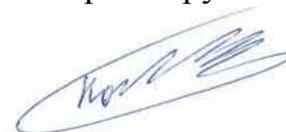


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

**Павлов Павел Юрьевич**



**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПРЕЦЕДЕНТНО-  
ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СБОРКИ  
УЗЛОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ**

Специальность:

05.13.12 - «Системы автоматизации проектирования  
по техническим наукам (промышленность)»

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
**Соснин П.И.**

Ульяновск — 2018

## Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1. Проблемы технологического обеспечения создания трубопроводных систем летательного аппарата .....</b>	<b>11</b>
1.1. Особенности проектирования трубопроводных систем летательных аппаратов и средств технологического оснащения для их узловой сборки	12
1.2. Обзорно-тематический анализ.....	23
1.3. Подходы к решению задачи прецедентно-ориентированной поддержки процессов подготовки производства и узловой сборки деталей трубопроводов .....	31
1.4. Обобщенная постановка задачи и мотивационно - целевые установки задачи исследований .....	39
Выводы по первой главе.....	49
<b>Глава 2. Формализация задач геометрического моделирования и онтологической поддержки в производстве трубопроводов летательного аппарата .....</b>	<b>51</b>
2.1. Мастер-геометрия летательного аппарата и ее роль в проектировании систем трубопроводов .....	51
2.2. Геометрическое моделирование деталей и узлов трубопроводов .....	62
2.3. Формализация имен деталей и сборок трубопроводов.....	74
2.4. Геометрическое представление конструкции СТО для сборки трубопроводов и связь с СМГ и математическими моделями деталей и сборок .....	83
Выводы по второй главе.....	90
<b>Глава 3. Методическое обеспечение прецедентно-ориентированной поддержки конструкторско-технологической подготовки производства сборки узлов трубопроводов систем ЛА.....</b>	<b>92</b>

3.1.Метод прецедентно-ориентированной интеграции геометрических моделей.....	92
3.1.1. Подход к формализации процессов построения интегрированной модели прецедентов.....	92
3.1.2. Концептуальное описание модели онтологической поддержки процесса проектирования СТО и разработки УП.....	106
3.1.3. Представление СТО и УП в формальной системе определения синтаксиса БНФ.....	112
3.2.Методическое обеспечение работы с онтологией и словарями.....	114
3.2.1. Методики поддержки документирования.....	116
3.2.2. Методики поддержки проектирования.....	124
3.2.3. Методики поддержки разработки числовых управляющих программ.....	125
3.3.Метод согласования систем координат деталей и узлов трубопроводов систем летательного аппарата.....	129
<b>Выводы по третьей главе.....</b>	<b>137</b>

**Глава 4. Комплекс средств онтологической поддержки процесса конструкторско-технологической подготовки сборки трубопроводов.....** 139

4.1.Компонентный состав методического обеспечения.....	139
4.2.Разработка рекомендаций по созданию классификационной структуры трубопроводов, оснастки и УП для сварочного робота для сборки трубопроводов.....	143
4.3.Разработка рекомендаций по согласованию систем координат.....	149
4.4.Разработка методических рекомендаций на проектирование технологической оснастки в САД - системе.....	160
4.5.Разработка интерфейсных решений системы проектирования СТО для сборки трубопроводов систем ЛА.....	164

<b>Выводы по четвертой главе</b> .....	174
<b>Заключение</b> .....	176
<b>Список сокращений</b> .....	178
<b>Список использованных источников</b> .....	180
Приложение 1 .....	192
Приложение 2 .....	205
Приложение 3 .....	207
Приложение 4 .....	209
Приложение 5 .....	213
Приложение 6 .....	215
Приложение 7 .....	219
Приложение 8 .....	225
Приложение 9 .....	226
Приложение 10 .....	229
Приложение 11 .....	230
Приложение 12 .....	231

## Введение

Авиационное производство является одной из высокотехнологичных отраслей промышленности. Отличительная черта данной отрасли в большой номенклатуре деталей, узлов, агрегатов, большом количестве вовлеченного персонала и длительности цикла разработки и эксплуатации изделия.

Процесс разработки летательного аппарата (ЛА) и его изготовления - это междисциплинарная деятельность, основанная на интенсивном использовании различных геометрических моделей деталей, сборок и их комплексов на разных этапах жизненного цикла (ЖЦ) большим количеством инженеров и специалистов. Поэтому существует такой артефакт, как строительная мастер-геометрия (СМГ), который как единый источник информации при геометрической увязки деталей в узлы и который может совместно использоваться пользователями для параллельного решения широкого круга задач в режиме реального времени.

Так же стоит отметить, что ЖЦ ЛА является очень длительным и может составлять 5-10 лет на разработку и 40-50 лет на эксплуатацию, поэтому качество принятых технических решений инженерами на этапах разработки и производства может быть оценено только спустя десятилетия на этапе испытаний или эксплуатации самолета. Что привело к необходимости аккумулировать опыт в виде различной нормативной документации, которая, в настоящий момент, в основном представлена в виде различных справочников, стандартов, инструкций и классификаторов, существующим недостатком которых является медленный процесс расширения и обновления, а также малая интерактивность при работе пользователя с информацией.

Так как современный самолет является очень сложным техническим решением, то диссертационное исследование будет ограничено рамками металлических деталей и узлов трубопроводов систем и процессом подготовки производства и их узловой сборки. Здесь стоит отметить, что в ЖЦ каждого отдельного трубопровода накапливается большое количество информации, связанной с конкретными этапами ЖЦ при помощи обозначений или

идентификаторов, таких как номер технологического процесса (ТП), номер используемого технологического оснащения (ТО) и т.д. Для автоматизации поддержки ЖЦ целесообразно включить методы и средства прецедентно-ориентированной поддержки, которые позволяют создавать специализированные онтологии, статьи которых позволяют специалистам интегрировать необходимую информацию для каждого этапа подготовки производства и в самом производстве. Так же важным аргументом в пользу включения средств онтологической поддержки в процесс конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) трубопроводных систем ЛА является необходимость геометрического моделирования деталей и сборок, согласованных с представлением самолета в его онтологическом пространстве, которое необходимо учитывать в производственных процессах, а в частности при проектировании специального ТО (СТО) для сборки трубопроводов систем ЛА в том числе и с использованием промышленного сварочного робота.

Предлагаемые методы и средства прецедентно-ориентированной поддержки процесса КТПП сборки трубопроводов ЛА, ориентированы на: контролируемое накопление профессионального опыта, являющегося результатом работы инженерного персонала в процессе подготовки производства и сборки трубопроводов в форме моделей прецедентов, подготовленных к повторному использованию; создание прикладной интерактивной онтологии, содержащей модели деталей и узлов трубопроводов, а так же модели СТО; контролируемое использование лексики при работе с нормативными и разрабатываемыми документами в процессе КТПП.

Инструментом для работы с прецедентами, создания модели онтологии и средств сопровождения производственных процессов была выбрана вопросно-ответная моделирующая среда WIQA, основным преимуществом которой являются широкие возможности материализации, которые позволяют повысить уровень автоматизации при принятии технических решений.

**Областью исследования** настоящей работы является процесс конструкторско-технологической подготовки сборки трубопроводов летательного аппарата.

**Объектом исследования** являются геометрически согласованное проектирование и сборка узлов трубопроводов с использованием СТО в условиях роботизированной сварки.

**Направление исследований в диссертации связано с** геометрическим моделированием деталей и узлов трубопроводов в пространстве СМГ ЛА и их позиционированием учитывающем технологические средства для их сборки.

**Предметом исследования** настоящей работы являются методы и средства прецедентно-ориентированного проектирования и сборки узлов трубопроводных систем ЛА, геометрическое моделирование которых согласовано с СМГ и геометрией технологического оснащения.

**Целью диссертационного исследования** является разработка геометрических моделей деталей и узлов трубопроводов ЛА, а также СТО, обеспечивающее прецедентно-ориентированное контролируемое накопление опыта технологической подготовки и связанные с этим позитивные эффекты.

**Методы исследований.** При решении задач, рассматриваемых в диссертации, были использованы системный подход, метод вопросно-ответного анализа, метод прецедентно-ориентированного решения проектных задач, вычислительные методы, а так же методы программной инженерии.

**Основные научные положения, составляющие научную новизну работы:**

1. Система согласованных геометрических моделей деталей металлических трубопроводов ЛА, их сборок и СТО, спецификации которых настроены на предварительную роботизированную сварку деталей, обеспечивающую требуемые технологические характеристики их позиционирования в рамках МГ ЛА.

2. Расширение атрибутики «имён» нормативной идентификации деталей трубопроводов, их сборок и средств оснастки, дополнительными составляющими, которые позволяют включить в представление деталей, сборок

и средств оснастки их геометрические модели, связав их ассоциациями по смежности и сходству, способствующими улучшению характеристик поиска в системе имён.

3. Метод прецедентно-ориентированной интеграции геометрических моделей деталей и узлов трубопроводов ЛА, а так же специализированных средств оснастки, обеспечивающий информационно-онтологическую поддержку проектно-технологического цикла создания трубопроводных систем.

4. Метод согласования систем координат (СК) деталей, сборок и СТО, обеспечивающий требуемые характеристики позиционирования деталей при сборке, в том числе с учетом и корректировкой погрешностей позиционирования СТО относительно положения сварочного промышленного робота при выполнении технологических операций.

**Практическую ценность работы** составляет разработанные скелетные геометрические и списковые представления деталей, узлов и СТО, которые применяются в качестве прецедентно-ориентированных моделей, интегрированных в инструментально-технологическую среду WIQA, а также метод согласования СК на разных этапах ЖЦ и модули автоматизации процесса проектирования в Siemens NX.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Система геометрических скелетных моделей деталей трубопроводов, их сборок и средств ТО, специфицированных в собственных СК, связанных линейными отношениями, каждая из которых конструктивно представлена в абсолютной СК ЛА, что упрощает расчёты по проверкам корректности позиционирования деталей в точках предварительной сварки.

2. Согласованная классификация деталей трубопроводов, их сборок и средств оснастки, в которой производственная классификация иерархического типа объединена с фассетной классификацией, вводящей дополнительную атрибутику геометрического моделирования и ассоциативные связи по сходству и смежности, что расширяет класс задач, использующих классификации, и приводит к ряду полезных эффектов.

3. Секционированная структура онтологии и прецедентно-ориентированная спецификация её статей, интегрирующая модели деталей, их сборок и средств оснастки в форме, облегчающей их формирование, расширение, модификацию и повторное использование.

4. Совокупность автоматизированных методик онтологической поддержки, в которых не только открыт доступ к содержимой онтологии в точках ЖЦ КТПП, но и возможность согласования СК на различных этапах ЖЦ в том числе и с использованием сварочного робота.

