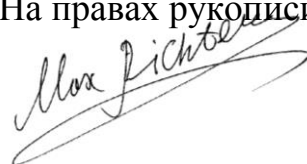


На правах рукописи



Гришин Максим Вячеславович

**СРЕДСТВА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАБЛОННОЙ ОСНАСТКИ В  
УСЛОВИЯХ АВИАЦИОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации  
проектирования (промышленность)

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ульяновск — 2015

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

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент,  
**Ларин Сергей Николаевич**

Официальные оппоненты:

**Смирнов Сергей Викторович,**  
доктор технических наук, доцент, директор, ведущий научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией анализа и моделирования сложных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления сложными системами Российской академии наук, г. Самара

**Бурдо Георгий Борисович,**  
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии и автоматизации машиностроения» Тверского государственного технического университета

Ведущая организация:

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С. П. Королева (национальный исследовательский университет)»,**  
г. Самара

Защита состоится **«16» декабря 2015 г. в 12 часов 00 минут** на заседании диссертационного совета Д212.277.01 при Ульяновском государственном техническом университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32 (ауд. 211, главный корпус).

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

Отзывы и замечания по автореферату в двух экземплярах, заверенных печатью, просьба высылать по вышеуказанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан **«14» октября 2015 г.**

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



Смирнов Виталий Иванович

### **Общая характеристика работы**

**Актуальность темы.** В авиастроительном производстве для изготовления, контроля и сборки деталей фюзеляжа, крыла, механизации, включая детали их обшивки и силового набора, широко используется шаблонная оснастка, в состав которой входят десятки тысяч шаблонов разной степени сложности и назначения. Этот факт обусловлен такими особенностями деталей названного класса, как сложность их геометрических форм, малая жёсткость, большие габариты, а также высокие требования к точности изготовления и точности увязки.

В общем случае шаблон является не только 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.

В данной работе в инструментально-технологическое сопровождение процессов проектирования конфигурируемых шаблонов предлагается включить средства онтологического сопровождения, обеспечивающие: контролируемое накопление опыта разработок шаблонов в форме моделей прецедентов, подготовленных к повторному использованию; систематизацию моделей шаблонов, в основу которой положено интерактивное классифицирование и связывание с использованием механизмов систематизации в онтологиях; контролируемое использование лексики, включая понятия, в документах, разрабатываемых в процессе работ. Важной особенностью предлагаемых средств является то, что они опираются на результаты экспериментов, проводимые с семантическими моделями шаблонов и моделями программ числового программного управления, которые используются в их производстве.

Выбор и реализация той части структуры шаблона, которая дополняет включенную в шаблон форму (и размеры) определенного сечения детали, выводят на ряд проектных задач, допускающих альтернативные решения. Даже в тех случаях, когда для проектирования шаблонов применяется библиотека их «лучших образцов», которые подтвердили свою «рациональность» в производстве уже освоенных типов самолетов, в переходе к производству нового самолета шаблонную оснастку придется создавать заново, разумеется, используя освоенные шаблоны, модифицируя их и разрабатывая новые шаблоны. То есть творческий характер проектирования шаблонов и их взаимоувязки останется. Именно такое положение дел и определяет целесообразность включения экспериментов (не с шаблонами, а с их моделями) в жизненный цикл проектирования (особенно сложных, конфигурируемых) шаблонов.

**Областью исследований** настоящей работы является технологическая подготовка в производстве изделий авиационной техники гражданского и двойного назначения.

**Объектом исследования** являются инструментальные средства проектирования и представления онтологий в системе конструкторской подготовки производства шаблонной оснастки в мелкосерийном авиационном производстве.

**Предметом исследования** настоящей работы являются онтология проектирования шаблонной оснастки и ее возможности, направленные на повторное использование проектных решений, а также принципы систематизации и классификации шаблонной оснастки.

**Направление исследований в диссертации связано с:**

- исследованием инструментально-технологических, графических средств моделирования и проектирования шаблонной оснастки при создании сложных авиационных изделий, в том числе методов и методик классификации;

- исследованием средств онтологического сопровождения, обеспечивающих контролируемое накопление опыта разработок шаблонов в форме моделей прецедентов, подготовленных к повторному использованию;

- исследованием и систематизацией моделей технологической оснастки, в основу которых положено классифицирование и связывание с использованием механизмов систематизации в онтологиях.

**Целью диссертационного исследования** является совершенствование процессов конструкторско-технологической подготовки производства при проектировании шаблонной оснастки на основе прикладных онтологий, а также снижение трудоемкости и повышение уровня качества процесса проектирования путем разработки и внедрения комплекса средств онтологической поддержки за счет повторного использования опыта проектных процедур.

Для достижения поставленной цели в диссертации сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Провести аналитический обзор существующих средств автоматизированного (итерационно-графического) проектирования шаблонной оснастки.

2. Провести аналитический обзор существующих инструментальных программных средств, созданных специально для проектирования, редактирования и анализа онтологий.

3. Разработать механизмы инструментально-технологического сопровождения процессов проектирования шаблонной оснастки с использованием средств онтологической поддержки.

4. Разработать и систематизировать модели шаблонов, в основу которых положено классифицирование и связывание с использованием механизмов систематизации в онтологиях, контролируемое использование лексики, включая понятия, в документах, разрабатываемых в процессе работ.

5. Разработка методик, обеспечивающих контролируемое накопление опыта разработок шаблонной оснастки в форме моделей прецедентов, подготовленных к повторному использованию.

6. Включить в состав программно-функционального комплекса проектирования шаблонной оснастки инструментально-моделирующую среду, предназначенную для построения прикладных онтологий.

7. Реализация средств поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки, разработка методик работы с ними и проведение на их базе экспериментальных исследований предложенных моделей с использованием механизмов систематизации в онтологиях.

**Научная новизна.** Новизна научных результатов, полученных в диссертационной работе, заключается в следующем:

1. Прецедентно-ориентированная на проектирование шаблонной оснастки модель онтологии с расширенной структурой секций, в число которых входят секции, дополнительно обеспечивающие эффективную онтологическую поддержку в решении задач поиска шаблонов, а также изготовлении, контроле и увязке деталей силового набора планера самолета.

2. Интерактивная классификация, в которой определены и исследованы объекты классов шаблонов применительно к производственным технологическим процессам, для каждого из них установлены его собственные конструктивные составляющие, позволяющие наиболее рационально определить отношение шаблона к изготавливаемой детали, реализованной в виде секции онтологии и в виде формального представления древа классификатора.

3. Методика онтологической поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки учитывающая контролируемое накопление опыта разработок шаблонов в форме моделей прецедентов, подготовленных к повторному использованию.

4. Алгоритмы проектирования шаблонной оснастки, интегрированные в технологическую подготовку производства, отличающиеся повышенной степенью автоматизации процесса проектирования достигаемой за счет программирования части типовых операций проектировщика в плане оформления геометрии электронной модели шаблона.

**Практическую ценность работы** составляет разработанный комплекс средств онтологической поддержки процесса проектирования, интегрированный в инструментально-технологическую среду WIQA и модули UG NX.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Прецедентно-ориентированная модель онтологии проектирования шаблонной оснастки, в основу которой положено классифицирование, расширенные структуры секций и интегральные модели прецедентов шаблонов;

2. Интерактивная классификация шаблонной оснастки, в которой определены и исследованы объекты классов шаблонов применительно к производственным технологическим процессам при изготовлении деталей силового набора планера самолета;

3. Разработанные на основе предложенной модели онтологии и методики, средства онтологической поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки представление которых осуществлено в вопросно-ответной моделирующей среде WIQA, и программные модули GRIP UG NX реализованные на основе предложенных алгоритмов проектирования повышающих качество оснастки и степень автоматизации проектных работ.

