. Байгуллов // Наука в современных условиях: от идеи до внедрения. 2012. № 1. С. 27-33.
27. Ермолин, Е.А. Автоматическое определение минимальных габаритов деталей. — САПР и графика. №12. 2007. С. 80-81.
28. Жариков, В.В. Математическое моделирование эффективного производства в условиях конкуренции. — Тамбов.: Издательство ТГТУ, 2004 — 100 с.

29. Злыгарев, В.Р. Бесплазовое производство авиационной техники: проблемы и перспективы / В.Р. Злыгарев, О.К. Самсонов // САПР и Графика 2000. № 9.
30. Инвариантные компоненты систем автоматизированного проектирования приспособлений /под ред. А. Г. Раковича.— Минск: Наука и Техника, 1980.—180с.
31. Информатика: Учебник/ Под ред. Проф. Н.В. Макаровой.— М.: Финансы и статистика, 1997. — 768 с.
32. Информационные технологии в наукоемком машиностроении: компьютерное обеспечение индустриального бизнеса [под общ. ред. А.Г. Братухина]. К.: Техніка. 2001. 728 с.
33. Использование информационных технологий поддержки жизненного цикла изделий при производстве комплектующих в авиа-, приборо- и машиностроении. Учебная программа дисциплины Содержание Под общ. ред. д.т.н., проф. А.Н. Тихонова, д.т.н., проф. Ю.В. Полянского. — Ульяновск: УлГУ, 2006. — 221 с. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://hitech-edu.ru> (дата обращения 15.01.2014).
34. Карпушин, А.Н. Комплекс средств аспектно-ориентированного проектирования систем потоков работ конструкторско-технологической подготовки опытного приборостроительного производства / А.Н. Карпушин, С.Н. Ларин, П.И. Соснин // Автоматизация процессов управления. № 4 (22). С. 35-37. 2010.
35. Колчин, А.Ф. Управление жизненным циклом продукции. / А.Ф. Колчин, М.В. Овсянников, А.Ф. Стрекалов, С.В. Сумароков — М.: Анахарсис, 2002.
36. Концепция развития ИПИ-технологий в промышленности России. ВИМИ, 2002г.
37. Костромин, К. SolidEdge Intergraph - система твердотельного моделирования / К. Костромин // Автоматизация проектирования. №2. 1997.
38. Краснов, М. Unigraphics для профессионалов. /М. Краснов, Ю. Чигишев // М.: Лори, 2004. 319 с.
39. Кульга, К.С. Методология создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления авиационным производством, Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 27.
40. Лебедев, А.В. Проблемы перехода к бесплазовым методам подготовки производства / А.В. Лебедев // Известия самарского научного центра российской академии наук. Специальный выпуск «Технологии, процессы и системы в ходе их эволюционного развития» — Т. 1. — 2007.
41. Лебедев, А.В. Система автоматизированного проектирования и контроля плазово-шаблонной оснастки для конструктора-плазовика / Лебедев А.В., Татарчук Ю.В // Известия Самарского Научного Центра Российской Академии Наук. Специальный выпуск «Технологии, процессы и системы в ходе их эволюционного развития» Том 2. 2007г.

42. Лепестов, А. Autodesk product design suite: инновационное проектирование, САПР и графика. 2012. № 1 (183). С. 35-38.
43. Ляшко, Ф.Е. Методика проведения расчетов экономической эффективности работы сборочного производства самолетов на основе математического моделирования процессов в САПР, АСУТП, АСТПП комплексной АСУП//Проблемы машиностроения и автоматизации. Международный журнал. №2 — 2008. С.34-39.
44. Макарчук, А.В. Исследование и разработка математического и программного обеспечений подсистемы САПР рационального раскрытия листового материала при лазерной резке: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Макарчук Александра Васильевна. СПб., 2005. 150 с.
45. Макарчук, Н.В. Исследование и разработка математического и программного обеспечений подсистемы САПР лазерной резки листового материала: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Макарчук Наталья Васильевна. СПб., 2003. 156 с.
46. Маклаев, В.А. Создание и использование автоматизированной базы опыта проектной организации / В. А. Маклаев, П. И. Соснин. — Ульяновск: УлГТУ, 2012. — 360 с.
47. Маклаков, С.В. ERWin, BPWin. CASE-средства разработки информационных систем. — М.: Диалог—МИФИ, 1999.
48. Малюх, В.Н. «САД - вариант b» / В.Н. Малюх // Автоматизация проектирования. — №1. — 1997.
49. Маркорян, И.Н. Разработка моделей и методов снижения трудоемкости сборочных процессов авиационного производства на основе функционально-стоимостного анализа. дис. ... канд. экон. наук. 08.00.13 / Ирина Николаевна Маркорян. — Ульяновск. — 2006. — С.164.
50. Математическое моделирование дискретного производства: Сб. науч. трудов ИКТИ РАН. / Под ред. Ю.М.Соломенцева. — М.: ИКТИ РАН, 1993.Т—69 с.
51. Материалы комиссии по приёмке первой очереди «САПРиК-ПШО» в промышленную эксплуатацию. УАПК — 1985г.
52. Махитько, В.П. Адаптация в синтезированные информационно-коммуникационные системы технологического оборудования с числовым программным управлением / В.П. Махитько, И.Б. Сироткина //Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, № 4(2). С. 411-418.
53. Митрофанов, В.А. Возможности информационных технологий по управлению жизненным циклом разработки и изготовления наукоемкого изделия в машиностроении. / В.А. Митрофанов, А.П. Рыбаков [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.tehnopro.com> (дата обращения 23.07.2013).
54. Митрофанов, С.П. Технологическая подготовка гибких производственных систем / Митрофанов, С.П., Куликов Д.Д., Миляев О.Н., Падун Б.С.; Под общ. ред. С.П. Митрофанова. Л: Машиностроение, 1987 — 352 с.