5. Метод согласования СК деталей, узлов, СТО и сварочного робота на этапах ЖЦ, в том числе с учетом погрешностей позиционирования СТО относительно сварочного робота и их корректировкой.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс подготовки магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», а также переданы для внедрения на АО «Авиастар-СП». Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ №2.1816.2017/ПЧ.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и практические аспекты развития отечественного авиастроения», апрель 2012 г. Ульяновск; IV Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Современная российская наука глазами молодых исследователей», 17 февраля 2014 г. Красноярск; IV научно-практической конференции «Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития». 16-17 октября 2014 г. Ульяновск; VII Всероссийской научно-практической конференции: «Актуальные проблемы машиностроения», 25-27 марта 2015 г. Самара; IV Молодежной инновационном форуме Приволжского федерального округа, 13-15 мая 2015 г. Ульяновск, VIII Всероссийской научно-практической конференции: «Актуальные проблемы машиностроения» 2017.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 15 печатных научных работ (из них 11 статей из перечня ВАК, 2 тезиса докладов) и 1 свидетельство о регистрации ПО для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (133 наименований) и 12 приложений; включает 191 страниц машинописного текста, 127 рисунков и 5 таблиц. Общий объем диссертационной работы – 232 страницы.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертационное исследование и его результаты соответствуют позициям 1, 3 и 6 паспорта специальности 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования (промышленность)».

**Сведения о личном вкладе автора.** Научные результаты проведенных исследований, представленные в диссертационной работе и, выносимые на защиту, получены автором лично. Научному руководителю, принадлежит выбор направления исследований, постановка задачи и конструктивное обсуждение. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками представленных в диссертации результатов.

## **Глава 1. Проблемы технологического обеспечения создания трубопроводных систем летательного аппарата**

Основной особенностью авиационных производств является большая номенклатура деталей, сборочных единиц, сложность геометрической формы и всей конструкции, а также высокие требования к технологическому обеспечению и процессам подготовки производства. Все это способствовало появлению различных систем, позволяющих автоматизировать процесс проектирования (САПР), процесс управления данным об изделии (PDM) и поддерживать и управлять ЖЦ изделия (PLM). Именно с аэрокосмической отраслью связано появление и развитие таких САПР как Siemens NX и Catia, позволяющие автоматизировать работу инженеров-конструкторов со сложной геометрией при создании ЛА. Стоит так же отметить, что если процесс материализации идей инженера в виде твердотельной ЭМ с помощью современных САПР хорошо развит, то этап принятия концептуальных технических решений в настоящее время все еще остается в зачаточном состоянии, хотя определенная работа в данном направлении ведется.

На ряду с развитием программного обеспечения, используемым на авиационных производствах, так же активно развивалось и применяемое оборудование и ТО в производственном цикле. В настоящее время на западных производствах начинают широко использоваться различные роботы и роботизированные комплексы для выполнения технологических операций. Данная тенденция наблюдается и на современных отечественных авиационных предприятиях, хотя и с некоторым отставанием.

Все перечисленное приводят к тому, что инженерам, занимающимся проектированием ЛА, конструкторской и технологической подготовкой производства приходится обрабатывать большое количество информации и принимать множество решений, связанных с использованием имеющего технологического оборудования и проектированием специального ТО. Так, например, для повышения эффективности процесса подготовки производства

трубопроводов ЛА их необходимо моделировать адекватным образом и специфицировать для повторного использования.

Целью данной главы является исследование методов и средств геометрического моделирования, а также методов и средств накопления профессионального опыта, используемых на различных стадиях ЖЦ ЛА, а в частности на этапе КТПП и сборки узлов трубопроводов систем из деталей сваркой, а также постановка задач, решение которых позволит повысить уровень эффективности подготовки производства.

### **1.1. Особенности проектирования трубопроводных систем летательных аппаратов и средств технологического оснащения для их узловой сборки**

Рассмотрение вопросов, связанных с проектированием и изготовлением трубопроводных систем ЛА начнем с описания применяющихся подходов к разработке ЭМ деталей (ЭМД) и узлов трубопроводов систем самолета.

Современные ЛА является изделием многономенклатурным и состоит из сотен тысяч деталей, каждая из которых имеет соответствующую ЭМД, которая является основным носителем информации, содержащим все геометрические размеры и всю необходимую информацию для изготовления (материал, допуски на изготовление, покрытие, шероховатости поверхностей и т.д.).

Детали компонентов ЛА собираются в различные узлы с помощью большего количества как разъемных, так и неразъемных соединений. И каждой такой сборочной единице соответствует ЭМ сборочной единицы (ЭМСЕ), которая так же содержит всю необходимую информацию для сборки (тип соединения, допуски на сборку, покрытие, методы контроля и т.д.).

Таким образом, весь состав ЭМД и ЭМСЕ конкретного ЛА имеет иерархическую древовидную структуру, которая хранится в базе данных, и такая структура носит название базовой контрольной структуры (БКС) [86, 87].

В зависимости от используемых методик проектирования, ЭМД и ЭМСЕ могут располагаться в пространстве как в абсолютной СК, ее еще называют самолетной с нулевой точкой ( $X=0, Y=0, Z=0$ ) располагающей в носу самолета,

так и локальной или рабочей со своей собственной нулевой точкой, которая не совпадает с абсолютной.

Основным концептом, определяющим внешний облик разрабатываемого ЛА, а также задающим положение деталей или узлов в ЛА является СМГ, ее еще так же называют МГ или на английском языке Master Geometry (MG) или электронной МГ, которая является частью БКС. В данном диссертационном исследовании в качестве рабочего понятия, а также в качестве основного инструмента для геометрической координатной увязки деталей и узлов систем трубопроводов ЛА в дальнейшем будут использоваться понятия СМГ и МГ.

Если вернуться к истокам проектирования ЛА, то можно сделать вывод, что СМГ является эволюцией теоретического чертежа ЛА, в котором при помощи поверхностей (в том числе и аэродинамических), плоскостей, осей, точек и прочих элементов задается расположение в абсолютной СК всех силовых элементов ЛА (шпангоуты, стрингеры, нервюры, лонжероны и т.д.), агрегатов, оборудования систем, включая геометрическое представление трубопроводных систем.

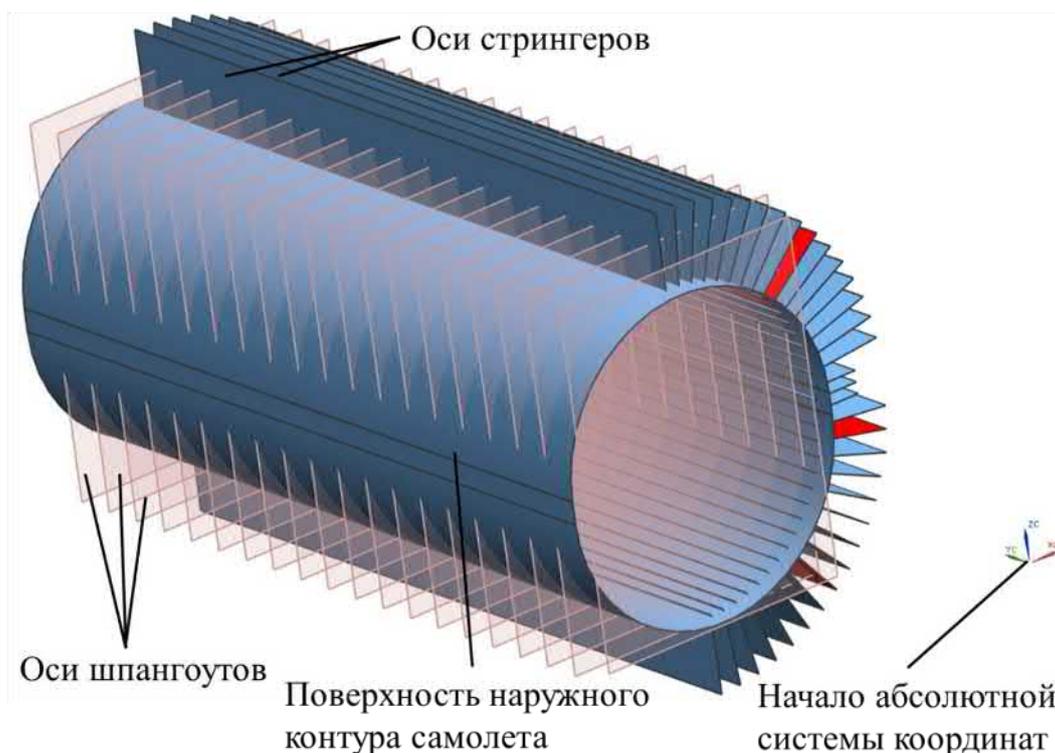


Рис. 1.1 Фрагмент СМГ фюзеляжа самолета

Так, например, части трубопроводных систем могут находиться во фрагменте СМГ фюзеляжа самолета, приведенного на рисунке 1.1, где

поверхность наружного конура и оси силовых элементов служат источниками ограничений для прокладки теоретической трассы трубопровода при разработке компоновочных схем ЛА.

Для перехода к особенностям конструкции трубопроводов систем ЛА сначала кратко рассмотрим его конструктивный состав на примере планера.

Планер состоит из крыла или крыльев, фюзеляжа и хвостового оперения. Каждый из перечисленных элементов состоит, в основном из панелей, которые в свою очередь состоят из обшивки, стрингеров, шпангоутов, нервюр, лонжеронов, окантовки люков и т.д. (рис. 1.2) [40, 47]. Приведенные силовые элементы, необходимы для дальнейшего использования инженерами-проектировщиками в качестве источника ограничений для создания трассы трубопроводов, соединяющих различные части систем ЛА.

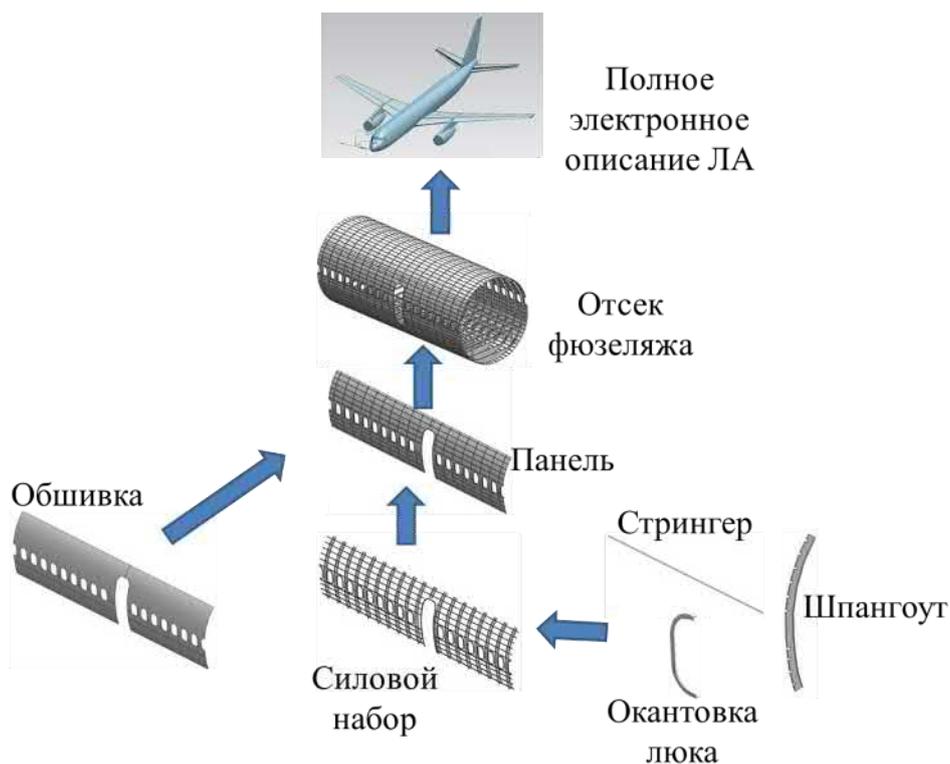


Рис. 1.2 Примеры ЭМ конструкции ЛА

Задачи прокладки трассы трубопровода через конструкцию силовых элементов ЛА являются классическими задачами компоновки, трассировки и размещения. В данном диссертационном исследовании данные задачи считаются уже решенными и в дальнейшем будут только использовать результаты решения в виде ЭМД и ЭМСЕ узлов трубопроводов с координатной и геометрической привязкой к МГ самолета.