**Практическая значимость и реализация результатов исследований.**

Разработанный комплекс средств онтологической поддержки проектирования шаблонной оснастки дает возможность передвинуть «центр тяжести» работ по подготовке и организации производства изделий на ранние стадии проектирования и, следовательно, позволяет максимально совместить во времени процессы проектирования и ТПП, что предопределяет условия для маневрирования различными ресурсами в зависимости от специфики производства и внешних факторов.

Практическая значимость работы подтверждается использованием её результатов и рекомендаций на основании акта внедрения в ОАО «Ил».

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации доложены и представлены на следующих научно-практических конференциях: «Теория и практика современной науки». XII международная научно-практическая конференция. Декабрь 2013, Москва. «Теория и практика современной науки». XIII международная научно-практическая конференция. Апрель 2014, Москва. «Энергосбережение, информационные технологии и устойчивое развитие».

Международная научно-практическая интернет-конференция. Июнь 2014, Ижевск. «Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности». Международная научно-практическая конференция. Август 2014, Казань. «Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития. CALS-технологии в авиастроении». IV международная научно-практическая конференция. Октябрь 2014, Ульяновск. 5-я Международная конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2015). Февраль 2015, Минск, Беларусь.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано *14 работ* (статей), в т. ч. 9 работ опубликованы в рецензируемых изданиях, определенных ВАК РФ, имеется 2 свидетельства о регистрации ПО для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основных результатов и выводов и списка литературы из 182 наименований и приложений; включает 108 рисунков, 8 таблиц.

#### **Личный вклад соискателя.**

Научные результаты, приведенные в диссертационной работе и сформулированные в положениях, выносимых на защиту, получены автором лично. Работы [8–14], опубликованные в соавторстве с научным руководителем, которому принадлежат формулировка концепции решаемой проблемы и постановка цели исследования. Специализация онтологии и ее применения к задачам проектирования шаблонной оснастки, рассматриваемые в совместных работах, предложены и разработаны лично автором. Для работ с соавторами по публикациям [1, 2, 4, 5, 7] все особенности проектирования и моделирования сформулированы, специфицированы и реализованы лично диссертантом.

#### **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, цель и задачи работы, практическое значение, дана краткая характеристика работы по разделам и приведены основные результаты работы, выносимые на защиту.

**В первой главе** дается краткий обзор существующего положения по проектированию и созданию деталей авиационной техники в условиях многономенклатурных производств, анализируются недостатки наиболее распространенных систем проектирования. На основании опыта разработок формулируются основные принципы и их техническая основа совершенствования процесса создания технических средств.

Для проведения экспериментов, создания онтологии и средств онтологического сопровождения предлагается и обосновывается использование вопросно-ответной моделирующей среды WIQA, средства которой были адаптированы к инструментальной поддержке жизненного цикла проектирования и изготовления шаблонной оснастки (рис. 1).

Далее рассматриваются редакторы онтологий как инструментальные программные средства, созданные специально для проектирования, редактирования и анализа онтологий. Обосновывается, что функция любого редактора онтологий состоит в поддержке процесса формализации знаний и представлении онтологии как спецификации.

Анализ литературных источников показал, что в практике исследуемых работ и экспериментов проблемы инструментально-технологического

проектирования конфигурируемых шаблонов имеют массу незавершенных решений. Несмотря на глубокую проработку и неплохую реализацию, подобные решения охватывают не весь спектр задач, стоящих перед проектировщиком шаблонной оснастки.

Также был выполнен детальный вопросно-ответный анализ постановки задачи, включающий мотивационно-целевой анализ. Логика анализа используется для изложения материалов в последующих главах:

*Разработка комплекса средств онтологической поддержки процесса проектирования шаблонов, обеспечивающего повышение качества и снижение сроков их разработки с использованием CAD-систем твердотельного моделирования за счет применения онтологии, классификации шаблонов и моделирования их алгоритмики, включенного в жизненный цикл проектирования шаблонов.*

Далее сформулирована комплексная задача:

**З.** Для повышения качества проектируемых шаблонов разработана более глубокая классификация, являющаяся основой для разработки системы онтологии в среде псевдокодowego моделирования WIQA, позволяющая на первых этапах при анализе детали на условия поставки оснастки, задать тот необходимый тип шаблона, который наиболее приемлем для изготовления заданной детали, а в случае отсутствия необходимого шаблона в системе - создать новый с учетом всех необходимых параметров.

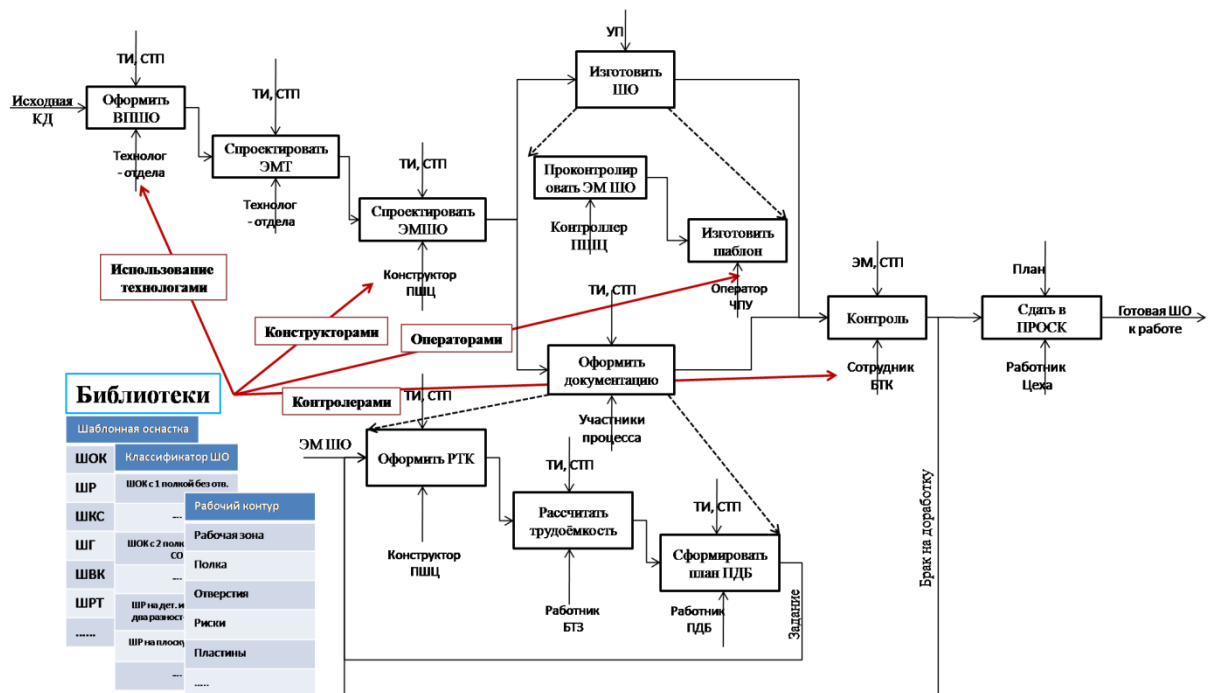


Рис. 1. Жизненный цикл изготовления плоского металлического шаблона

В соответствии с установками предлагаемого подхода «онтология» предназначена для систематизации моделей шаблонов, которые разработаны и используются в производстве авиационных деталей.