55. Мэтт, О. КМОП И GAAS: Проектирование с применением различных технологий в САПР AGILENT ADVANCED DESIGN SYSTEM // Автоматизация в промышленности. 2014. Т. 03. С. 45-49.
56. Мясников, Ю.И., Мясников В.Ю. Системное проектирование станочных приспособлений: справочник в 2 томах / Под ред. В.И. Гузеева. — М.: Машиностроение, 2010. — Т. 2. — 466 с.
57. Норенков, И.П. Автоматизированное проектирование. Учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 188 с.
58. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик — М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.
59. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования. — М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.
60. Норенков, И.П. Телекоммуникационные технологии и сети /И.П. Норенков, В.А. Трудоношин —М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
61. Описание языка «САПРiК-ПШО». — 687.06102.014.35. — УАПК. — 1985.
62. Орлов, А. А. Организация и управление технологической подготовкой производства наукоемких деталей в условиях информационно – технологической среды опытно – экспериментального производства: автореф. дис. ... к.т.н. / Орлов Анатолий Александрович.
63. Основы ИПИ-технологий / Под общ. ред. д.т.н., проф. А.Н. Тихонова, д.т.н., проф. Ю.В. Полянскова. — Ульяновск: УлГУ, 2006. — 391 с.
64. ОСТ 1.51451-73 Шаблоны плазовые. Номенклатура. — Офиц. изд. — М.: б-и, 1975. — 12 с.
65. ОСТ 1.51452-73 Шаблоны пазовые. Назначение и обозначение технологических отверстий.— Офиц. изд. — М.: б-и, 1975. — 8 с.
66. ОСТ 1.51453 73 Шаблоны плазовые. Допуски на изготовление. — Офиц. изд. — М.: б-и, 1975. — 4 с.
67. ОСТ 1.51454-73 Шаблоны плазовые. Маркировка. — Офиц. изд. — М.: б-и, 1975. — 4 с.
68. ОСТ 1.51455-73 Шаблоны плазовые. Условные обозначения на шаблонах. — Офиц. изд. — М.: б-и, 1975. — 5 с.
69. Острейковский, В.А. Теория систем: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1997.
70. Павлов, В.В. Математическое обеспечение САПР в производстве летательных аппаратов. — М.: МФТИ, 1978.—68 с.
71. Петунин, А. А. Метод прямоугольной аппроксимации для решения задач нерегулярного фигурного раскроя-упаковки / А. А. Петунин, Э. А. Мухачева, А. С. Филиппова // Информационные технологии. 2008. № 1. С. 28–31.
72. Петунин, А.А. Методологические и теоретические основы автоматизации проектирования раскроя листовых материалов на машинах с

числовым программным управлением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.12 / Петунин Александр Александрович. — Уфа., 2010. — 39 с.

73. Погосян, М. А. Проектирование авиационных комплексов с применением информационных технологий / М. А. Погосян, А. Г. Братухин, Е. П. Савельевских, Ю. И. Тарасов, Д. Ю. Стрелец // Авиационная промышленность. 2004. — № 2. — С. 14-24.

74. Пономарев, Б.Б. Компьютерные технологии в науке, технике и образовании/ Учеб. пособие. – Иркутск: ИрГТУ, 2000. – 394 с.

75. Попов, П.М. Оптимальное управление в ходе эволюционного развития процессов и систем. / Попов П.М., Ляшко Ф.Е. // Учебное пособие. УлГТУ, 2000. С. 180.

76. Попов, П.М. Оптимизация технических решений автоматизированного проектирования и управления разработками для комплексного повышения эффективности подготовки машиностроительных производств. ... дисс. докт. техн. наук. 05.13.12.Ульяновск. УлГТУ, 2001. С. 288.

77. Продукты Adem CAD/CAM [Электронный ресурс]// Автоматизация проектирования. —1999. — №2. —Режим доступа: <http://www.osp.ru/ap/1999/02/13031725> (дата обращения 10.06.2012).

78. Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. — М.: Госстандарт РФ, 2001. — 28 с.

79. Р 50.1.030-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Интерактивные электронные технические руководства. Требования к логической структуре базы данных. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.znaytovar.ru/gost/2/R_5010302001_Informacionnye_te.html (дата обращения 23.07.2013).

80. Р 50.1.031-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции. — М.: Госстандарт РФ, 2001. — 32 с.

81. Р 50.605.80-93. Система разработки и постановки продукции на производство. Термины и определения. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293827/4293827526.htm> (дата обращения 23.07.2013).

82. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.2: Системотехнические задачи создания САПР / А. Н. Данчул, Л. Я. Полуян; Под ред. А.В.Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. — 144с.

83. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.3: Проектирование программного обеспечения САПР / Н. Б. Фёдоров, Н. Б. Гуляев; Под ред. А.В.Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. —159с.

84. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.4: Проектирование баз данных в САПР / О. М. Вейнеров, Э. Н. Самохвалов; Под ред. А.В.Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. — 144с.

85. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.5: Организация диалога в САПР / В. И. Артемьев, В. Ю. Строганов; Под ред. А.В.Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. — 144с.
86. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.6: Выбор состава программно-технического комплекса САПР / Ю. Г. Нестеров, И. С. Папшев; Под ред. А.В.Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. — 159с.
87. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.7: Практические системы САПР / В. Е. Климов; Под ред. А.В. Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. — 142с.
88. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.8: Математические методы анализа производительности и надежности САПР / В. И. Кузовлев, П. Н. Шкатов; Под ред. А.В. Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. — 144с.
89. Разработка САПР: Практич. пособ. В 10 кн. Кн.9: Имитационное моделирование / В. М. Черненький; Под ред. А.В. Петрова. — М.: Высшая школа, 1990. — 112с.
90. Роджерс, Д. Математические основы машинной графики. Пер. с англ. / Д. Роджерс, Дж. Адамс — М.: Мир, 2001.
91. Рытов, М.Ю. Автоматизация параметрического проектирования ленточных конвейеров с подвесной лентой: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / Рытов Михаил Юрьевич — Брянск, 2002. — 218 с.
92. САПР изделий и технологических процессов в машиностроении / Р.А. Аллик и др. — Л.: Машиностроение, 1986. — 319 с.
93. Селезнёв, В.А. Интегрированные компьютерные конструкторско-технологические САД/САМ-системы в подготовке квалифицированных рабочих, Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 2. С. 36-40.
94. Система технологической подготовки производства, Альбом №6, Детали и узлы оснастки для механической обработки деталей: Н-ск, 1989 г.
95. Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для вузов: В 9 кн./ Под ред. И.П. Норенкова. — М.: Высш.шк., 1986.
96. Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM, IV Международная научно-практическая конференция, апрель 2010 г.: / М-во образования и науки РФ, Пензенский гос. ун-т [и др.]; [под ред. В.З. Зверовщикова, И.И. Воячека]. Пенза, 2010.
97. Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами CAD/CAM/CAE/PDM, Всероссийская научно-практическая конференция, май 2007 г. / редкол.: Трилисский В.О., Воячек А.И., Соколов В.О. Пенза, 2007.
98. Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управления проектами CAD/CAM/CAE/PDM, III Международная научно-практическая конференция, март 2009 г.: сборник статей / Министерство образования и науки РФ, Федеральное агентство по

образованию, Пензенский гос. ун-т [и др.] ; [под ред. В.О. Трилисского, И.И. Воячека]. Пенза, 2009.

99. Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2013), XIII Международная конференция, Автоматика и телемеханика. 2013. № 9. С. 157.

100. Смирнов, А.В. Технология параллельного проектирования: основные принципы и проблемы внедрения / А.В. Смирнов, Р.М. Юсупов // Автоматизация проектирования. 1997. № 2. С. 50 -55.

101. Соснин, П.И. Вопросно-ответное программирование человеко-компьютерной деятельности / П.И. Соснин. — Ульяновск: УлГТУ, 2010.— 240 с.

102. Соснин, П.И. Комплекс средств контроля семантики проектных задач и проектных решений / П.И. Соснин, А.Б. Шамшев // Автоматизация процессов управления. – 2010. – №. 3. – С. 55-62.

103. Соснин, П.И. Программное управление потоками работ в концептуальном проектировании автоматизированных систем / П.И. Соснин, Ю.А. Лапшов, В.А. Маклаев. // OSTIS - 2013.

104. Соснин, П.И. Псевдокодовое программное управление потоками работ в проектировании автоматизированных систем / П.И. Соснин, Ю.А. Лапшов, В.А. Маклаев // Автоматизация процессов управления. № 3 (29). С.42-44. 2012.

105. СТП 687.07.0873-2004. Система качества. Технологическая подготовка производства. Изготовление и применение плазово-шаблонной оснастки. 2004.

106. Стратегия развития авиационной промышленности на период до 2015 года. Москва. Министерство промышленности РФ. 2005. С. 35.

107. Схирладзе, А.Г. Станочные приспособления, альбом / А.Г. Схирладзе, А.И. Матвеев, Ю.В. Новиков, Г.И. Рогозин // МГТУ (СТАНКИН), ТГТУ, 1999 г.

108. Тарасов, Е.В. Методы проектирования летательных аппаратов. Мультимедийные компьютерные технологии, учеб. пособие / Е. В. Тарасов, В. М. Балык; Федеральное агентство по образованию, Московский авиационный ин-т (гос. технический ун-т). Москва, 2006.

109. ТИ 687.25000.00167 Расчетно-технологическая карта. Назначение. Оформление, внесение изменений, хранение.

110. ТИ 687.25200.00022 Технологическая инструкция по составлению и изменению ведомости ПШО.

111. ТИ 687.25303.00002 Изготовление плазовых шаблонов для универсального стенда групповой отработки и контроля.

112. Титаренко, К.Г. Опыт разработки САПР изготовления и контроля плазово-шаблонной оснастки / К.Г. Титаренко, В.Н. Востриков, А.К. Жандаров // Авиационная промышленность. — №9 — 1986г.

113. Томашевский, В. Имитационное моделирование в среде GPSS. / В. Томашевский, Е. Жданова — М.: Бестселлер, 2003.
114. Трепалов, Г.В. Комплексная автоматизация увязки конструкции на плазе и изготовление обводообразующей оснастки на базе средств ЭВТ и оборудования с ЧПУ / Трепалов Г.В., Китаев В.Л. // *Авиационная промышленность*. №4. 1986.
115. Уэйкерли, Дж. Проектирование цифровых устройств. В 2-х кн. Пер. с англ. — М.: Постмаркет, 2002.
116. Фокс, А. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве. Пер. с англ. / А. Фокс, М. Пратт — М.: Мир, 1982.
117. Черненко, В.М. Имитационное моделирование. — М.: Высш.шк., 1990.
118. Шенаев, М.О. Разработка методики и средств организации технической подготовки производства пневмогидравлических систем изделий авиационной техники: автореф. дис. к.т.н. / Шенаев Максим Олегович.— М., 2009. — 146 с.
119. Щеглов, Д.К. Методы и средства выбора системы управления проектными данными конструкций летательных аппаратов/Научн. ред. О. А. Степанов; под общ. ред. В.Г. Пешехонова//Навигация и управление движением: Материалы докладов юбилейной X конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2009.
120. Энциклопедия PLM // Составители и редакторы: Д. Левин, В. Малюх, Д. Ушаков. Новосибирск: издательский дом “Азия”. 2008. 445 с.
121. Энциклопедия пользователя Visual C++ и MFC. /Ю.Олафсен [и др.].
122. Яблочников, Е.И. Организация единого информационного пространства технической подготовки производства с использованием PDM SmartTeam / Е.И. Яблочников // *Информационные технологии в проектировании и производстве*. № 3. 2001. с. 22-29.
123. Aberdeen Group. Boucher M. Cost Saving Strategies for Engineering: Using Simulation for Make Better Decisions. April 2010 // Aberdeen Group. 24 p.
124. Allen, W. Distributed Methodology Management for Design-in-the-Large. / W. Allen, D. Rosental, K. Fiduk // *IEEE*, 1990, PP. 346-349.
125. ANSYS 2012 Investor Day. Executive Summary. NASDAQ MarketSite. March 2012. 21p.
126. Bozdoc, M. The History of CAD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm>. (дата обращения 13.09.2011).
127. Bradshaw, J.M. — Cambridge, MA: AAI/ MIT Press — 1996.
128. Brilman, J. L'entreprise reinventee. —Paris — Les Editions d'Organisation — 1996.