Рассмотрение конструкции и назначения трубопроводов невозможно производить без упоминания систем, в состав которых они входят. Системы современного ЛА играют очень важную роль в жизнеспособности самолета и в выполнении им основных задач, связанных в первую очередь с транспортировкой пассажиров и грузов. Можно выделить следующие системы, в состав которых входят трубопроводы: топливная система; система кондиционирования воздуха; гидравлическая система; пневматическая система; противообледенительная система; система пожаротушения; система индивидуального жизнеобеспечения; прочие системы и оборудование [40].

Далее перейдем к рассмотрению деталей и сборочных единиц трубопроводов ЛА.

Одной из важных особенностей разработки ЭМ деталей и сборочных единиц ЛА является привязка к абсолютной СК. Иными словами, проектирование большинства геометрически сложных деталей должно производиться от СМГ в одной и той же СК. В противном случае при создании ЭМ такой сборки возникнет проблема правильного позиционирования деталей относительно друг друга из-за наличия сложной геометрии.

Более подробно рассмотрим детали и узлы трубопроводов. Здесь стоит ограничить исследование только сборкой деталей металлических трубопроводов в узлы с помощью предварительной точечной сварки промышленным роботом. Узлом будем считать сборочную единицу, на концах которой имеются фланцы для болтовых, резьбовых и прочих разъемных соединений. Также, предполагается, что для трубопроводов классические задачи компоновки, трассировки и размещения в пространстве самолета уже решены. Таким образом, позиционирование каждой ЭМД и ЭМСЕ узла в абсолютной СК уже определено и имеет привязку к геометрии самолета, т.е. к СМГ.

Как было сказано ранее, основным назначением трубопроводов в ЛА является перенос материи или энергии при помощи жидкости или газа от одного агрегата к другому. Примером такого переноса может служить, подача топлива от баков к двигателю или забор нагретого воздуха от двигателей и его передача

в противообледенительную систему и салон самолета, а также передача гидравлической жидкости от цилиндров к поршням в гидравлической системе, которая отвечает за работу системы управления и за уборку и выпуск шасси.

Таким образом можно сделать вывод, что трубопроводные системы являются очень важными элементами любого ЛА и они несут большую ответственность за жизнеспособность самолета и его пассажиров. Поэтому к качеству изготовления трубопроводов предъявляются очень жесткие требования, а в частности к качеству изготовления сварных соединений деталей.

Пример топливной системы, расположенной в крыле самолета приведен на рисунке 1.3.

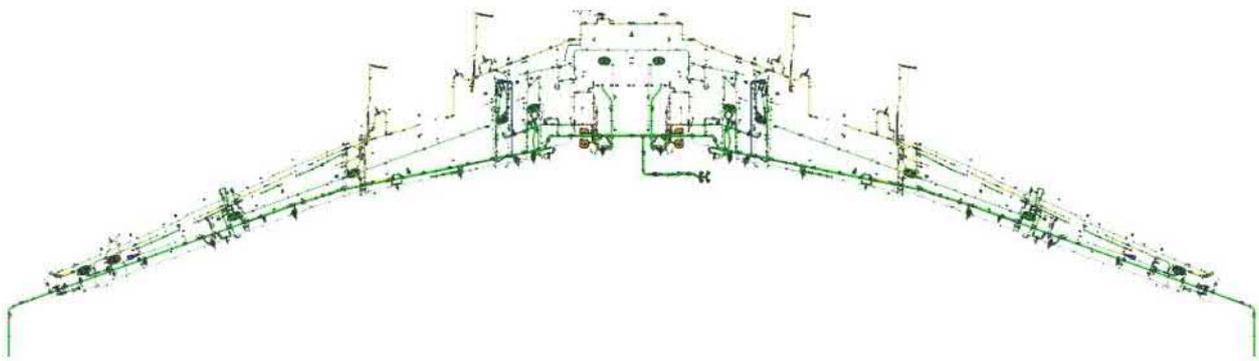


Рис. 1.3 Топливная система среднемагистрального самолета

Далее рассмотрим узел трубопровода системы ЛА. Для этого сначала зададим рабочее определение узла. По ЕСКД любое объединение двух или более деталей с помощью разъемных или не разъемных соединений называется сборочной единицей. В нашем случае важное значение имеет только сборочная единица, которая монтируется непосредственно в ЛА, поэтому узлом в данном исследовании будет называться сборочная единица, состоящая из сваренных деталей и имеющая на своих концах разъемные соединения (болтовые или резьбовые) для соединения с другим узлом или агрегатом системы. Примеры таких узлов приведены на рисунке 1.4.

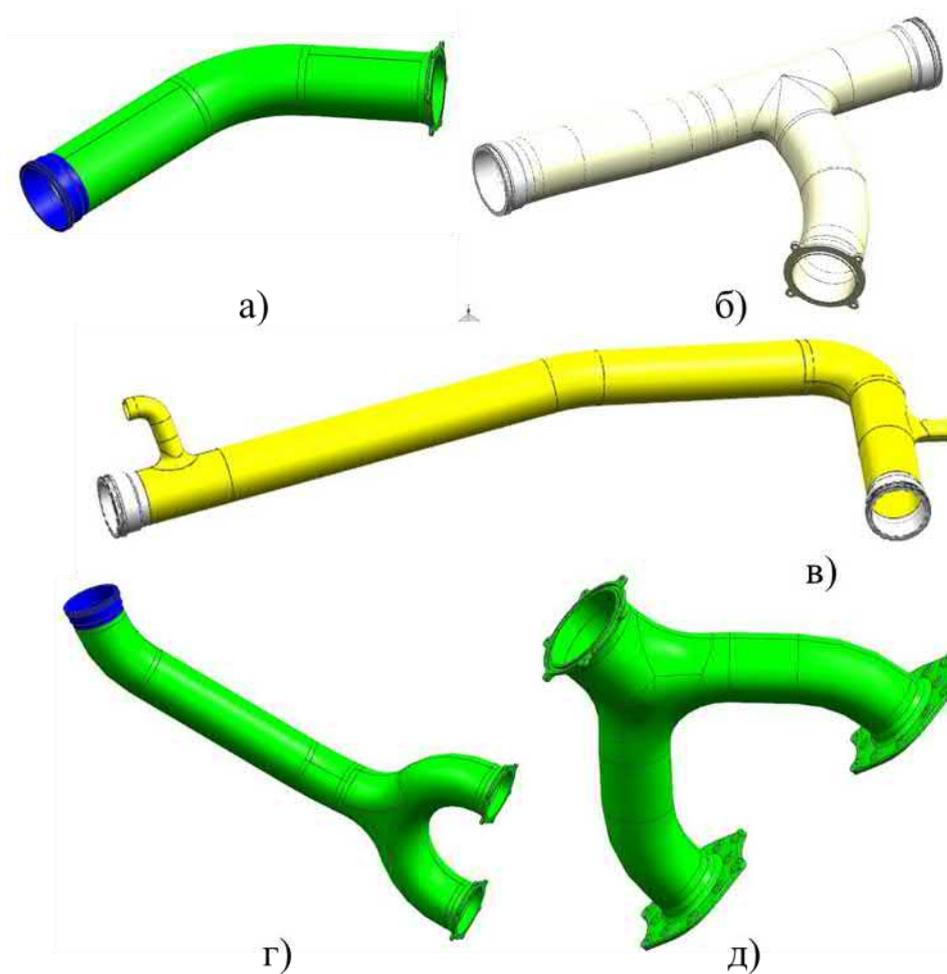


Рис. 1.4 Примеры узлов трубопроводов систем ЛА: а) трубопровод, гнутый в одной плоскости; б) трубопровод, гнутый в одной плоскости с ответвлением; в) трубопровод, гнутый в двух плоскостях с ответвлениями и переменным диаметром г) трубопровод, гнутый в одной плоскости с тройником; д) тройник

Из приведенного выше рисунка видно, что узлы трубопроводов могут быть сложной геометрической формы, иметь несколько ответвлений, переменный диаметр и кривизну в двух направлениях. Более подробно сборки и под сборки трубопроводов систем ЛА приведены в приложениях 4 и 6.

Деление узла на детали производится конструктором на этапе проектирования, а также, исходя из возможностей предприятия изготовителя после технологической проработки членение трубопровода может меняться. Здесь соблюдается принцип чем меньше деталей будет в узле, тем проще его изготовить, т.к. сварка является сложной технологической операцией, а для особо ответственных трубопроводов все сварные швы должны проходить

рентген контроль. Примеры деталей приведены на рисунке 1.5. Более подробный перечень деталей систем ЛА приведен в приложениях 3 и 6.

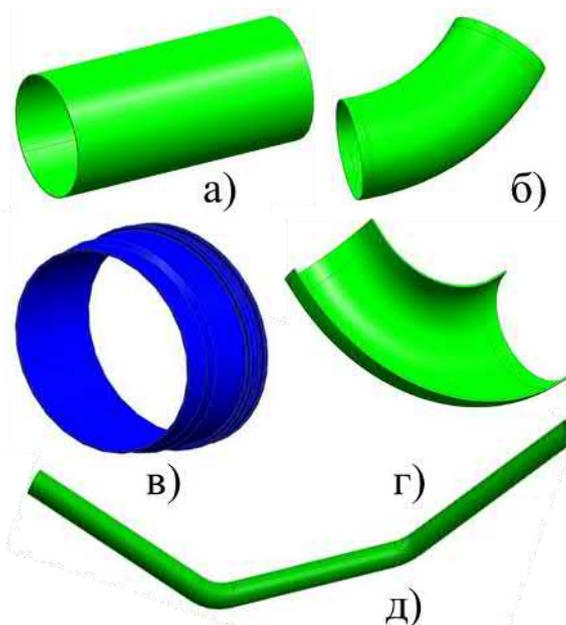


Рис. 1.5 Примеры деталей трубопроводов систем ЛА: а) труба прямая; б) патрубок; в) фланец; г) полупатрубок; д) труба, гнутая в двух плоскостях

Проанализировав детали трубопроводов систем ЛА можно сделать вывод, что основная часть деталей изготавливается из труб путем их отрезки и гибки, а также из листовых заготовок гибкой или штамповкой. Фланцы, необходимые для стыковки узлов, в основном изготавливают фрезерованием или точением.