В спецификациях «онтологии» и её материализации принципиальное место занимает вопросно-ответная память (QA-память) инструментария WIQA, обобщённо представленная на рисунке 2.

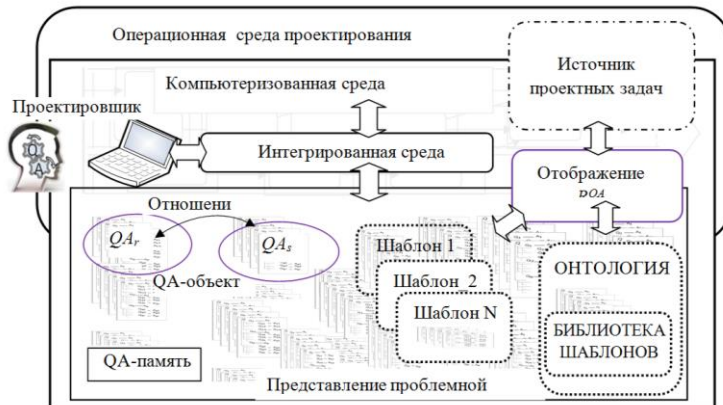


Рис. 2. Отображение процесса проектирования шаблонной оснастки на вопросно-ответную память

В число базовых атрибутов ячейки QA-памяти включены: уникальное имя модели (тип и индекс, приписываемый автоматически), например Q1.1.2, способное выполнять роль адреса ячейки; идентификатор создателя модели, то есть имя I; знаковая модель Q или A, в форме символьной строки; момент времени создания или модификации; имя проекта и другие атрибуты. Версия ячейки QA-памяти, адаптированная к регистрации составляющих онтологии, приведена на рисунке 3.

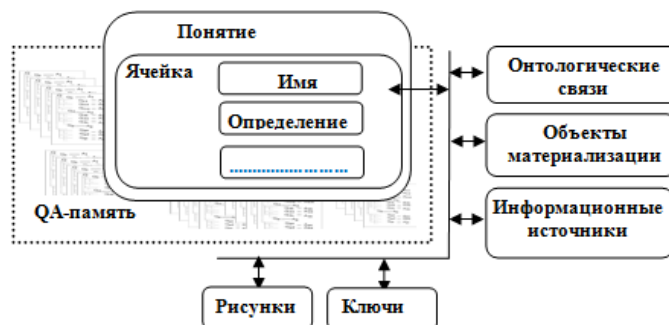


Рис. 3. Ячейка QA-памяти, адаптированная к регистрации составляющих онтологии

Во второй главе проводится исследование структурной организации, принципов построения и схемы работы комплекса средств онтологической поддержки (рис. 4).

Количество общедоступных редакторов онтологий на сегодняшний день превысило 100. Одними из широко используемых редакторов онтологий можно считать такие программные продукты, как: **Ontolingua, Protege, Magenta, OntoSaurus, OntoEdit, WebODE** и др.

Создание шаблонной оснастки находит своё отражение в определенной системе понятий, которые полезны в решении различных задач, включая задачу построения интерактивного классификатора шаблонов. В рассматриваемом случае для материализации системы понятий было решено использовать инструментально-моделирующую среду WIQA, одна из компонентов которой «Онтология» предназначена для построения прикладных онтологий.



Среда WIQA ориентирована на концептуальное моделирование в процессах решения проектных задач, в основу которого положено псевдокодовое программирование активности проектировщиков, что переносится и на программный доступ к составляющим онтологии, включая доступ по ссылкам к концептуальным моделям шаблонов.

Для представления каждого шаблона выбрана модель  $M(Z_j)$  задачи  $Z_j$  его повторного использования проектировщиком, оказавшимся в определенной задачной ситуации. Первая реакция проектировщика в задачной ситуации «Обратиться к опыту и попытаться найти в нем подходящий прецедент».

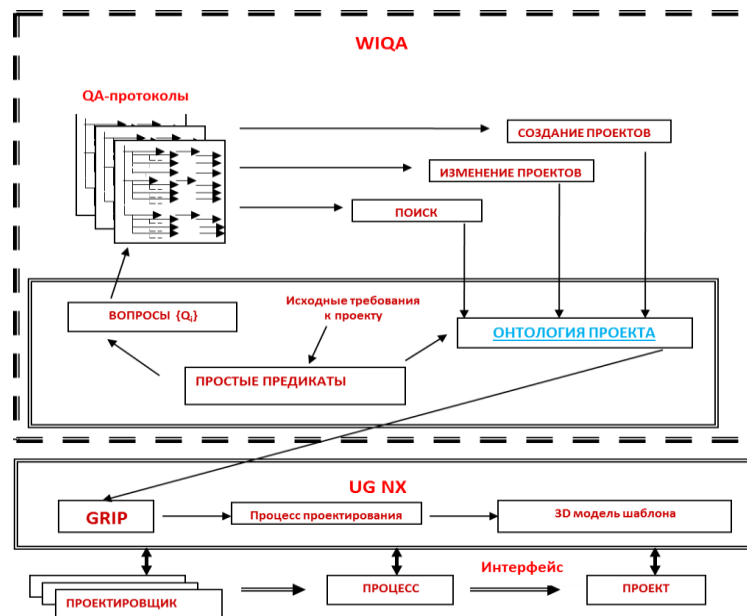


Рис. 4. Общая схема комплекса средств онтологической поддержки

С каждым прецедентом связывают определенное типовое поведение в определенных условиях по образцу поведения, оказавшимся (многократно) полезным в прошлом.

Независимо от того, что прецеденты разнообразны как по структуре, так и по содержанию, у шаблонов прецедентов существует подобная логика доступа, которая (в общем случае) приводит к логической модели прецедента  $P^L$ , представленной на рисунке 5.

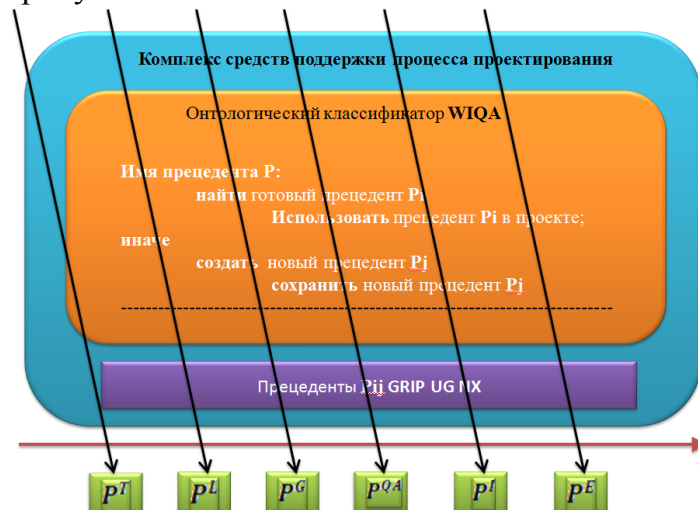


Рис. 5. Интегральная модель прецедента

На этом же рисунке представлена модель прецедента (шаблона), используемая для его интегрального представления в среде WIQA. Модель привязана к жизненному циклу построения прецедента (шаблона) и его освоения, по ходу чего создаются следующие специализированные модели:

- **текстовая модель  $P^T$** , представляющая постановку задачи  $Z(P_i)$ , в результате решения которой создан образец прецедента (шаблона) как определенный результат интеллектуального освоения реального прецедента.