129. Chad, J. Clarifying the Confusing Terminology of Drawingless Initiatives. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/5517/Clarifying-the-Confusing-Terminology-of-Drawingless-Initiatives.aspx> (дата обращения 05.02.2012).
130. Choi, A.C.K. Application of virtual assembly tools for improving product design /A.C.K. Choi, D.S.K. Chan, A.M.F. Yuen // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology— 2002.—V. 19. — № 5. — P. 377-383.
131. Choi, A.C.K. Product design enhancement by integration of virtual design and assembly analysis tools / Albert Choi C.K., Prasanthi Guda // Assembly Automation. — 2000. — V. 20. — № 4. — P. 283-290.
132. Chua, C.K. Rapid prototyping versus virtual prototyping in product design and manufacturing / C.K. Chua, S.H. Teh, R.K.L. Gay // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology.— 1999. — V. 15.— № 8. — P. 597-603.
133. Classes of MCAE Software: Clarifying the Market. Cyon Research corp., 2008. — 23 p.
134. Collins, C.R. A circle packing algorithm. Computational Geometry / Collins C.R., Stephenson K. // Theory and Applications, 25 (2003), pp. 235-256.
135. Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7,— 2010.
136. Danny, S.K. Simulation modelling in virtual manufacturing analysis for integrated product and process design // Assembly Automation.— 2003.— V. 23. —№ 1.— PP. 69-74.
137. Dmitrov, V. Tools for Computer-Aided STEP Oriented CALS Technology to Support Product Life Cycle and Virtual Enterprises. / V. Dmitrov, A. Andrienko. // The 12th International Logistics Congress - Greece, Athens, 1996.
138. Farsijani, H. Evolutionary methods for design of global world-class manufacturing for the world market / Hassan Farsijani // Известия Южного федерального университета. Технические науки. — 2002. — V. 26. № 3. PP. 202-203.
139. France, R. B. Model-driven development using UML 2.0: promises and pitfalls / R. B. France, Ghosh Sodipto , Dinh-Trong Trung // Computer.— 2006. — №2. — P. 59–66.
140. Gaines, B.R. Proceedings of the Tenth Banff Workshop. //B.R. Gaines, M.Musen Banff — Alberta, Canada —1996. — V. 2. — PP. 46:1 - 46:16.
141. Gaoliang, P. A desktop virtual reality-based integrated system for complex product maintainability design and verification / Gaoliang P., Yu H., Yang J., Xinhua L., He X., //Assembly Automation. — 2010. — V. 30. — № 4. P. 333-344.

142. Gennari, J.H. Reuse for knowledge-based systems and CORBA components / Gennari J.H., Stein A.R., Musen M.A. — Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems / Eds.
143. GRIP FUNDAMENTALS STUDENT - GUIDE NOVEMBER 2003 MT13010 —UGNX 2.
144. He, D. Delayed product differentiation: a design and manufacturing perspective / He D., Kusiak A., Tseng T.L. // Computer-Aided Design. — 1998. — V. 30. — № 2. — P. 105-113.
145. Heidenreich, G. New Approach to Consistency Control in Software Engineering. / G. Heidenreich, M. Minas, D. Kips. G. Heidenreich, M. Minas, D. Kips- Proc. 18th International Conference on Software Engineering. — IEEE. — 1996 — PP. 289-297.
146. History of CAD/CAM. CADAZZ. 2004. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.cadazz.com/cad-softwarehistory.htm> (дата обращения 15.03.2012).
147. Ivanov, D. Integrated customer-oriented product design and process networking of supply chains in virtual environments / Ivanov D., Teich T. // International Journal of Networking and Virtual Organisations. — 2012. — V. 11. — № 1. — P. 48-61.
148. Jezernik, A. A solution to integrate computer-aided design (CAD) and virtual reality (VR) databases in design and manufacturing processes / Jezernik A., Hren G. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2003. — V. 22. — № 11-12. — PP. 768-774.
149. Joshi, S.M. CAD and office integration: OLE for design and modeling--a new technology for ca-software / Joshi S.M., Veeramani D. // Computer-Aided Design. — 1997. — V. 29. — № 12. — P. 907.
150. Kan, H.Y. An internet virtual reality collaborative environment for effective product design / H.Y. Kan, V.G. Duffy, C.J Su // Computers in Industry. — 2001. — V. 45. — № 2. — P. 197-213.
151. Klein, M. Supporting conflict resolution in cooperative design systems.- IEEE Transactions on System, 1991. - Man, Cybernetics, v. 21, # 5, pp. 1379 - 1390.
152. Litvin, F. Local Synthesis and Tooth Contact Analysis of Face-Milled Spiral Bevel Gears/F. Litvin, Y. Zhang. — Technical Report for NASA.—1991.
153. Lopez, J.C. Design Assistance for CAD Frameworks / J.C.Lopez, M.F.Jacome, S.W.Director - Proceedings of the First GI/ACM/IEEE/IFIP European Design Automation Conference —1992.
154. Makarchuk, A.V. Heuristic model for optimal layout of shapes on a sheet of material for laser cutting. /"TEHS'02" Instrumentation in ecology and human safety S.-Pb, 2002, p. 176-179.
155. Oh, Y. Mapping product structures between cad and pdm systems using UML / Y. Oh, S.H. Han, H. Suh // Computer-Aided Design. 2001. T. 33. № 7. C. 521-529.