Подведя итог анализу конструкции деталей и узлов трубопроводов, можно сделать вывод что материально трубопроводы систем ЛА представляют собой протяженные полые цилиндрические тела, образующие определенную сеть трасс. Здесь стоит отметить, что трубопроводы для различных типов систем имеют топологическое подобие геометрии.

Сложность геометрии и большая протяженность трубопровода налагают большие ограничения на качество изготовления, которое задается допусками в конструкторской документации (КД). Так согласно ГОСТ Р ИСО 13920 основными допусками на сварные соединения считаются угловые, линейные отклонения, прямолинейности, плоскостности и параллельности, а допуски формы и расположения поверхностей не определены и ставятся при необходимости исходя из служебного назначения свариваемой конструкции.

В данной работе основное внимание в дальнейшем будет уделено линейным и угловым допускам.

Примеры линейных и угловых допусков приведены на рисунке 1.6.

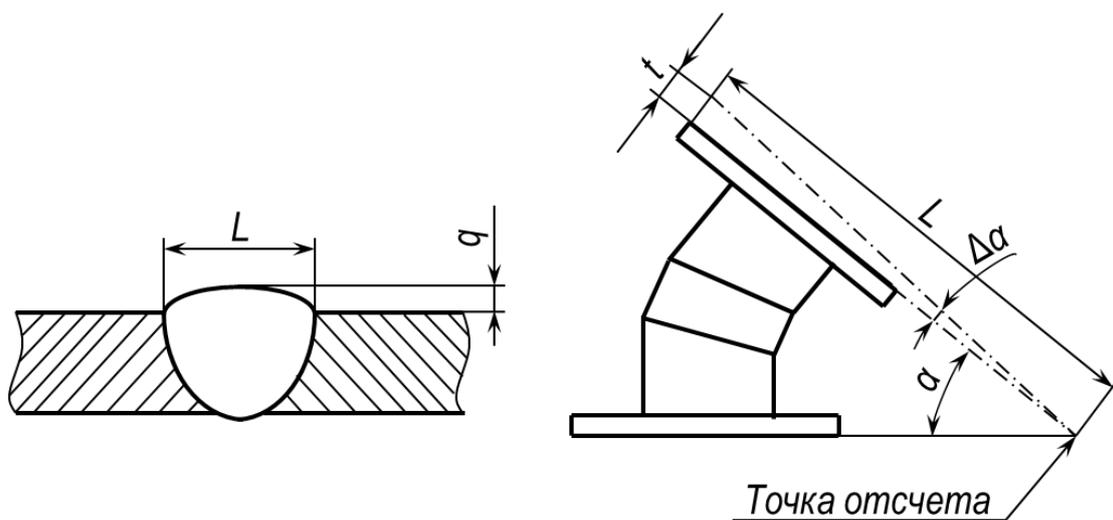


Рис. 1.6 Примеры допусков

Погрешности, образующиеся при позиционировании деталей относительно друг друга так же, как и качество самого сварного шва оказывают большее влияние на качество свариваемого узла. Т.к. трубопроводы имеют большую протяженность, то при большом количестве стыков, суммарные отклонения на всей дистанции трубопровода могут достигать больших величин. Что приводит к необходимости дорабатывать трубопровод или узлы навески на агрегате самолета или, в самом крайнем случае, к необходимости изготавливать узел вновь, в том числе с изменениями ТП и доработкой или повторным изготовлением ГО. Все это приводит к увеличению длительности цикла КТПП и к удорожанию конечного изделия.

Второй основной стадией, на которой широко применяются различные САПР и ЭМ и принимается большое количество решений, влияющих на качество изготовления трубопровода - является производство, а в частности этап КТПП.

Здесь решаются основные задачи выбора, проектирования и использования различных средств ГО, необходимых для обеспечения процесса производства деталей и их сборки.

В данной работе в дальнейшем будет рассматриваться только ГО, связанное со сборкой трубопроводов ЛА.

ТО, используемое при сборке трубопроводов представляет собой основание с установленными на нем ложементами, фиксаторами, зажимами, тангажными узлами и т. д. В авиации для обозначения, проектируемого и изготавливаемого ТО для конкретной детали или сборочной единицы (узла) часто применяется термин СТО. В дальнейшем для обозначения именно такой оснастки будет использоваться этот термин.

Пример СТО для сборки узла трубопровода представлен на рисунке 1.7.

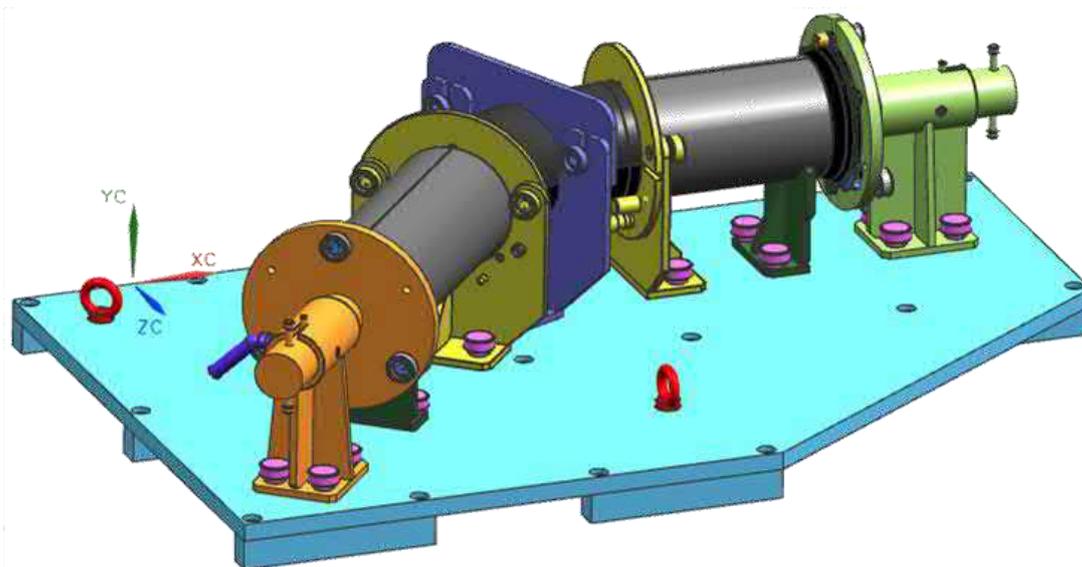


Рис. 1.7 СТО для сборки узла трубопровода

При малой серии выпуска или не высокой требуемой точности сборки могут использоваться переналаживаемые универсальные сварочные приспособления (УСвП).

УСвП представляет собой оснастку, собранную из стандартных элементов, на подвижных частях которых устанавливается шкала для настройки линейных и угловых перемещений, либо требуемый размер или угол набирается из комплекта элементов.

Пример УСвП представлен на рисунке 1.8.

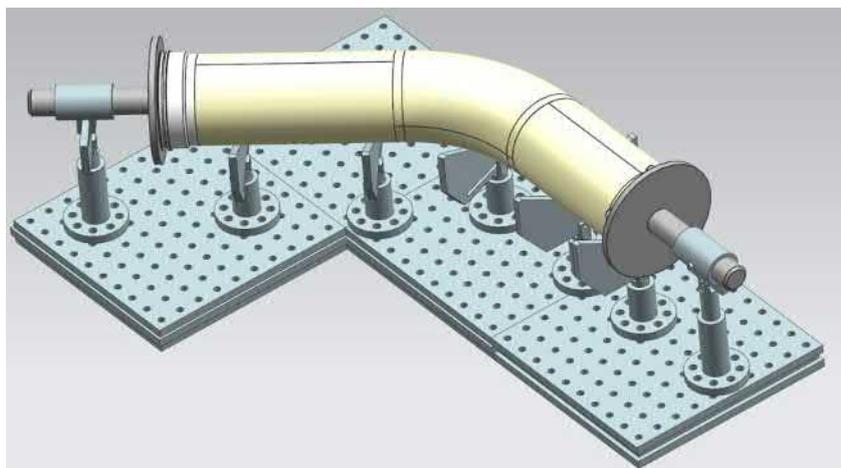


Рис. 1.8 Пример УСвП

Особенностью проектирования СТО или УСвП из стандартных деталей, является необходимость учитывать геометрическую форму собираемых деталей, что приводит к тому, что в большинстве случаев инженер-проектировщик работает в абсолютной СК, так же, как и проектировщик ЛА.

Основной задачей, для решения которой проектируется и изготавливается СТО является сборка деталей в узел с заданным в КД допуском на позиционирование деталей относительно друг друга с учетом привязки к СК самолета. Материально привязка СТО к СК самолета осуществляется с помощью реперных точек (знаков или узлов), установленных на оснастке или собираемых деталях или узлах. Обычно вместе с реперными точками для считывания координат применяются различные измерительные инструменты и лазерные трекеры [2].

Пример такого использования лазерного трекера для монтажа оснастки приведен на рисунке 1.9.

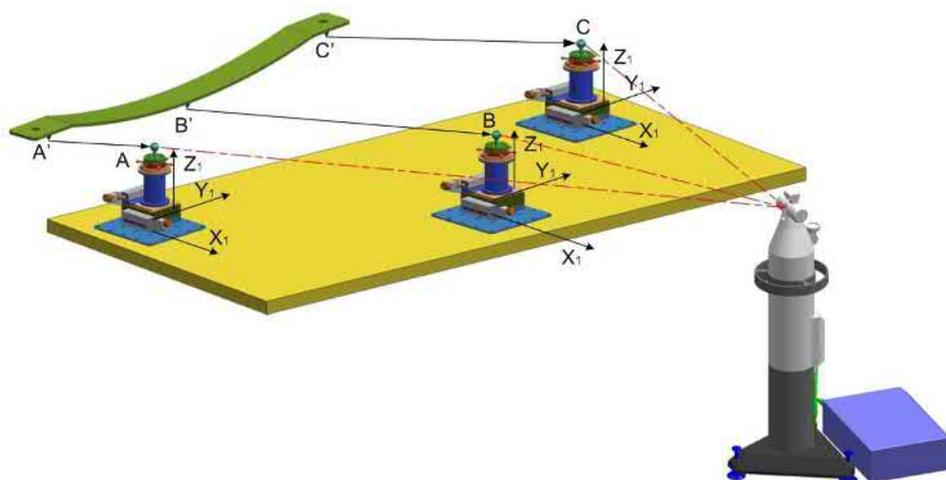


Рис. 1.9 Пример использования лазерного трекера при монтаже ТО

Еще одним важным местом применения ЭМ, являются этапы создания управляющих программ (УП) для производства и сборки деталей. В данной работе будут рассматриваться УП для промышленного сварочного робота.

Здесь стоит отметить, что СК робота и абсолютная СК ЛА не совпадают и возникает необходимость производить преобразования, согласования и корректировки СК.

Исходя из всего выше сказанного можно выделить **область исследования** настоящей работы: процесс конструкторско-технологической подготовки сборки трубопроводов летательного аппарата.

**Объектом исследования** являются геометрически согласованное проектирование и сборка узлов трубопроводов с использованием СТО в условиях роботизированной сварки.