В качестве примера можно представить модель  $P^T$  в виде запроса на проектирование шаблона, являющегося основными исходными данными, как: *«спроектировать шаблон обрезки и кондуктора на Z-образный профиль с тремя рабочими полками и отверстиями **НО** и **СО**, без подсечек, с учетом добавочного материала»*.

- **логическая модель  $P^L$** , конкретизирующая типовые модели в виде формулы логики предикатов, записанной на языке постановки задач  $P^T$ .

Рассмотрим модель  $P^T$ , описанную выше в виде логической модели, основанной на логике предикатов. Основные элементы построения представлены в таблице 1.

```

Шаблон=Rabcon&Dob&Per&Dopel&Risk
%раскрытие рабочего контура Rabcon %
Rabcon=Pl1&Pl2&Pl3&SO&NO
%объявление полок рабочего контура Pl1, Pl2, Pl3%
Pl1=pr(a,d,P1,P2)
Pl2=pr(a,d,P1,P2)
Pl3=pr(a,d,P1,P2)
%Объявление отверстий SO, NO%
SO=crl(R,P1,P2)
NO=crl(R,P1,P2)
%раскрытие добавочного материала Dob%
Dob=S&BO
S=pr(a,b,P1,P2)
BO=crl(R,P1,P2)
%объявление перемычек Per%
Per=Per1&Per2&Per3&...&Per6
Per1=seg1&seg2
Per2= seg1&seg2
...
Per6= seg1&seg2
%Раскрытие дополнительных элементов Dopel%
Dopel=Upor1&Upor2&...&Upor6
Upor1=crl(R,P1,P2)
...
Upor6=crl(R,P1,P2)
%Построение рисков Risk%
Risk=Line1&Line2&...Line6
Line1=(P1,P2)

```

Таблица 1  
Библиотека элементов шаблона

| №<br>п\п | Наименование | Обозначение             | Представление                       | Примечание    |
|----------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 1        | Rabcon       | Рабочий контур          | <i>Комплексный элемент</i>          |               |
| 2        | Pl           | Полка профиля           | $pr(a,d,P1,P2)$                     | Прямоугольник |
| 3        | SO           | Сборочное отверстие     | $crl(R,P1,P2)$                      | отверстие Ø8  |
| 4        | NO           | Направляющее отверстие  | $crl(R,P1,P2)$                      | отверстие Ø6  |
| 5        | Dob          | Добавок                 | <i>Комплексный элемент</i>          | Прямоугольник |
| 6        | S            | Усиливающий элемент     | $pr(a,d,P1,P2)$                     | Прямоугольник |
| 7        | BO           | Отверстие БО            | $crl(R,P1,P2)$                      | отверстие Ø8  |
| 8        | Per          | Перемычка               | $Seg(P1,P2)$                        | 10-15 мм      |
| 9        | Dopel        | Дополнительные элементы | <i>Многономенклатурные элементы</i> |               |
| 10       | Upor         | Упор                    | $crl(R,P1,P2)$                      | Ø10           |
| 11       | Risk         | Риска                   | $Line=(P1,P2)$                      |               |
| 12       | a            | Длина                   | const                               | мм            |
| 13       | b            | Ширина                  | const                               | мм            |
| 14       | R            | Радиус                  | const                               | мм            |
| 15       | P1           | Точка                   | (x,y)                               |               |
| 16       | P2           | Точка                   | (x,y)                               |               |

- **графическая модель прецедента (шаблона)  $P^G$** , представляющая его материализацию в различных вариациях (рис. 6);

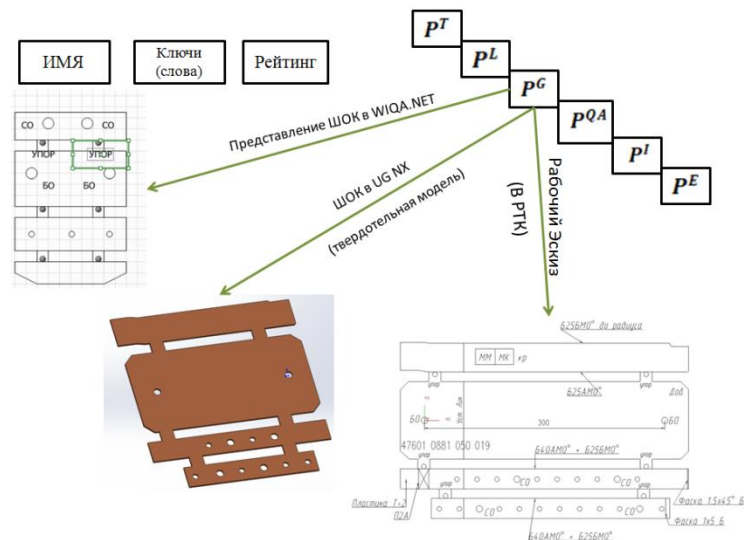


Рис. 6. Преставление графической модели прецедента

- **вопросно-ответная модель прецедента  $P^{QA}$** , соответствующая задаче  $Z(P_i)$ .

В качестве примера рассмотрим ниже вопросно-ответную модель с учетом разработанной классификации проектирования ШОК, описанного выше для задачи  $Z(P_i)$ .

Определим список (фрагмент) вопросов и ответов:

Q1. Какой необходим шаблон?

A1. Шаблон обрезки и кондуктор.

Q2. Шаблон цельный?

A2. Да //Исходя из габаритов детали.

Q3. На деталь из какого профиля?

A3. Z-образный профиль.

Q4. Сколько рабочих полок?

A4. Три рабочие полки.

- модель  $P^I$ , представляющая вложенное в шаблон (прецедент) поведение в форме исходного кода его программы.

Ниже рассмотрим часть исходного кода исполнения задачи  $Z(P_i)$  написанного в вопросно-ответной среде WIQA.

// Создание первой полки рабочего контура.

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=PL1", "X=100", "Y="50", "X=100", "Y="100")
```

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=PL1", "X=100", "Y="100", "X=200", "Y="100")
```

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=PL1", "X=200", "Y="100", "X=200", "Y="50")
```

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=PL1", "X=200", "Y="50", "X=100", "Y="50")
```

// Вскрытие отверстий на первой полке рабочего контура.

```
DD_Create ("Ellipse", "ShapeName=SO1", "X=125", "Y="75", "Diametr=8")
```

```
DD_Create ("Ellipse", "ShapeName=SO2", "X=175", "Y="75", "Diametr=8")
```

- модель  $P^E$ , выводящая на исполняемый код программы, реализующей образец шаблона (прецедента);

- интегральная модель прецедента  $P^S$  в виде его схемы, интегрирующей все специализированные модели прецедента в единое целое.

С интегральной моделью прецедента, которая представлена на рисунке 7, связывается материальная форма образца прецедента, размещенная в онтологии прецедентов, разработанной в комплексе WIQA.