156. Okamoto, E. Design of a miniature implantable left ventricular assist device using CAD/CAM technology / E. Okamoto, T. Hashimoto, Y. Mitamura // *Journal of Artificial Organs*. 2003. V. 6. № 3. P. 162-167.
157. Okino, N. Object and Operation dualism for CAD/CAM architecture. // *Annals of the CIRP*, 1983, v. 34, №1, p.p. 179-182.
158. Pritschow, G. *Komponenten und Schnittstellen für offene Steuerungssysteme.* / G. Pritschow, G. Spur, M. Weck // München; Wien: Hanser.—1996.— P.216.
159. Rembold, U. *Computer Integrated Manufacturing and Engineering* / U. Rembold, B.O. Nnaji ,A. Storr // First printed in England. Addison-Wesley Publishing Company — 1993. — 640 p.
160. Seo, K.K. Approximate estimation of the product life cycle cost using artificial neural networks in conceptual design / K.K. Seo, J.H. Park, D.S. Jang, D. Wallace // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2002. V. 19. № 6. P. 461-471.
161. Sharma, R. A knowledge-based manufacturing and cost evaluation system for product design/re-design / R. Sharma , J.X. Gao // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2007. T. 33. № 9-10. C. 856-865.
162. Shyamsundar, N. Internet-based collaborative product design with assembly features and virtual design spaces / N. Shyamsundar, R. Gadh // *Computer-Aided Design*. 2001. T. 33. № 9. C. 637-651.
163. *Simulation-Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation.* May 2006. Report of the National Science Foundation. 88 p.
164. Sosnin, P.I. Question-Answer Programming in Collaborative Development Environment // In Proc. of The third IEEE conference Cybernetics and Intelligent Systems - CIS-RUM'2010, Singapore, 2010, pp. 273-278.
165. Sosnin, P.I. Conceptual Solution of the Tasks in Designing the Software Intensive Systems", // In Proc. of the 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference - MELECON 2008, Ajaccio, France, pp. 293 – 298.
166. Sosnin, P.I. Means of question-answer interaction for collaborative development activity" // Hindawi Publishing Corporation, *Advances in Human-Computer Interaction* , Volume 2009, Article ID 619405, USA, 2009, 18 p.
167. Sosnin, P.I. Question-Answer Models of Decision-Making Tasks in Automated Designing, // Proc. of the 22nd European Conference on Modelling and Simulation (ECMS'2008) ISBN: 978-0-9553018-5-8, pp. 173-180, 2008.
168. Sosnin, P.I. Question-Answer Approach To Human-Computer Interaction In Collaborative Designing. // In proc. IASDIS: Human Computer Interactions, Frei-burg, Germany, 2010, pp. 219-226.
169. Sosnin, P.I. Question-Answer Expert System for Ship Collision Avoidance" // In Proc of 51st International Symposium ELMAR-2009, Zadar, Croatia, 2009. — pp.185-188.

170. Sosnin, P.I. Question-Answer Means for Collaborative Development of Software Intensive Systems", Collection of scientific paper Complex Systems Concurrent Engineering, Part 3, Springer London, 2007, 151-158.

171. Sosnin, P.I. Question-Answer programming and modeling in expert systems" // In Proc. of Artificial Intelligence and Applications - AIA'2009, Vienne, Austria.

172. Sutton, P.R. Design Management Using Dinamically Defined Flows. / P.R. Sutton, J.B. Brockman, S.W. Director. // Proceedings of the 30th ACM/IEEE Design Authomation Conference, 1993, pp. 648-653.

173. Talaba, D. Advanced and Emerging Virtual and Augmented Reality Technologies in Product Design, Journal of Computer-Aided Design/ D. Talabă, I. Horvath ,H. Lee Kwan // Computer-Aided Design. V. 42. № 5. PP. 361-363. 2010.

174. Tsai, B.Yu. Iterative design and testing within the software development life cycle / B.Yu. Tsai, S. Stobart, N. Parrington, B. Thompson // Software Quality Journal. 1997. T. 6. № 4. PP. 295-310.

175. United States National Committee on Theoretical and Applied Mechanics (USNC/TAM) - June 2007 - 12 p.

176. Wood, G. Skill, an interactive procedural design environment / G. Wood and H-F S. Law - Proceeding IEEE Customer Integrated Circuits Conf., Portland, OR. — May 1986 —PP. 544-547.

177. Xu, Z.G. Novel design methodology supporting product life-cycle design / Z.G. Xu, J.H. Frazer, M.X.Tang // Computers in Industry. 2002. V. 49. № 3. PP. 253-265.

178. Yares, E. Why You Need to Understand Model-Based Engineering [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.3dcadworld.com/why-youneed-to-understand-model-based-engineering> (дата обращения 23.07.2013).

179. Zhou, L. Design of distributed information systems for agile manufacturing virtual enterprises using corba and step standards / L. Zhou, R. Nagi //Journal of Manufacturing Systems. 2002. V. 21. № 1. P. 14.