**Направление исследований в диссертации связано с** геометрическим моделированием деталей и узлов трубопроводов в пространстве СМГ ЛА и их позиционированием учитывающем технологические средства для их сборки:

- с исследованием применения СМГ ЛА на различных этапах ЖЦ, а в особенности на этапе подготовки производства и предварительной сборки узлов трубопроводов сваркой с использованием промышленного робота.

- с исследованием способов представления деталей и узлов трубопроводов систем, а также ТО в виде моделей прецедентов, связанных онтологически и геометрически с пространством СМГ, а также учитывающих все основные их особенности при сборке.

- с исследованием средств прецедентно-ориентированной поддержки, обеспечивающей контролируемое накопление опыта принятия технических решений на этапах КТПП и предварительной узловой сборки трубопроводов в форме моделей прецедентов, подготовленных к повторному использованию.

**Предметом исследования** настоящей работы являются методы и средства прецедентно-ориентированного проектирования и сборки узлов трубопроводных систем ЛА, геометрическое моделирование которых согласовано с СМГ и геометрией технологического оснащения.

**Целью диссертационного исследования** является разработка геометрических моделей деталей и узлов трубопроводов ЛА, а также СТО, обеспечивающее прецедентно-ориентированное контролируемое накопление опыта технологической подготовки и связанные с этим позитивные эффекты.

## **1.2. Обзорно-тематический анализ**

Процесс разработки ЛА - это междисциплинарная деятельность, основанная на интенсивном использовании различных геометрических моделей деталей, сборок и их комплексов на разных этапах ЖЦ [96] большим количеством инженеров и специалистов. Вот почему такой артефакт, как СМГ, используется в процессах КТПП как единый источник информации, который может совместно использоваться пользователями для параллельного решения широкого круга задач в режиме реального времени.

Прежде всего, СМГ является источником геометрических ограничений [101], которые касаются определенных областей самолета в пространстве. Для облегчения взаимодействия с такими областями СМГ часто разделяется на части [103], которые ориентированы на использование содержания СМГ в соответствии с конструкторским и технологическим членением на отсеки, агрегаты, а также для определенных подсистем самолета или стадий ЖЦ. Пример СМГ фюзеляжа был приведен ранее на рисунке 1.1.

В [106] его авторы предлагают использовать специальную «буферную» геометрию в качестве модели перехода и отслеживания изменений между внешней геометрией самолета и СМГ.

Среди типичного применения СМГ или его компонентов отмечается управление геометрией при разработке ЛА [107]. С концептуальной точки зрения геометрия самолета и ее использование в концептуальном проектировании тщательно рассматривается в статье [104], где ее авторы дополнительно описывают специализированный инструмент, который называется «Система электронного проектирования авиационной геометрии».

Следует отметить, что поиск применения СМГ для проектирования и изготовления трубопровода был безрезультатным. Во время поиска также рассматривались вопросы использования онтологий в ЖЦ воздушных судов. В этой области соответствующих работ мы отмечаем работу [105] с акцентом на интеграцию моделей, исследование [47] фокусируется на управлении данными и публикации [110], в которой анализируется слияние информации. Все работы, указанные выше, а некоторые другие были использованы в нашем исследовании как источники требований при решении сформулированной выше задачи.

### **Геометрические модели, применяемые в ЖЦ ЛА**

Далее рассмотрим существующие способы и методы описания электронных геометрических (математических) моделей деталей и узлов.

Прежде всего, как было отмечено ранее, основным концептом, задающим весь внешний облик и внутренний состав ЛА, является СМГ, которая, как правило, описывается при помощи кривых второго порядка, а также при помощи кривых и поверхностей Безье.

Пример поверхности и фрагмент крыла ЛА, построенного при помощи поверхности Безье приведен на рисунке 1.10.

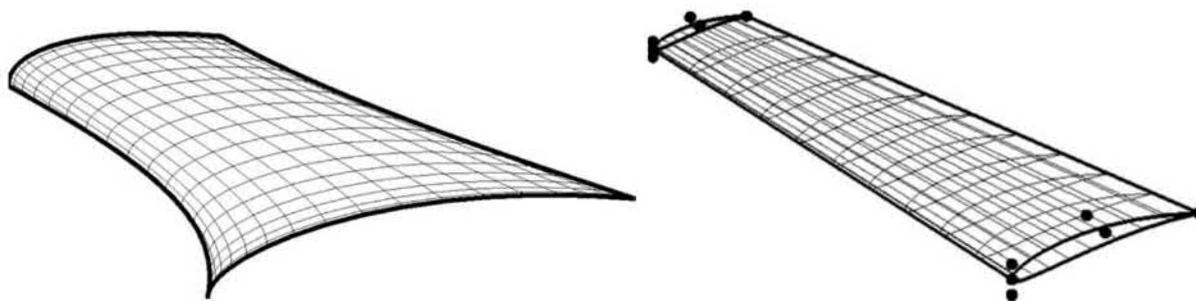


Рис. 1.10 а) поверхность Безье; б) фрагмент крыла ЛА, построенный с помощью поверхности Безье

В настоящее время применяют следующие подходы к построению и представлению геометрических моделей: граничное представление, позиционный метод, метод конструктивной геометрии.

*Граничное представление* (Boundary-representation или B-rep) — метод, при котором геометрия детали задается элементами поверхности (гранями), ребрами и вершинами [91]. Например, деталь с плоскими поверхностями может быть задана списком граней, в котором содержатся ребра и списком ребер с

вершинами. Поверхности сложной формы задаются либо уравнениями поверхностей, либо с помощью функций создания примитивов: заметание (sweeping), натягивание (skinning), сопряжение (blending).

*Заметание* – основа кинематического метода синтеза поверхностей, при котором заданный двумерный контур перемещается по траектории, а след от его перемещения образует поверхность детали.

*Натягивание* – метод построения поверхности детали по заранее заданным поперечным сечениям. Данный метод часто применяется при построении теоретических поверхностей ЛА.

*Сопряжение* – функция скругления острых ребер, образуемых при пересечении поверхностей [91].

Пример граничного представления детали приведен на рисунке 1.11.

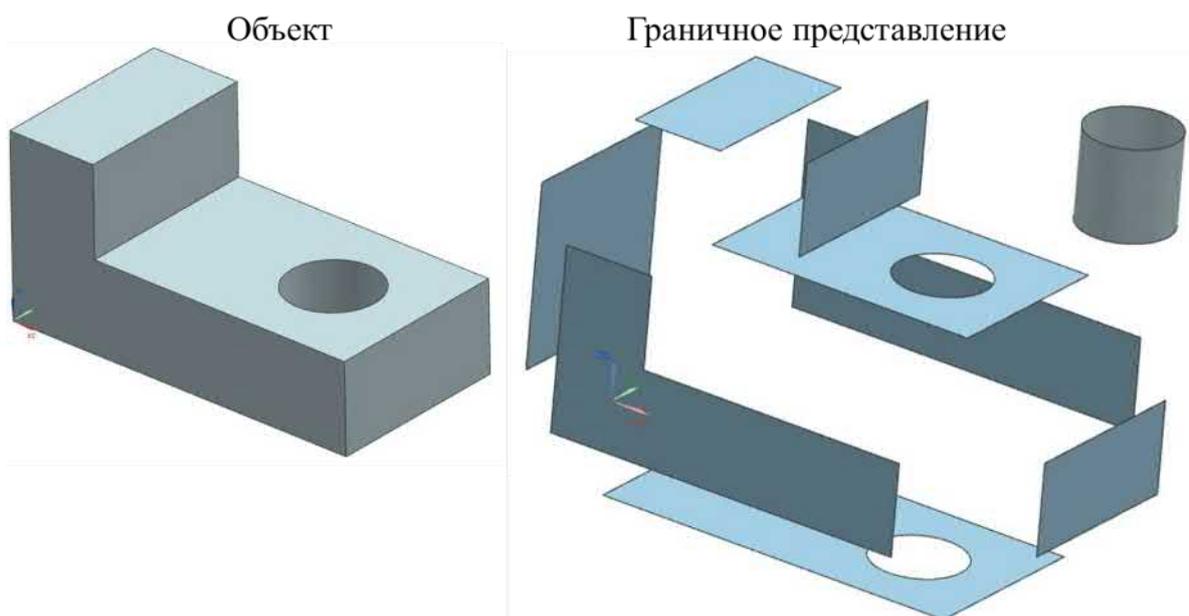


Рис. 1.11 Граничное представление

*Позиционный (декомпозиционным) метод* – метод при котором пространство разбивается на ячейки (позиции) и деталь задается адресами ячеек. Форма таких ячеек может представлять собой параллелепипеды одинаковых размеров (воксельное представление), параллелепипеды кратных размеров (октантное представление) или может быть неодинаковой формы (ячеечное представление). Основным недостатком такого метода является то, что с увеличением точности модели очень сильно увеличивается и ее размер.

*Метод конструктивной геометрии (Constructive Solid Geometry) – метод заданий геометрии детали в виде множества базовых элементов формы, над которыми могут выполняться теоретико-множественные операций (объединение, пересечение, разность) или такой метод еще называют объектно-ориентированным моделированием (feature-based modeling). Это основной метод для создания сборочных моделей в современных САПР. В состав базовых элементов формы входят заранее разработанные модели простых тел, такие как параллелепипед, цилиндр, конус, сфера, призма и т.д.*

*Метод конструктивной геометрии привел к появлению способа представления объемной геометрии в виде *конструктивного представления*, который заключается в последовательности применения булевых операций, которое может быть представлена в виде дерева построения. Данный метод применяется в большинстве САПР.*

Пример конструктивного представления детали приведен на рисунке 1.12.