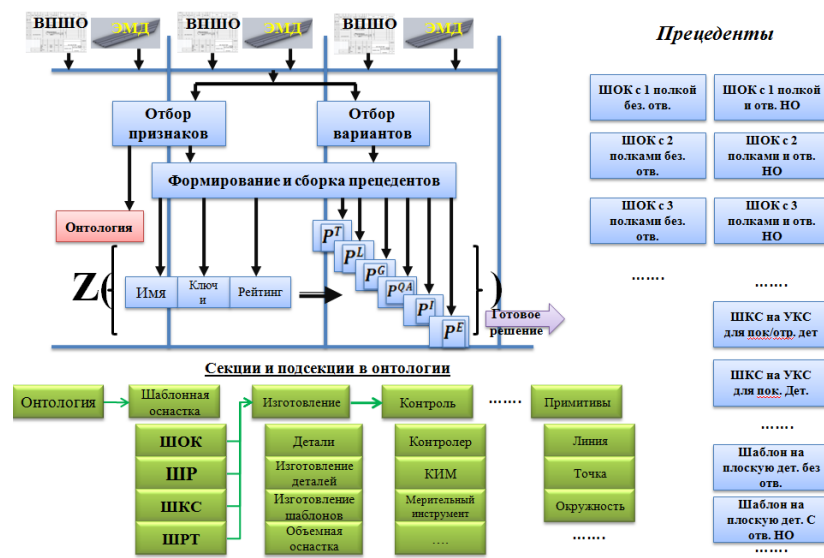


Рис. 7. Интегральная схема образца прецедента

Отметим, что специализированная модель  $P^I$  может быть представлена исходным кодом того языка программирования, который используется при создании программного обеспечения для UG NX. Однако для расширения возможностей повторного использования моделей типа  $P^I$  целесообразно использование псевдокодового языка  $L^{WIQA}$ .

С учётом структуры и семантики ячеек памяти реализована концептуальная модель онтологии, которая приведена на рисунке 8.

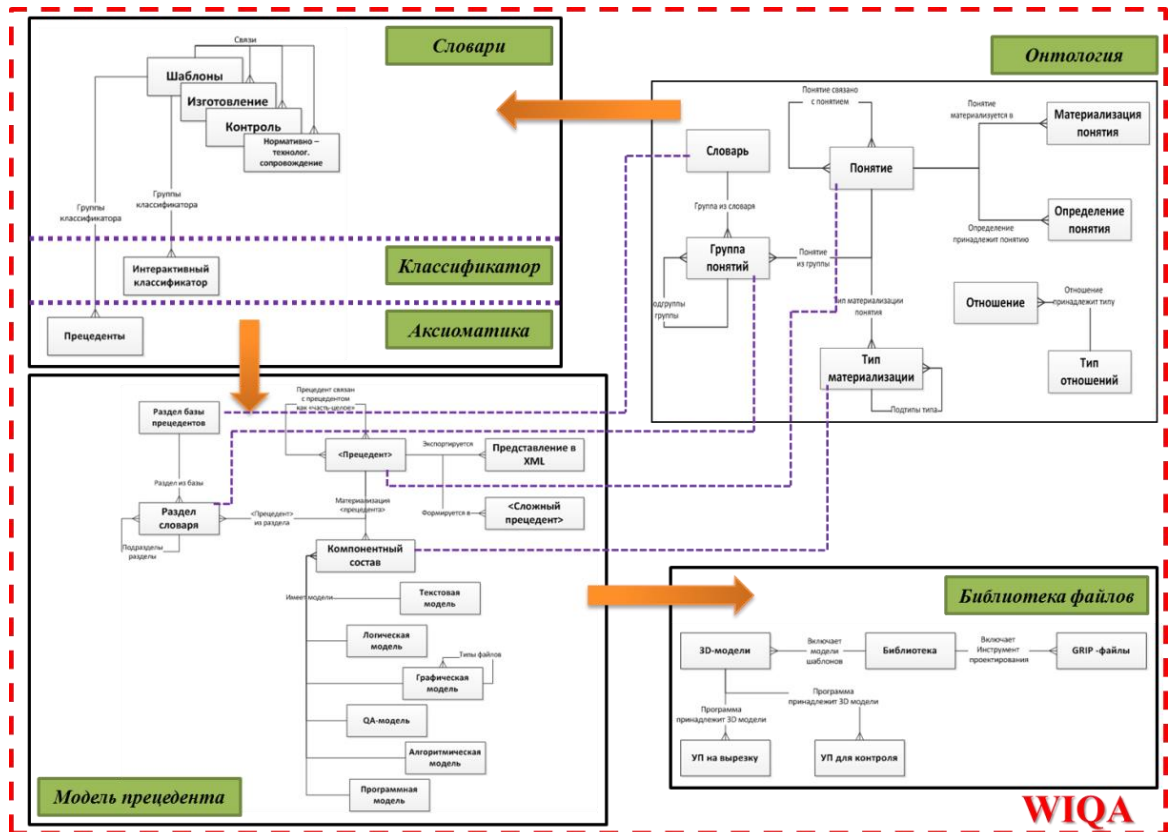


Рис. 8. Концептуальная схема модели онтологии

Модель онтологии, представленная на рисунке 8, отражает предметную область автоматизированного проектирования моделей прецедентов шаблонной оснастки, использующая множество внутренних связей объектов онтологии. Модель предметной области позволяет адекватно представить процесс проектирования оснастки и, в частном случае, является базой знаний среды проектирования.

Модель разрабатываемой онтологии имеет вид:

$$O = \{L, C, A, LibF\}, \quad (1)$$

где  $L$  – множество словарей проектной онтологии:  $\{l_1, \dots, l_n | l_n \in L\}$ ;

$C$  – интерактивная классификация. Здесь также следует отметить, что классификатор в модели онтологии представлен в двух исполнениях, в виде секции словаря  $l_{int}$  и в виде интерактивной классификации  $C$ , т.е. в итоге имеем нижеследующее:

$$C \Leftrightarrow l_{\text{int}} \in L, \quad (2)$$

$A$  – раздел аксиоматики, в котором представлены интегральные модели прецедентов  $P^S$  описанные выше;

**LibF** – библиотека файлов.

Множество словарей проектно онтологии можно представить как:

$$L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}, \quad (3)$$

где  $L$  – множество словарей;

$l_i$  – конкретный словарь онтологии.

В свою очередь каждый словарь подразумевает наличие нескольких разделов, в которых собраны и сгруппированы понятия по определенным признакам.

$$l_i = \{ch_1, ch_2, \dots, ch_i\}, \quad (4)$$

где  $ch$  – разделы конкретного словаря.

Отсюда следует, что множество разделов словаря  $ch = \{ch_j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$ , определяется множеством понятий  $w = \{w_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ , входящих в эти разделы, причем каждое понятие  $w_i$  может быть отнесено только к одному из рассматриваемых словарей  $\forall w_i = (w_i \in ch_j)$ , где  $n$  – количество определений, входящих в конкретный раздел словаря онтологии.

Аксиоматика  $A$  представляет собой совокупность интегральных образцов прецедентов и может быть представлена в виде следующего множества, такого как:

$$A = \{P_1^S, P_2^S, \dots, P_i^S\}, \quad (5)$$

где  $P^S$  – интегральная модель образца прецедента. Как было отмечено ранее, интегральная модель прецедента состоит из нескольких специализированных моделей, однако и сама  $P^S$  может образовывать так называемый «сложный прецедент», состоящий из нескольких интегральных моделей. В итоге имеем:

$$P^S = \{P_j^S \mid j = 1, 2, \dots, n\}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество прецедентов, образующих сложный прецедент, и соответственно  $P_j^S \in A$ .