Представление формы РТК

```

<TABLE BORDER='1' CELSPACING='0',CELLPADDING='0', WIDTH='100%', HEIGHT='100%' ALIGN='center'>
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD WIDTH='2%'>Имя</TD>
<TD colspan='2'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='7'><b>Расчетно-технологическая карта цеха 141 ПТО BEHRENS SIGMA ALPHA</b></TD>
</TR>
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD rowspan='2'>Код основного изделия</TD>
<TD rowspan='2' WIDTH='2%'>Наименование вида оснастки</TD>
<TD rowspan='2' WIDTH='2%'>Цех потребитель оснастки</TD>
<TD rowspan='2' WIDTH='15%'>Номер детали,номер оснастки</TD>
<TD rowspan='2'>Источник информации</TD>
<TD rowspan='2' WIDTH='2%'>Номер ТП</TD>
<TD rowspan='2' WIDTH='2%'>Марка материала детали</TD>
<TD rowspan='2' WIDTH='2%'>Размер и материал заготовки</TD>
<TD rowspan='2' WIDTH='2%'>Коли-чество</TD>
<TD WIDTH='2%'>Лист</TD>
</TR>
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD ><b>$list</b></TD>
</TR>
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD rowspan='2'>476</TD>
<TD rowspan='2'><b>$naim_osnastki</b></TD>
<TD rowspan='2'>$ceh_potreb</TD>
<TD rowspan='2'>$nomer_detali</TD>
<TD rowspan='2'>РТК,ЭМТ</TD>
<TD rowspan='2'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD rowspan='2'>$profil</TD>
<TD rowspan='2'>$razmer_zagotovki</TD>
<TD rowspan='2'><b>$kolit</b></TD>
<TD >Листов</TD>
</TR>
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD ><b>$listov</b></TD>
</TR>
<TR HEIGHT='4%' ALIGN='center'>
<TD>Номер изменения</TD>
<TD colspan='3'>Перекодировка оснастки в ПДБ</TD>
<TD colspan='3'>Номер нормативной карты</TD>
<TD colspan='3'><b>Комплект</b></TD>
</TR>
<TR HEIGHT='2%' ALIGN='LEFT'>
<TD>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3' rowspan='4' valign='top'><font size='4'>$komplekt</font></TD>
</TR>
<TR HEIGHT='2%' ALIGN='LEFT'>
<TD>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
</TR>
<TR HEIGHT='2%' ALIGN='LEFT'>
<TD>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
</TR>
<TR HEIGHT='2%' ALIGN='LEFT'>
<TD>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
<TD colspan='3'>&nbsp;&nbsp;&nbsp;</TD>
</TR>
<TR HEIGHT='*' ALIGN='left'>
<TD colspan='10'>
<div id='pic'>
<img src='1.jpg' width='476' height='436'>
</div>
<div id='prim'>
<b>Примечание:</b>
<ol>
<li>Вскрыть 2 БО D8 <br> Вскрыть 8 НО D6,</li>
<li>Всю информацию и необходимые риски <br> нанести согласно эскизу РТК.</li>
<li>Установить упоры с двух сторон.</li>
<li>Контроль рабочего контура на КИМ.</li>
</ol>
</div>
</TD>
</TR>
</TABLE>

```

Код встраиваемого меню

<pre> !===== ! Панель инструментов для запуска GRIP-программ ! Название файла: Shablon.tbr ! TITLE Проектирование плоской оснастки VERSION 170 BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM1 LABEL Работа со слоями BITMAP \${UG_ISPO}\img_sloi.bmp ACTION \${UG_ISPO}\Sloi.grx BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM2 LABEL Нанесение номера детали BITMAP \${UG_ISPO}\img_Ne.bmp ACTION \${UG_ISPO}\Nomer.grx SEPARATOR BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM3 LABEL Информация борта BITMAP \${UG_ISPO}\img_bort.bmp ACTION \${UG_ISPO}\Bort.grx BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM7 LABEL Дать добавок BITMAP \${UG_ISPO}\img_dobavok.bmp ACTION \${UG_ISPO}\dobavok.grx BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM8 LABEL Дать кромку BITMAP \${UG_ISPO}\img_kra.bmp ACTION \${UG_ISPO}\kromka.grx BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM9 LABEL Место клеймения BITMAP \${UG_ISPO}\img_mmmk.bmp ACTION \${UG_ISPO}\mmmk.grx </pre>	<pre> BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM10 LABEL Проверка и экспорт данных о модели BITMAP \${UG_ISPO}\img_razm.bmp ACTION \${UG_ISPO}\export.grx BEGIN_DROPDOWN Point COLUMN_DROPDOWN 2 BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM4 LABEL Отметить БО BITMAP \${UG_ISPO}\img_BO.bmp ACTION \${UG_ISPO}\BO.grx BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM5 LABEL Отметить СО BITMAP \${UG_ISPO}\img_SO.bmp ACTION \${UG_ISPO}\SO.grx BUTTON UG_GRIP_PLOGRAM6 LABEL Отметить ШО BITMAP \${UG_ISPO}\img_SHO.bmp ACTION \${UG_ISPO}\SHO.grx END_DROPDOWN !===== Конец файла ===== </pre>
--	--

Исходный код некоторых утилит для UG NX

BO.grs (Разметка отверстий для базирования)

```

ENTITY/KR,KR2,CSYS1
NUMBER/X,Y,Z
LAYER/WORK,4,ACTIVE,1,2,4
GPOS/'Место для вставки',X,Y,Z,RESP
NOTE/X,Y,'BO'
CALL/'ZASH',X+Y
HALT