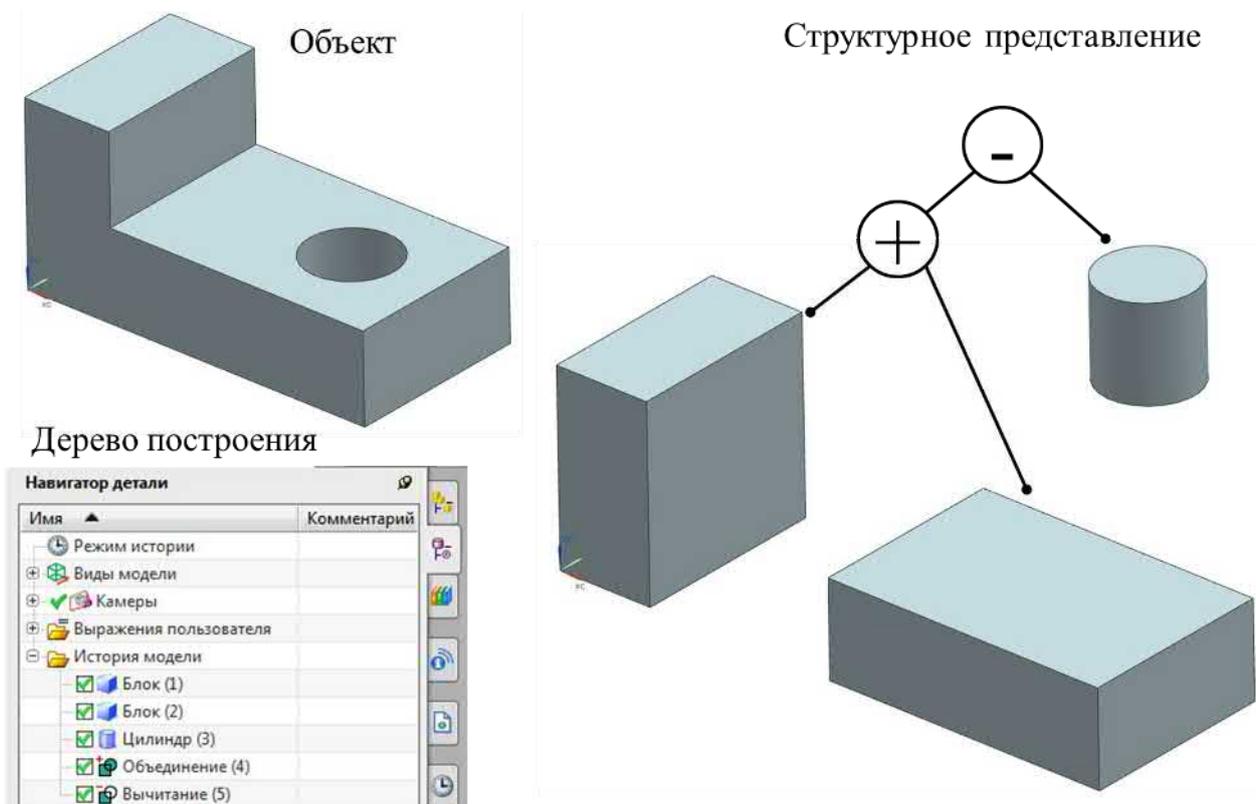


Рис. 1.12 Конструктивное представление модели детали

В настоящее время в авиационной отрасли наиболее широкое распространение получили следующие САПР имеющие возможность работы со сложными поверхностями двойной кривизны: CATIA, Siemens NX и Creo.

Стоит так же отметить, что в подразделениях, которые занимаются разработкой ТО и где не требуется активная работа со сложными поверхностями используются САПР среднего уровня: SolidWorks, Solid Edge, Autodesk Inventor и т.д. В практике российского машиностроения так же получили широкое распространение отечественные САПР Компас-3D и T-flex CAD в которых реализована полная поддержка стандартов ЕСКД.

### **Программирование промышленных роботов**

Так как процесс подготовки производства в диссертационном исследовании рассматривается в том числе и с использованием промышленных роботов, то нельзя не упомянуть существующие способы из программирования.

Традиционно для управления оборудованием с ЧПУ используется G-код. G-код – условное именование языка программирования, разработанного компанией Electronic Industries Alliance и утвержденного комитетом ISO в качестве стандарта ISO 6983-1:2009.

Кроме G-кодов производители промышленных роботов часто используют свои собственные наборы команд. Например, фирма KUKA, робот которой в дальнейшем будет рассматриваться в качестве примера использования в ТП сборки трубопроводов, использует язык программирования роботов собственной разработки KUKA Robot Language (KRL). Любой код KRL состоит из двух разных типов файлов с одним и тем же названием: постоянного файла данных с расширением .dat и файла команд перемещения с расширением .src.

Существует множество различных способов передачи команды движению роботу с использованием языка KRL. Наиболее распространенными являются:

- Программирование координат путем задания углов поворота в каждом подвижном узле. Пример: A1 0, A2 10, A3 90, A4 20, A5 60, A6 25.
- Программирование координат в декартовой системе с заданием местоположения и ориентации конечного звена манипулятора. Пример: X 10, Y 20, Z 40, A 45, B 75, C 1.

Для разработки УП для промышленного робота так же используются различные САПР, позволяющие автоматизировать процесс разработки УП.

В настоящее время широкое применение получили следующие САПР для программирования промышленных роботов RoboDK, RoboCAD, FreeCAD и т.д.

В данной работе в дальнейшем будет использоваться система FreeCAD, т.к. она является бесплатной, а также содержит весь необходимый функционал в виде кинематической модели промышленного сварочного робота KUKA и постпроцессор для формирования необходимых выходных файлов для программирования сварочного робота.

Дальнейший интерес представляют результаты работы инженерного состава с ЭМ, которые могут быть сохранены и повторно использованы в форме моделей прецедентов. Далее рассмотрим существующие наработки и способы представления прецедентов для накопления профессионального опыта.

### **Прецеденты и онтологии предметной области**

Как было сказано ранее, процесс КТПП производства трубопроводов является междисциплинарным и требует согласованного участия большого количества инженерного персонала. Результатом работы которого является большое количество принятых технических решений на всех стадиях ЖЦ.

Для накопления профессионального опыта при проектировании сложных высокотехнологичных изделий и ТО, необходимого для их производства, получили широкое распространение различные справочники, каталоги, государственные, отраслевые стандарты, стандарты предприятия или организации (СТП и СТО) и т.д. Основным недостатком такого подхода является большая трудоемкость и длительность расширения справочников, а так же отсутствие системы поиска, учитывающей конкретные особенности изготавливаемой детали или собираемого узла. Данные недостатки привели к появлению различных систем накопления профессионального опыта на основе онтология профессиональной области. Ключевым элементом таких систем является прецедентный подход.

Прецедентный подход получили широкое использование в интеллектуальных системах поддержки принятия решений, где он получил название *Вывод на основе прецедентов (CBR – Case-Based Reasoning)*.

Прецедентный подход появился в процессе создания экспертных систем, основанных на знаниях [14].

Прецедентом в данном случае является единица полезного профессионального опыта, сохраненная в памяти компьютера и готовая к повторному использованию.

В связи с тем, что детали и узлы трубопроводов систем ЛА представлены в виде твердотельных ЭМ, то далее будут рассмотрены прецеденты, содержащие геометрическую информацию.

Наиболее развитая область использования таких прецедентов – машинное распознавание образов и текста.

Далее рассмотрим основные способы представления изображений и образов для последующего распознавания.

Граничное представление фигуры – представление при котором описываются все внешние границы фигуры. Данный способ близок к граничному представлению в САПР и является наиболее естественным и простым. Явное описание границ фигуры позволяет решать больше количество задач классификации.

Однако способ граничного представления не всегда является достаточным для проведения анализа формы. Существуют различные практические задачи, в которых форма объекта складывается из отдельных протяженных элементов, к которым так же относятся и трубопроводы. Для анализа объектов такого класса граничное описание является недостаточно информативным, поэтому возникает необходимость более тонкого описания, который отображает общую структуру объекта с учетом топологических и метрических свойств. К одному из таких способов относится представление фигуры в виде графа, который является скелетом данной фигуры, поэтому данный способ описания получил название скелетного представления фигур.

Для реализации скелетного представления существует большое количество способов, например, способ максимально пустых фигур, «пожар в прерии», дистанционной функции и т.д. [62, 98, 100, 108].

Пример граничного и скелетного представления фигур приведен на рисунке 1.13.

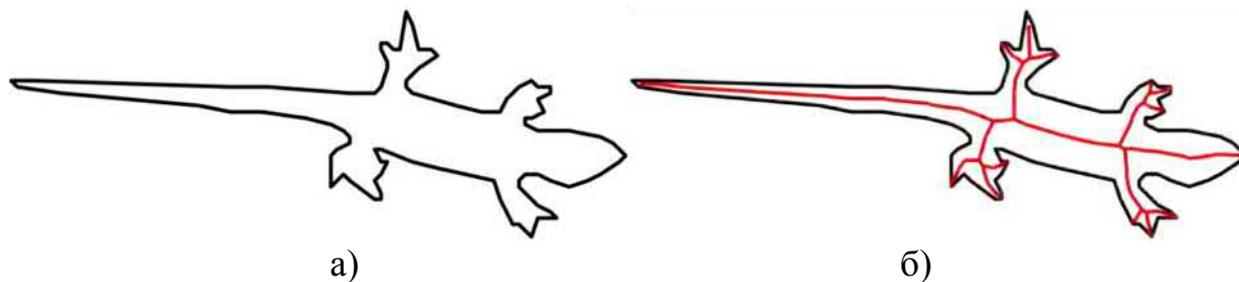


Рис. 1.13 а) граничное представление фигуры; б) скелет фигуры

Для возможности структурирования информации в виде полезного опыта широко используются системы поддержки принятия решений базы знаний и т.д. В основе таких систем, как правило, положена онтология предметной области, содержащая понятия, определения,

В настоящее время широкое распространение получили следующие редакторы онтологий: Ontolingua, DOE, OntoEdit, WebOnto, ODE, Magenta, Protege [5, 7, 78].

В основе данного инструментария лежит прецедентный подход, предполагающий отображение операционной среды проектирования на семантическую память. Механизмы отображений разработаны для декларативных и императивных составляющих процесса концептуального проектирования. Для представления концептуально-алгоритмических решений разработан специализированный псевдокодированный язык, настроенный над семантической памятью вопросно-ответного типа и ориентированный на моделирование прецедентов (деятельностных единиц повторного использования) [58, 82, 83].

Проведенный анализ работ и существующих средств автоматизации и поддержки ЖЦ современного авиастроительного предприятия привел к формированию подходов к решению задач диссертационного исследования, которые будут рассмотрены далее.

### **1.3. Подходы к решению задачи прецедентно-ориентированной поддержки процессов подготовки производства и узловой сборки деталей трубопроводов**

Как было рассмотрено ранее, теория и практика онтологического сопровождения процессов проектирования ЛА накопила богатый опыт их цифрового моделирования, позволяющий активно расширять и внедрять его в производственные процессы различных составляющих ЛА, в частности в КТПШ [68]. Ниже такое расширение осуществляется для этапов проектирования и изготовления трубопроводных систем ЛА.

Ориентация на включение онтологии трубопроводных систем в процессы КТПШ обусловлена тем, что в виду большой номенклатуры и сложности геометрических форм, существующие классификаторы деталей и узлов трубопроводов, тем более учитывающих спецификации оснастки для их сборок не покрывают все потребности производства и требуют доработки или расширения. Так же к основным недостаткам использования классификаторов можно отнести то, что процесс их создания и присвоения конкретного классификационного номера каждой детали требует больших затрат времени при большой номенклатуре деталей и сборочных единиц.

Здесь стоит отметить, что в ЖЦ каждого отдельного трубопровода накапливается большое количество информации, связанной с конкретными этапами ЖЦ при помощи обозначений или идентификаторов, таких как номер ТП, номер используемого ТО и т.д. Для автоматизации поддержки ЖЦ целесообразно использовать специализированные онтологии, статьи которых позволяют специалистам интегрировать необходимую информацию для каждого этапа подготовки производства и в самом производстве.

Поэтому основные недостатки использования существующих классификаторов трубопроводных систем можно объяснить тем, что процесс их создания, а также присвоения определенного классификационного номера каждой детали или узлу и его связь с существующей нормативной документацией требует проведения объемной работы, связанной с созданием

семантической целостности информации. В то же время важным аргументом в пользу включения средств онтологической поддержки в процесс КТПШ трубопроводных систем ЛА является необходимость геометрического моделирования деталей и сборок, согласованных с представлением самолета в его онтологическом пространстве, которое необходимо учитывать в производственных процессах.