Согласно рисунку 7 раскрытие интегральной модели представляется как совокупность 6 специализированных моделей:

$$P^S = \{P^T, P^L, P^{QA}, P^G, P^E, P^I\}, \quad (7)$$

Библиотека файлов **LibF** представляет собой базу данных, в которую включены 3D-модели шаблонной оснастки ( $M^d$ ) и GRIP-файлы программ (**Gp**) при помощи которых они проектируются. В общем случае это можно представить как:

$$LibF = \{Md, Gp\}, \quad (8)$$

В третьей главе рассматриваются методические аспекты реализации комплекса средств поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки. Проектирование шаблонной оснастки находит своё отражение в определенной системе понятий, которые полезны в решении различных задач, включая задачу построения интерактивного классификатора шаблонов.

Для материализации системы понятий было решено использовать инструментально-моделирующую среду WIQA, одна из составляющих которой «Онтология» предназначена для построения прикладных онтологий (рис. 9).

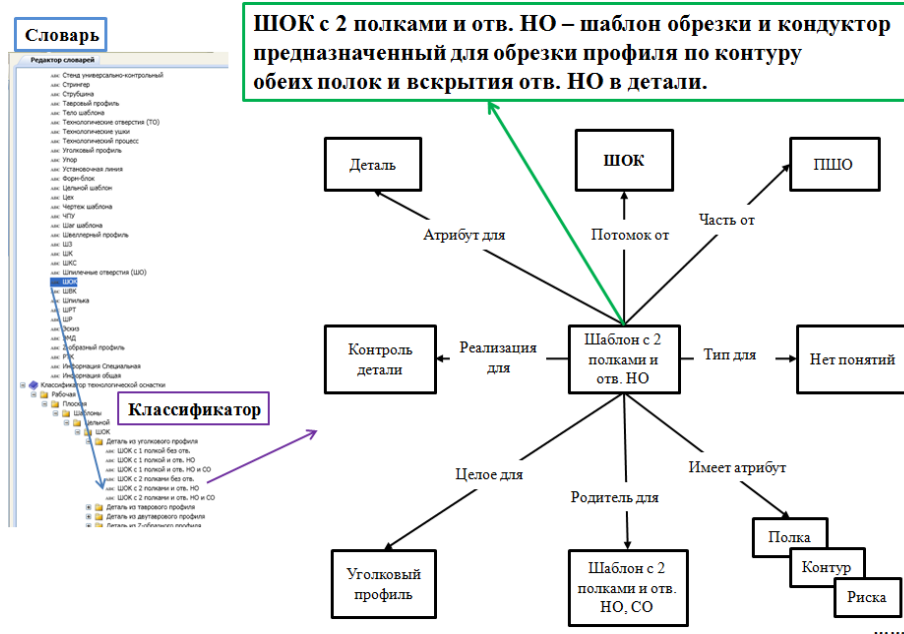


Рис. 9. Представление шаблона ШОК с 2 полками в онтологии словаря

Далее представляется разработанная методика работы со словарями и онтологией (рис. 10).

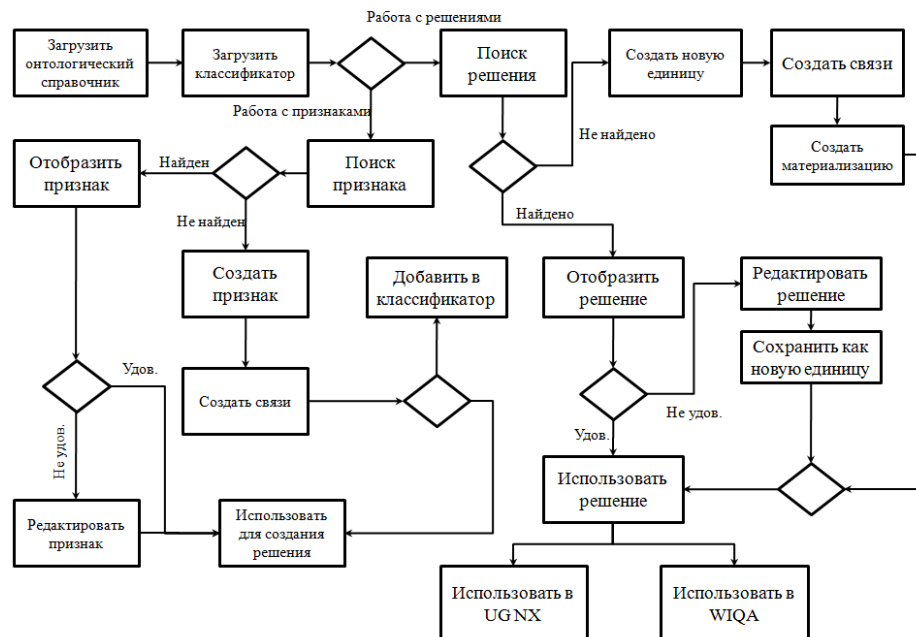


Рис. 10. Представление методики работы со словарями



Центральное место в онтологии проектирования шаблонов, как и в любой другой онтологии, порождаемой в среде WIQA, занимает «Словарь», в структуре которого выделены разделы для представления основных видов шаблонов.

Статьи разделов содержат не только определения шаблонов, но также ссылки на модели шаблонов и ключи для поиска по оперативным запросам.

В качестве примера рассмотрим секцию «Изготовление и производство». В ней содержится ряд подсекций, таких как: «Детали», «Изготовление шаблонов», «Изготовление деталей» и др. Особый интерес в данной секции представляют «Детали», т. к. именно они являются конечным продуктом любого технологического процесса, в котором шаблоны используются в качестве инструмента изготовления и контроля. Подсекция «Детали» содержит ряд наименований деталей (профильные и листовые), на которые проектируются шаблоны. Каждое определение в данной секции имеет раскрытие (рис. 11), в котором отражаются его связи с другими понятиями из других секций онтологии, в конечном счете образуя прецедент.

Благодаря прецедентному представлению понятий удастся достичь немалого эффекта с точки зрения как подготовки к проектированию шаблонной оснастки, так и непосредственно по отношению к самому процессу проектирования и изготовления, ведь в данном случае онтология накрывает весь жизненный цикл и позволяет контролировать процесс на каждом из его этапов, что приводит к уменьшению различного рода человеческих ошибок и создает предпосылки к повышению степени автоматизации ручного труда.