```

Bort.grs (Добавление обозначение борта на шаблоне)

```

ENTITY/TXT
DATA/ALPHA,90.0
STRING/SS(40)
LAYER/WORK,3
L0: PARAM/'Обозначение борта', $
'Высота борта',INT,H,$
'Угол борта',INT,ALPHA,$
'Радиус',INT,R,RSP
JUMP/L0:.,L100:.,RSP
L1:
IF/H,L11:.,L0:.,L12:
L11:
SS='B'+ISTR(-H)+'B'
JUMP/L20:
L12:
SS='B'+ISTR(H)+'A'
JUMP/L20:
L20:
IF/R,L0:.,L30:.,L21:
L21:
SS=SS+'R'+ISTR(R)
JUMP/L30:
L30:
IF/ALPHA, OSH1:.,
IF/180-ALPHA, OSH2:.,
IF/ALPHA-90 ,L31:.,L33:.,L32:
L31:
SS=SS+'M'+ISTR(90-ALPHA)+'<$s>закр'
JUMP/L40:
L32:
SS=SS+'M'+ISTR(ALPHA-90)+'<$s>откр'
JUMP/L40:
L33:
SS=SS+'M0<$s>'
JUMP/L40:
L40:&CSIZE=8
TXT=NOTE/0,0,SS
JUMP/L100:
OSH1:MESSG/'Угол должен быть неотрицательным'
JUMP/L0:
OSH2:MESSG/'Угол должен менее 180 градусов'
JUMP/L0:
L100:HALT

```

Sloi.grs (Сопоставление каждому геометрическому элементу атрибута – номер слоя)

```

ENTITY/LN1, LN2, LN3, LN4, TXT
NUMBER/I
STRING/ST(7,40), POG(6,40)
ST(1)='Контур шаблона'
ST(2)='Риски'
ST(3)='Информация'
ST(4)='Твердотельная модель'
ST(5)='Упоры'
ST(6)='Исходная деталь'
ST(7)='Погасить'
POG(1)='Контур шаблона'
POG(2)='Риски'
POG(3)='Информация'
POG(4)='Твердотельная модель'
POG(5)='Упоры'
POG(6)='Исходная деталь'

CAT/'kontur',1,DESCR,'Контур шаблона с отверстиями'
CAT/'riski',2,DESCR,'Риски'
CAT/'inform',3,DESCR,'Надписи'
CAT/'model',4,DESCR,'Твердотельная модель шаблона'
CAT/'upori',5,DESCR,'Упоры и их подписи'
CAT/'detal',15,DESCR,'Исходная деталь'
L0: CHOOSE/'Работа с слоями',ST,RESP
JUMP/L0:;L10:;,,L1:;L2:;L3:;L4:;L5:;L6:;L7:;RESP
L1: LAYER/WORK,1,ACTIVE,1..5
JUMP/L10:
L2: LAYER/WORK,2,ACTIVE,1..5
JUMP/L10:
L3: LAYER/WORK,3,ACTIVE,1..5
JUMP/L10:
L4: LAYER/WORK,4,ACTIVE,1..5
JUMP/L10:
L5: LAYER/WORK,5,ACTIVE,1..5
JUMP/L10:
L6: LAYER/WORK,15,ACTIVE,1..5
JUMP/L10:
L7: CHOOSE/'Погасить слои',POG,RESP
JUMP/L0:;L10:;,,L11:;L12:;L13:;L14:;L15:;L16:;RESP
L11: LAYER/WORK,16,INACT,1
JUMP/L7:
L12: LAYER/WORK,16,INACT,2
JUMP/L7:
L13: LAYER/WORK,16,INACT,3
JUMP/L7:
L14: LAYER/WORK,16,INACT,4
JUMP/L7:
L15: LAYER/WORK,16,INACT,5
JUMP/L7:
L16: LAYER/WORK,16,INACT,15
JUMP/L7:
JUMP/L10:
&CSLANT=30
&CSIZE=5
&CFONT=1
L10:HALT

```

Программная реализация функций на языке C#

Описание вектора

```
class Vector : Point // класс описания вектора
{
    public static int Scalarnoe(Point v1, Point v2) // Расчет скалярного произведения
    {
        return v1.X * v2.X + v1.Y * v2.Y;
    }
    public static int Vectornoe(Point v1, Point v2) // Расчет векторного произведения
    {
        return v1.X * v2.Y - v1.Y * v2.X;
    }
}
```

Описание элемента контура

```
abstract class Element // Элемент контура
{
    abstract public string Type();
    abstract public double Length();
    abstract public Point CenterPoint();
    private Point _Start;
    public Point Start
    {
        get { return _Start; }
        set { _Start = value; }
    }

    private Point _End;
    public Point End
    {
        get { return _End; }
        set { _End = value; }
    }
}
```

Описание линии

```
class Line : Element // Линия
{
    public Line()
    { }

    public Line(Point start, Point end)
    {
        this.Start = start;
        this.End = end;
    }

    public Line(int x1, int y1, int x2, int y2)
        : this(new Point(x1, y1), new Point(x2, y2))
    { }
    public override string Type()
    {
        return "Линия";
    }
    public override double Length()
    {
```

```

        return Math.Sqrt((Start.X - End.X) * (Start.X - End.X) + (Start.Y - End.Y) *
(Start.Y - End.Y));
    }
    public override Point CenterPoint() // Нахождение центральной точки
    {
        return new Point((Start.X + End.X) / 2, (Start.Y + End.Y) / 2);
    }
    public override string ToString()
    {
        return this.Type() + ": (" + Start.ToString() + " " + End.ToString() + ")";
    }
}

```

Описание дуги

```

class Arc : Element
{
    public Arc()
    { }

    public Arc(Point start, Point end, Point center)
    {
        this.Start = start;
        this.Center = center;
        this.End = end;
    }

    public Arc(int x1, int y1, int x2, int y2, int xc, int yc)
        : this(new Point(x1, y1), new Point(x2, y2), new Point(xc, yc))
    { }

    public Arc(Point center, int radius)
    {
        this.Center = center;

        this.Start = new Point(Center.X, Center.Y + radius);

        this.End = this.Start;
    }

    private Point _Center;
    public Point Center
    {
        get { return _Center; }
        set { _Center = value; }
    }
    public override string Type()
    {
        return "Дуга";
    }
    public override double Length()
    {
        return Math.Sqrt((Start.X - End.X) * (Start.X - End.X) + (Start.Y - End.Y) *
(Start.Y - End.Y));
    }
    public override Point CenterPoint()
    {
        if (Start == End) { return Center; }
        else
        {
            return new Point((Start.X + End.X) / 2, (Start.Y + End.Y) / 2);
        }
    }
}