В данной работе предлагается разработать новое представление моделей деталей и сборочных единиц (узлов), атрибуты которых сохраняют связь с МГ самолета. Связь с МГ самолета должна давать возможность проводить согласование различных СК, необходимость которого возникает на этапах КТПШ и производства трубопровода для реализации возможности контроля геометрии стыков трубопровода с учетом их расположения в геометрическом пространстве самолета. Необходимость же такого контроля возникает из-за того, что трасса трубопровода в самолете должна проходить через специальные вырезы в силовых элементах, через специальные узлы крепления, а также должна обходить определенные агрегаты и элементы конструкции. Поэтому в производстве протяженных трубопроводов полезным будет учитывать не только погрешность изготовления каждой отдельной детали или узла, но и суммарную погрешность, которая может достигать нескольких миллиметров.

Такая связь учитывает не только их геометрические характеристики, но и онтологические атрибуты, семантика которых связана с их расположением в ЛА с учетом его симметричности, а также позволяет производить контролируемое накопление опыта в виде прецедентов.

Пример для случаев согласования СК двух деталей, деталей и оснастки, оснастки и сварочного робота приведен на рисунке 1.14.

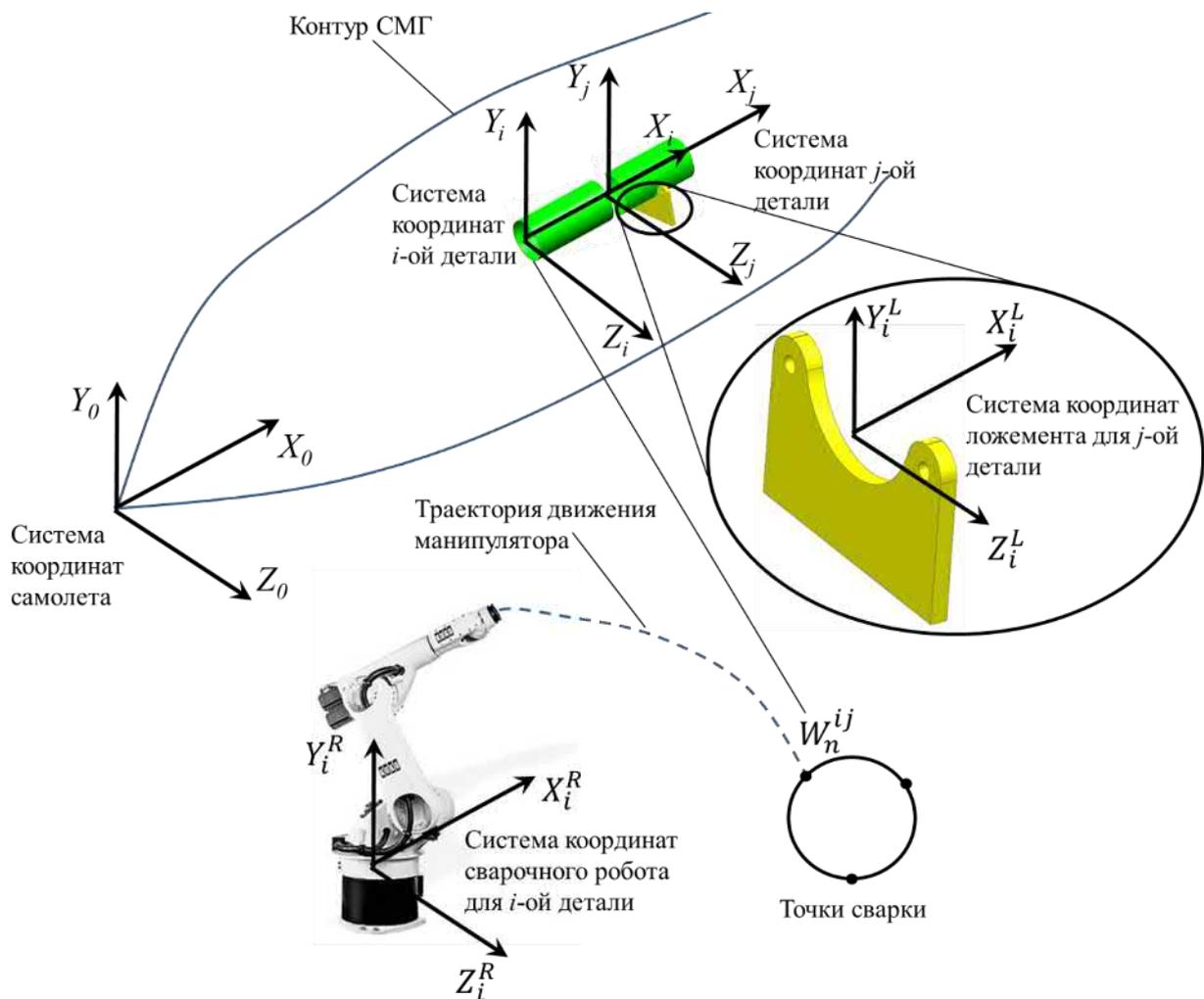


Рис 1.14. Пример согласования СК

Такие прецеденты должны будут включены в состав разрабатываемой Онтологии с учетом ориентации на применение в конкретных этапах производственного цикла, в том числе при разработке КД на СТО, создании и использовании нормативных документов, используемых при разработки необходимого ТО и разработке УП для точечной сварки промышленным роботом. Исследование и разработка проводится в инструментальной технологической среде WIQA, потенциал которой позволяет создавать модели прецедентов и прикладных онтологий с последующей материализацией, что положительно скажется на уровне автоматизации процесса КТПП [109].

Как отмечалось выше, предлагаемая прецедентно-ориентированная поддержка учитывает использование СМГ самолета в процессах КТПП.

СМГ определенного самолета - это модель геометрического пространства, задающая аэродинамическую форму самолета и формы всех компонентов с учетом их позиционирования в пространстве. Этот артефакт имеет

компьютеризированное представление и может использоваться командой проектировщиков на этапах ЖЦ для решения различных задач, например, когда они создают листовые детали фюзеляжа с двойной кривизной [97].

В рамках СМГ инженеры могут предварительно моделировать установку подсистем и агрегатов самолета. Во время такой работы, шаг за шагом, пространство СМГ заполняется компонентами различных систем ЛА.

СМГ также может использоваться инженерами-технологами для предварительной разработки, ТП (например, для директивных ТП сборки), инженерами-конструкторами в технологических отделах для предварительной разработки ТО для изготовления и сборки компонентов ЛА, а также позволяет оценить, как проводить операции по техническому обслуживанию при дальнейшей эксплуатации и утилизации.

Дальнейшее исследование будет ограничено только производством металлических трубопроводов, в которых есть сварочные операции. Кроме того, предполагается, что для изготавливаемого трубопровода задачи компоновки, трассировки и размещения в пространстве самолета уже решены. Таким образом, позиционирование каждой конкретной детали и узла уже привязано к геометрии самолета.

В этом случае любые детали или узлы трубопровода могут быть помещены в пространство самолета, и любая точка конструкции трубопровода может быть задана по ее координатам в абсолютной СК. Кроме того, инженер-конструктор или технолог могут работать в собственной рабочей СК, которая связывается с СМГ посредством линейных преобразований.

Для достижения положительных эффектов выделялись следующие задачи:

- Для повышения эффективности процесса КТПП производства металлических трубопроводов ЛА необходимо разработать средства, ориентированные на прецедентное геометрическое моделирование компонентов трубопровода в промышленных условиях атрибуты которых имеют связь с СМГ самолета. Это означает, что они должны включать Онтологию, которая ориентирована на геометрические модели деталей

трубопровода и узлов, свариваемых промышленным роботом в условиях применяемой ТО. Онтология должна обеспечивать интеграцию этих моделей в прецеденты и взаимодействовать с ними на определенных этапах КТПП.

- Для решения задачи будет использоваться инструментарий WIQA, включающий в себя средства для создания прикладных онтологий, которые закодированы в семантической памяти вопросно-ответного типа [109]. Ячейки такой памяти помогают прикреплять графические и любые другие файлы, полезные для использования инженерами. В результате чего словари онтологии могут быть организованы для хранения моделей прецедентов [109].

При сборке любого узла сваркой необходимо обеспечивать правильное позиционирование деталей относительно друг друга, так же с учетом их позиционирования в СМГ. В противном случае при узловой сборке трассы трубопровода с большей протяженностью могут возникнуть большие отклонения, приводящие к необходимости дорабатывать либо сам трубопровод, либо узлы его крепления непосредственно на собираемом отсеке самолета.

Для достижения этой цели учитывалось следующее:

1. Каждый монтируемый узел соединяется с другим при помощи фланцевых соединений.
2. Фланцы должны быть приварены к соответствующим деталям с учетом их расположения в ЛА.
3. Для облегчения позиционирования с каждой частью полезно связать СК, начало которой совпадает с СК СМГ.
4. Предварительная сборка деталей в узел производится точечной сваркой.
5. Окончательная сборка деталей в узел производится сваркой по контуру, представляющему собой окружность или эллипс.

Выше перечисленное позволяет сформулировать следующие требования:

1. Геометрические модели деталей должны быть простыми, насколько это возможно, но достаточными для обеспечения точного позиционирования свариваемых деталей.

2. Геометрические модели должны быть универсальными и не зависеть от используемой САПР.

3. Любая геометрическая модель должна располагаться в абсолютной СК СМГ ЛА.

4. Должна обеспечиваться достаточная точность сварки узлов, путем преобразований точек сварки из абсолютной СК самолета в рабочую СК промышленного робота с возможностью введения поправочных коэффициентов.

Новые геометрические модели деталей и узлов, соответствующие описанным выше требованиям, будут использоваться в качестве прецедентов в WIQA.

Инструментарий WIQA содержит все необходимые средства для создания проектировщиком адекватных и полезных моделей прецедентов и необходимой онтологии. Структура модели прецедента представлена на рисунке 1.15.