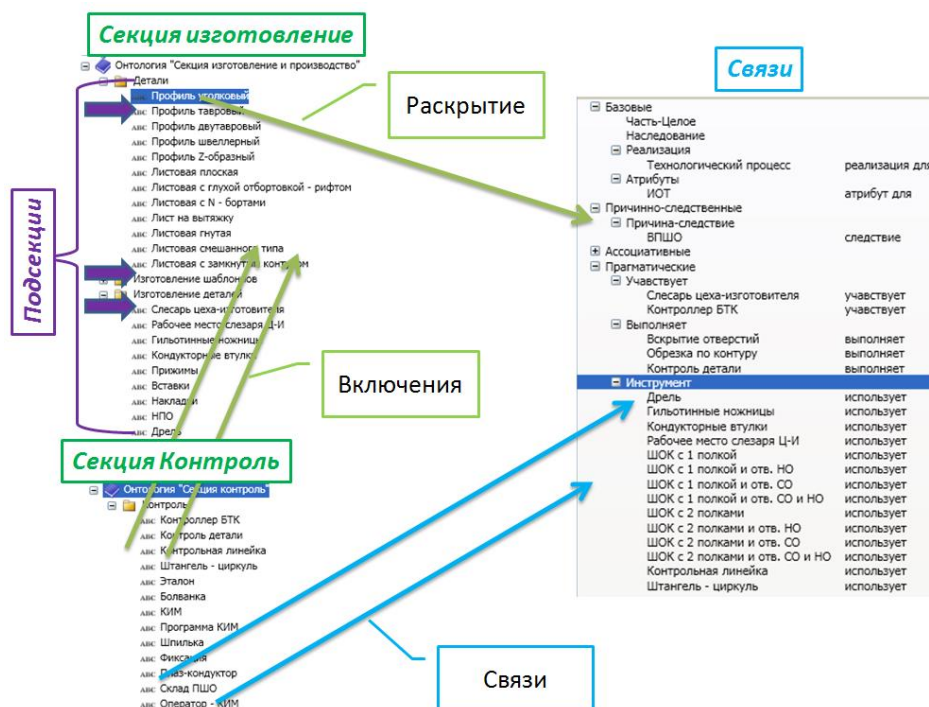


Рис. 11. Представление секций онтологии в WIQA

В четвертой главе выявляются основные составляющие эффекта от использования результатов работы. Проводится качественная и количественная оценка результатов исследований и экспериментов, а также представляется практическая реализация элементов комплекса средств онтологической поддержки проектирования шаблонной оснастки.



Формирование классификации шаблонов предшествовало её погружению в структуры «Словаря» проектной онтологии, в которых сохранены особенности построения классификации для её расширения (множество шаблонов является открытым).

Классификатор построен по смешанному методу, основанному на дедуктивном логическом делении классифицируемого множества. Этим методом достигается конкретизация признаков классификации оснастки на каждой последующей ступени классификации. В словаре выделяются классификационные группировки (группы понятий), составленные по определенным конструкционным признакам шаблонов и слова, являющиеся формальным описанием шаблонов.

Для того чтобы при классификации исчерпывался объем делимого множества, в классификаторе предусмотрена классификационная группировка под наименованием «Конструкционные элементы шаблонов». Эти группировки, как правило, использованы для описания состава шаблона и также имеют свои признаки.

Каждое понятие имеет свое определение. Текстовое определение вводится в первую очередь для обозначения общих признаков шаблона (или их группы), а также для поиска в Словаре онтологии. Для визуального представления шаблонов в Словаре используется материализация, выполненная в виде простейших эскизов оснастки. Это позволяет в первую очередь задать будущий облик проектируемой впоследствии электронной модели шаблона, а также использовать эскиз в качестве уточняющей информации в запросах на оснастку.

Отметим, что отношениям можно не только приписать имена, выводящие на их семантику, но и прокомментировать. Такая возможность особо полезна для прагматических отношений, например, инструментального типа (связывающего шаблон с инструментами для его обработки или процесс механической обработки со средствами его реализации).

Выявляются основные составляющие эффекта от использования результатов работы. Проводится качественная и количественная оценка результатов исследований и экспериментов.

Целью первого эксперимента рассматривался эффект релевантного поиска информации (рис. 12), обусловленный сокращением длительности периода освоения в производстве новой техники за счет информатизации процессов на ранних стадиях проекта изделий. Полученные коэффициенты релевантности поиска шаблонов варьируются в пределах от 0,65 до 0,8.



Рис. 12. Представление поиска прецедентов в комплексе средств онтологической поддержки

Целью второго эксперимента рассматривался эффект трудоемкости и материалоемкости (рис. 13) для решения задач подготовки производства, который характеризует техническую эффективность подготовки производства с точки зрения ее результативности и достигается за счет:

- перенесения этапов подготовки производства на стадии проектирования изделий, где конструкторские и технологические проблемы решаются во взаимосвязи параллельно, с максимальным использованием во вновь создаваемых системах всего ценного, что накоплено в конструкциях создаваемых изделий, технологии и средств их производства;

- организации процесса подготовки производства параллельно с изготовлением изделий. Причем интеграцию можно осуществлять на любой плановой период, что, на основе машинного анализа структурной схемы осваиваемой шаблонной оснастки, позволяет выделить элементы общей применимости и определить оптимальные конфигурационные характеристики. В общем случае экономия металла составляет около 25% от исходного, сокращение трудоемкости проектирования – до 20%.

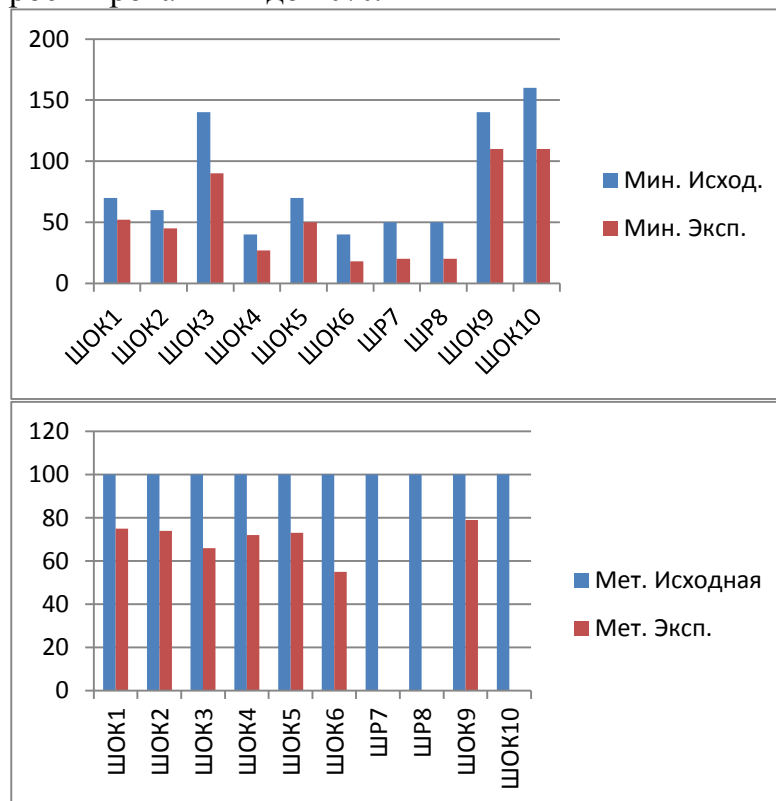


Рис. 13. Диаграммы сравнения металлоемкости и трудоёмкости проектирования и изготовления шаблонов

Практическая реализация этого эффекта выражается в значительном повышении качества КТПП, которое обеспечивает более высокий организационно-технический уровень производства, повышение эффективности процесса проектирования шаблонной оснастки на основе использования комплекса средств онтологической поддержки с учетом использования представленной методики работы с онтологией и словарями, влекущими за собой снижение трудоёмкости и металлоемкости изготовления шаблонов; представлений шаблонов в форме

моделей прецедентов, удобных для повторного использования и аккумуляции опыта, а также автоматизации части проектно-конструкторских работ по оформлению геометрии шаблона в САД-системе посредством использования интегрированных модулей.

Величина этого эффекта, как и величина эффекта релевантного поиска, может быть в полной мере определена в процессе расчетов по суммированию дифференциальных оценок каждого конкретного образца новой техники. Сформулированы выводы по четвертому разделу.