```

```

    public override string ToString()
    {
        return this.Type() + ": (" + Start.ToString() + " " + End.ToString() + " " +
Center.ToString() + ")";
    }
}

```

Описание контура – список элементов

```

class Kontur
{
    public Kontur()
    { }

    public Kontur(List<Element> frieng)
    {
        Frieng = frieng;
    }

    private List<Element> _Frieng;
    public List<Element> Frieng
    {
        get { return _Frieng; }
        set { _Frieng = value; }
    }
    public void Clear()
    {
        this.Frieng.Clear();
    }
    public override string ToString()
    {
        string res;
        res = "Контур : \n\r\t(\n\r";
        int i = 0;
        foreach (Element el in Frieng)
        {
            res += "\t\t" + (++i).ToString() + "|" + el.ToString() + " \n\r";
        }
        res += "\t";
        return res;
    }
    public List<Point> getPoint()
    {
        List<Point> Points = new List<Point>();
        foreach (Element el in Frieng)
        {
            Points.Add(el.Start);
            Points.Add(el.End);
        }
        /* foreach (Point p in Points)
        {
            Console.WriteLine(p.ToString());
        }
        */
        return Points;
    }
    public void CenterPoint()
    {
        List<Point> Points = new List<Point>();
        foreach (Element el in Frieng)
        {
            Points.Add(el.CenterPoint());
        }
    }
}

```

```

var _cx = 0;
var _cy = 0;
var _i = 0;
foreach (Point p in Points)
{
    _i++;
    _cx += p.X;
    _cy += p.Y;
}
_cx /= _i;
_cy /= _i;
Console.WriteLine(new Point(_cx, _cy));
}
}

```

Описание шаблона – список контуров

```

class Shablon
{
    public Shablon()
    { }
    public Shablon(List<Kontur> frieng)
    {
        Frieng = frieng;
    }
    private List<Kontur> _Frieng;
    public List<Kontur> Frieng
    {
        get { return _Frieng; }
        set { _Frieng = value; }
    }
    public override string ToString()
    {
        string res;
        res = "Шаблон : \n\r(\n\r";
        int i = 0;
        foreach (Kontur kon in Frieng)
        {
            res += '\t' + (++i).ToString() + "|" + kon.ToString() + " \n\r";
        }
        res += ")";
        return res;
    }
}
}

```

Нахождение точек пересечения

```

public void Peres(Point StartPoint, Point DirectPoint) // Определение пересечений
{
    Point v = DirectPoint - StartPoint; //v - направление луча
    Point v1 = Start - StartPoint; //v1, v2 - направления векторов из начала луча в
концы отрезка
    Point v2 = End - StartPoint;
    Console.WriteLine("Вектор" + v.ToString());
    Console.WriteLine("Вектор начала" + v1.ToString());
    Console.WriteLine("Вектор конца" + v2.ToString());
    if (Vector.Vectorное(v1, v2) == 0) //Если v1 * v2 = 0
    {
        if (Vector.Vectorное(v1, v) == 0) //Если v1 * v нулевое
        {
            if ((Vector.Scalarное(v, v1) > 0) || (Vector.Scalarное(v, v2) > 0))
            //проверяем скалярные произведения (v1, v) и (v2, v)
            {
                Console.WriteLine("Отрезок лежит на луче"); // Найти ближайшую точку
            }
        }
    }
}

```



```

    }
    // Для каждого нулевого элемента рассчитывается значение  $G_{ij}$ , равное сумме
    // наименьшего элемента  $i$  строки
    // и наименьшего элемента  $j$  столбца
    // Результат записывается в список кортежей, состоящий из: суммы,  $i$ ,  $j$ 
    List<Tuple<int, int, int>> allZero = new List<Tuple<int, int, int>>();
    for (int i = 0; i < n; i++)
        for (int j = 0; j < n; j++)
            //if (i != j)
            if (!us[i, j])
                if (mat[i, j] == 0)
                    {
                        int minIValue = Int32.MaxValue;
                        int minI = Int32.MaxValue;
                        int minJValue = Int32.MaxValue;
                        int minJ = Int32.MaxValue;
                        for (int a = 0; a < n; a++)
                            {
                                if (!us[a, j])
                                    // if (a != j)
                                    if (mat[a, j] < minIValue && a != i) minIValue = mat[a,
j]);
                                    minI = a;
                                }
                                for (int a = 0; a < n; a++)
                                    {
                                        if (!us[i, a])
                                            // if (a != i)
                                            if (mat[i, a] < minJValue && a != j) minJValue = mat[i,
a]);
                                        minJ = a;
                                    }
                                allZero.Add(new Tuple<int, int, int>(minIValue + minJValue, i,
j));
                            }
                    }
    // Сортировка кортежа
    allZero.Sort((a, b) => a.Item1.CompareTo(b.Item1));
    // только максимальные
    for (int i = 0; i < allZero.Count; i++)
        if (allZero[i] != allZero[0]) allZero.RemoveAt(i);
    return allZero;
}
public List<Tuple<int, int>> findShortest()
{
    List<Tuple<int, int, int>> shortestWay = new List<Tuple<int, int, int>>();
    for (int i = 0; i < mat.GetLength(0); i++)
        {
            List<Tuple<int, int, int>> allZero = this.byPass();
            int delI = allZero[0].Item2;
            int delJ = allZero[0].Item3;
            shortestWay.Add(new Tuple<int, int>(delI, delJ));
            for (int a = 0; a < mat.GetLength(0); a++)
                {
                    us[delI, a] = true;
                    us[a, delJ] = true;
                }
        }
    return shortestWay;
}
}
}

```