### ***Основные результаты работы***

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

**Цель исследований**, направленная на совершенствование процессов конструкторско-технологической подготовки производства при проектировании шаблонной оснастки на детали воздушных судов, за счет онтологии и повторного использования опыта проектных процедур – достигнута.

**Практическую ценность** работы составляет разработанный комплекс средств онтологической поддержки процесса проектирования, интегрированный в инструментально-технологическую среду WIQA и модули UG NX.

### ***Получены новые научные результаты:***

1. **Прецедентно-ориентированная на проектирование шаблонной оснастки модель онтологии с расширенной структурой секций**, в число которых входят секции, дополнительно обеспечивающие эффективную онтологическую поддержку в решении задач поиска шаблонов, а также изготовлении, контроле и увязке деталей силового набора планера самолета.

2. **Интерактивная классификация, в которой определены и исследованы объекты классов шаблонов применительно к производственным технологическим процессам**, для каждого из них установлены его собственные конструктивные составляющие, позволяющие наиболее рационально определить отношение шаблона к изготавливаемой детали, реализованной в виде секции онтологии и в виде формального представления древа классификатора.

3. **Методика онтологической поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки** учитывающая контролируемое накопление опыта разработок шаблонов в форме моделей прецедентов, подготовленных к повторному использованию.

4. **Алгоритмы проектирования шаблонной оснастки, интегрированные в технологическую подготовку производства**, отличающиеся повышенной степенью автоматизации процесса проектирования достигаемой за счет программирования части типовых операций проектировщика в плане оформления геометрии электронной модели шаблона.

### ***Публикации по теме диссертационной работы***

#### ***Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ***

1. М.В. Гришин. Проектные процедуры в технологической подготовке производства с применением информационных технологий / **М.В. Гришин**, А.В. Лебедев // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 4 (4). С. 825–833.

2. М.В. Гришин. Разработка специального программного модуля проектирования шаблонной оснастки / **М.В. Гришин**, А.В. Лебедев // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 4 (4). С. 834–839.

3. М.В. Гришин. Разработка методов и средств автоматизированного проектирования рабочих шаблонов в условиях авиационных производств // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 1 (5). С. 1352–1358.

4. М.В. Гришин. Совершенствование проектирования технологической оснастки с использованием информационных технологий / **М.В. Гришин**, А.В. Лебедев // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 1 (5). С. 1456–1462.

5. М.В. Гришин. Проблемы производства трубопроводов в современном авиастроении / А.А. Баранников, **М.В. Гришин**, А.В. Лебедев, П.Ю. Павлов, С.В. Рябов, О.Э. Чоракаев // В мире научных открытий. Естественные и технические науки. 2014. № 4 (52). С. 71–82.

6. М.В. Гришин. Интерактивно-графический подход к комплексному проектированию шаблонной оснастки // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 6 (2). С. 416–422.

7. М.В. Гришин. Разработка классификатора технологической оснастки заготовительно-штамповочного производства / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин, А.В. Лебедев, П.Ю. Павлов, А.А. Федоров // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 6 (2). С. 423–429.

8. М.В. Гришин. Средства онтологической поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки в условиях авиационных производств / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин, П.И. Соснин // В мире научных открытий. Естественные и технические науки. 2015. № 4 (64). С. 10–43.

9. М.В. Гришин. Онтология как средство проектирования шаблонной оснастки в условиях подготовки наукоемкого производства / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин, В.И. Кочергин // Автоматизация процессов управления. 2015. № 1 (39). С. 89–98.

#### **Публикации в иных изданиях**

10. М.В. Гришин. Совершенствование технологической подготовки производства с использованием САПР плазово-шаблонной оснастки / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин // Теория и практика современной науки : матер. XII междунар. науч.-практ. конф., декабрь 2013. М. : Издательство «Спецкнига», 2013. С. 107–114.

11. М.В. Гришин. Автоматизация подготовки производства в концепции CALS / **М.В. Гришин**, А.В. Лебедев, С.Н. Ларин // Теория и практика современной науки : матер. XIII междунар. науч.-практ. конф., апрель 2014. М. : Издательство «Спецкнига», 2014. С. 151–159.

12. М.В. Гришин. Практическая реализация повышения эффективности подготовки авиационных производств с использованием САПР шаблонной оснастки / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин // Энергосбережение, информационные технологии и устойчивое развитие : сб. матер. Междунар. науч.-практ. Интернет-конф., июнь 2014 г. Ижевск : Издательство ФГБОУ ВПО «ИжГТУ им. М.Т. Калашникова», 2014. С. 92–99.

13. М.В. Гришин. Теоретические основы процессов повышения эффективности подготовки авиационных производств / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в российской авиационной и ракетно-космической промышленности : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., август 2014. Т. 1. Казань : Издательство Казан. гос. техн. ун-та, 2014. С. 335–338.

14. М.В. Гришин. Онтология проектирования шаблонов авиационных деталей / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин, П.И. Соснин. Матер. 5-й Междунар. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2015). Минск : БГУИР, 2015. С. 381–384.

#### **Свидетельства о регистрации программного продукта**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619486. Программный модуль автоматизации процесса проектирования шаблона контура сечения на универсальный контрольный стенд / **М.В. Гришин**, С.Н. Ларин ;

правообладатель: С.Н. Ларин ; заявл. 17.06.2014 ; зарегистр. 17.09.2014. - М. : Роспатент, 2014.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619224. Программный модуль автоматизации процесса проектирования шаблона обрезки и кондуктора / **М.В Гришин**, С.Н. Ларин ; правообладатель: М.В. Гришин ; заявл. 17.06.2014 ; зарегистр. 11.09.2014. - М. : Роспатент, 2014.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БО – базовые отверстия  
 БТЗ – бюро труда и заработной платы  
 ВПШО – ведомость плазово-шаблонного оснащения  
 КИМ – контрольно-измерительная машина  
 КТПП – конструкторско-технологическая подготовка производства  
 НО – направляющие отверстия  
 ПДБ – планово-диспетчерское бюро  
 ПРОСК – промежуточный склад  
 ПШО – плазово-шаблонная оснастка  
 ПШЦ – плазово-шаблонный цех  
 РТК – расчетно-технологическая карта  
 САПР – система автоматизированного проектирования  
 СО – сборочные отверстия  
 СТП – стандарт предприятия  
 ТПП – технологическая подготовка производства  
 ТИ – технологическая инструкция  
 ЧПУ – станок с числовым программным управлением  
 ШКС – шаблон контура сечения  
 ШКС на УКС – шаблон контура сечения на универсальный контрольный стенд  
 ШО – шаблонная оснастка  
 ШОК – шаблон обрезки и кондуктор  
 ШР – шаблон развертки  
 ШРТ – шаблон размерного травления  
 ЭМ ШО – электронная модель шаблонной оснастки  
 ЭМТ – электронная модель технологическая  
 GRIP – Graphics Interactive Programming  
 QA – Question-Answer  
 WIQA – Working In Questions and Answers  
 CAD – Computer-aided design

Гришин Максим Вячеславович

СРЕДСТВА ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ШАБЛОННОЙ ОСНАСТКИ В УСЛОВИЯХ АВИАЦИОННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Автореферат

Подписано в печать 08.10.2015 Формат 60х84/16.

Усл. печ. л. 1.16. Тираж 100 экз. Заказ 793

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