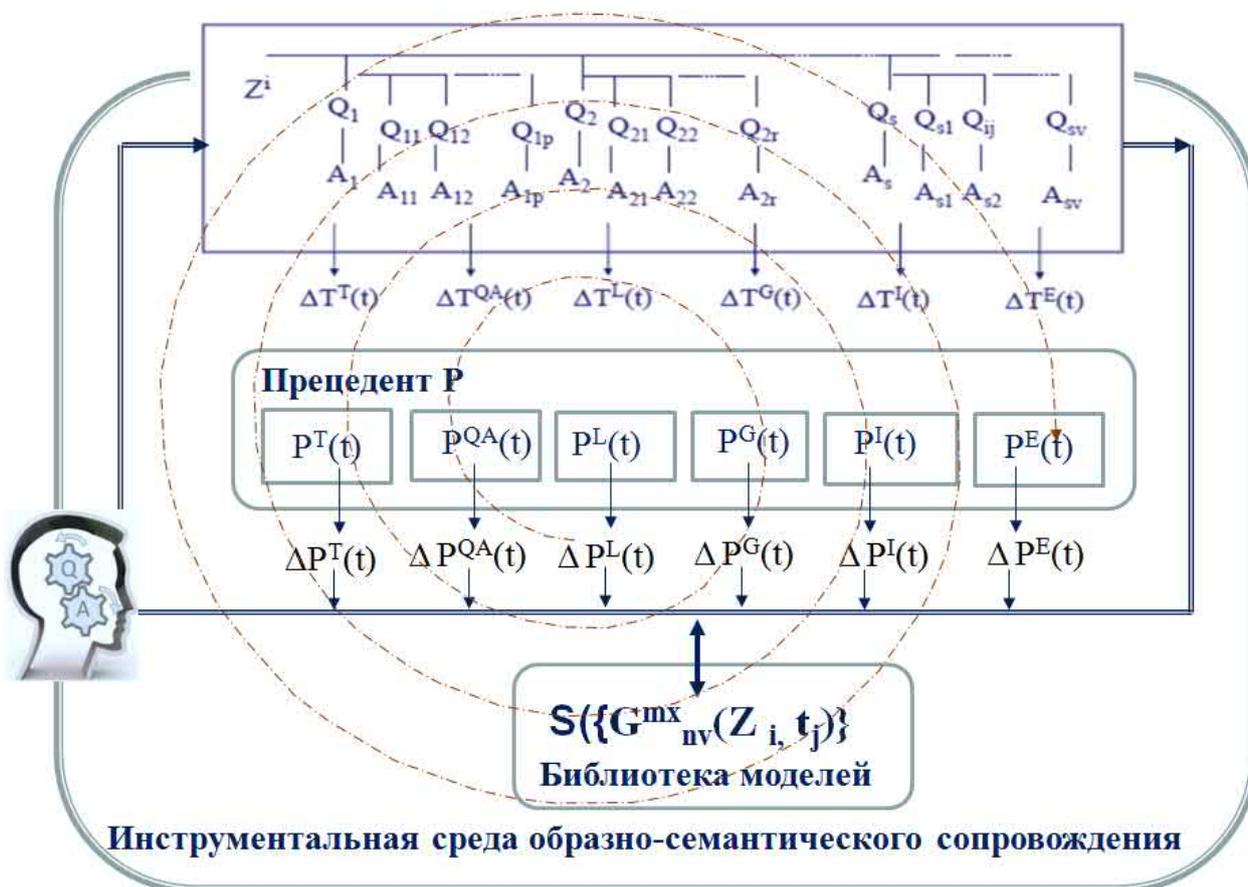


Рис. 1.15 Модель прецедента

В общем случае модель прецедента включает следующие компоненты (специализированные модели):

1. Текстовая модель  $P^T(t)$ , представляющая собой постановку задачи, в результате которой был создан прецедент (в результате интеллектуальной обработки решения соответствующей задачи  $Z_i$ ;

2. Логическая модель  $P^L(t)$ , задающая типовую логическую модель в виде формулы логики предикатов, написанной на языке постановки задачи  $P^T(t)$ ;

3. Графическая модель прецедента  $P^G(t)$ , который представляет его обобщенным способом с использованием инструментов «блок и линия» (в нашем случае, например, скелетная модель и другие полезные схемы);

4. Вопросно-ответная модель  $P^{QA}(t)$ , которая содержит «вопрос-ответ», используемый для решения задачи  $Z_i$ ;

5. Модель  $P^I(t)$ , представляющая поведение, вложенное в прецедент, в виде исходного кода его программы;

6. Модель  $P^E(t)$ , ссылающаяся на исполняемый код программы, реализующей образец прецедента.

В частности, такие модели описаны в [110], где подчеркивается, что на практике некоторые из компонентов могут отсутствовать. В данной работе типичная модель прецедента была разработана с учетом проекции на ЖЦ ЛА на этапе КТПП и производства. Эта проекция объединяет ряд принятых технических решений, которые появляются и реализуются на разных этапах всего ЖЦ. Даже эти решения имеют онтологический характер. Остальные компоненты модели прецедентов также отражают онтологическую информацию. Вот почему была включена Онтология в инструментальную поддержку процесса КТПП трубопроводов ЛА.

Онтология должна распространяться на следующие действия:

- классификация деталей, сборочных единиц и единиц оснастки;
- проверка логики их моделей, в том числе на правильность сборки;
- документирование и обоснование выбранного варианта процесса КТПП;
- геометрические преобразования, включающие преобразования СК;

- разработку УП для сварочного робота, ее выполнение и сохранение результатов.

На первом этапе разработки Онтологии должна быть произведена классификация деталей и сборок трубопроводов систем ЛА, в ходе которой будут присвоены классификационные номера и определена их информационная составляющая. Такое решение было принято для возможности использования существующих средств для работы с онтологиями, встроенными в инструментарий WIQA [2], и поэтому необходимость разработки структуры онтологии и соответствующих рабочих процессов отсутствовала. Основной вопрос заключался в заполнении Онтологии адекватным информационным наполнением.

Главной особенностью разработанных средств геометрического моделирования деталей и узлов трубопроводов систем ЛА должна являться их ориентация на использование СМГ как единого онтологического источника информации. Предлагаемые модели можно интерпретировать как расширение СМГ, которое поддерживает технологические операции сборки узлов трубопроводов сваркой.

Такая интерпретация приводит к вопросам взаимодействия с дополнительным источником информации и эффективному повторному использованию моделей. Вот почему предлагаемые модели имеют прецедентно-ориентированные формы, а модели прецедентов интегрируются в специализированную онтологию.

Предлагаемые средства обеспечивают необходимую точность позиционирования деталей в условиях, ориентированных на их сварку промышленным роботом. Средства так же помогают учитывать осевые отклонения, линейные отклонения и угловые отклонения перед сваркой.

#### 1.4. Обобщенная постановка задачи и мотивационно - целевые установки задачи исследований

Анализ существующих программных средств и научно-исследовательских работ в области проектирования и изготовления СТО для сборки трубопроводов и написания УП для РСК, а также оценка возможностей средств онтологической поддержки и их применения к решению задачи сопровождения процессов КТПП сборки трубопроводов в условиях производства предприятий авиационной отрасли подвели автора к следующей обобщенной постановке задачи:

*Z\* 1. Для повышения эффективности процесса КТПП и производства комплекса трубопроводных систем ЛА разработать прикладную онтологию и средства ее использования в промышленных условиях ориентируясь на МГ самолета представляя детали трубопроводов и их сборки с помощью скелетных геометрических моделей, позволяющих выйти на оснастку и ее применение на примере предварительной сварки деталей.*

*2. Онтологическое сопровождение процесса проектирования ТО должно быть ориентировано на накопление опыта проектирования для структуризации которого используются модели прецедентов для доступа к которым разработать систему наименования секций.*

*3. Разработка должны быть проведена в среде, обеспечивающей согласованное прототипирование действий робота, запрограммированного на прототипирование технологических действий концептуальное экспериментирование и моделирование в условиях оперативного использования онтологии опыта.*

Обобщенная формулировка в соответствии с требованиями QA-подхода в виде трех предложений со следующей исходной нагрузкой:

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

- второе предложение раскрывает самое существенное, связанное с методом решения задачи в том случае, когда этот метод не известен, что обеспечивает аналитический выход на подходящие концептуальные модели «поведения»;
- третье предложение указывает на существенное в реализации решения в составе разрабатываемой автоматизированной системы проектирования, что обеспечивает аналитический выход на концептуальные модели реализации, например, на диаграмму компонентов или диаграмму размещения.

Формулировка задачи ТПП трубопроводов ЛА должна начинаться с представления такого вида, с которого возможно применение QA-подхода. В начале применения данного подхода требуется извлечь из формулировки вложенные в нее вопросы [81].

Далее рассмотрим краткий вопросно-ответный анализ, который начнем со следующего предложения:

*Для повышения эффективности проектирования ТО в производстве комплекса трубопроводных систем ЛА разработать прикладную онтологию и средства ее использования в промышленных условиях ориентируясь на МГ самолета представляя детали трубопроводов и их сборки с помощью скелетных геометрических моделей, позволяющих выйти на оснастку и ее применение на примере предварительной сварки деталей.*

Q1. Что из себя представляет комплекс трубопроводов ЛА?

A1. В основу материализации трубопроводов ЛА следует положить совокупность геометрически подобных моделей трубопроводов специального назначения, каждая из которых привязана к геометрии самолета и состоит из номенклатуры топологически подобных фрагментов трубопроводов.

Q2. Что составляет специфику ТО для изготовления трубопроводов современного ЛА?

A2. Специфику ТО для изготовления фрагментов труб, их сборки и производственного контроля их, определяет необходимость согласования единиц ТО с геометрией фрагментов, учитывающей размещение и крепление в ЛА и требования производственных операций.

Q2.1. Для чего нужно учитывать размещение крепления фрагментов трубопроводов ЛА с требованиями производственных операций?

A2.1. Фиксация трубопроводов в местах закрепления в ЛА позволит увеличить точность сборки за счет совмещения конструкторских и технологических баз, а также повторно использовать геометрию и технические решения при проектировании узлов навески и ТО.

Q3. За счет чего прикладная онтология и средства ее использования в промышленных условиях повысят эффективность проектирования ТО?

A3. Прикладная онтология должна способствовать развитию и накоплению опыта проектных решений и осуществлять поддержку выбора решений инженерами на стадии проектирования ТО, что и приведет к повышению эффективности его проектирования.

Q3.1. Какие эффекты будут достигнуты при использовании прикладной онтологии на стадии проектирования ТО?

A3.1. Использование прикладной онтологии позволит уменьшить количество ошибок проектирования ТО, сократить время проектирования за счет повторного использования профессионального опыта, повысить степень автоматизации на стадии выбора концепции ТО, уменьшить влияние человеческого фактора на процесс проектирования и сократить время обучения персонала?

Q4. Что представляет из себя МГ самолета?

A4. МГ самолета – набор теоретических поверхностей контура самолета и осей расположения силовых элементов каркаса планера в виде электронных математических моделей, которые служат основой для дальнейшего проектирования всех элементов конструкции и трассировки трубопроводов систем.

Q5. Что является скелетными геометрическими моделями деталей и сборок трубопроводов?

A5. Скелетные геометрические модели являются представлением деталей и сборок трубопроводов систем ЛА в виде точек, соединенных ломаными линиями и служат для объединения в группы геометрически подобные детали и сборки.

***Онтологическое сопровождение процесса проектирования ТО должно быть ориентировано на накопление опыта проектирования для структуризации которого используются модели прецедентов для доступа к которым разработать систему наименования секций.***

Q6. Почему выбрана прецедентно-ориентированная структуризация профессионального опыта?

A6. Прецедентно-ориентированная структуризация профессионального опыта на основе скелетного геометрического представления выбрана потому, что данный подход позволит сократить количество ошибок в разработке ТП и при проектировании ТО, за счет повторного использования примененных ранее успешных технических решений и создания базы опыта проектных решений.

Q7. Что является прецедентами и их моделями в процессе проектирования ТО для сборки трубопроводов?

A7. Прецедентами для проектирования ТО для сборки трубопроводов являются решения, принятые инженером на основании геометрии трубопровода, представленной в виде скелетных геометрических моделей и текстовой нормативной документации (стандарты, инструкции, ТП, ТЗ, ТУ и т.д.) и материализованные в виде параметризованных моделей ТО.

Q8. Как будет осуществляться онтологическое сопровождение процесса проектирования?

A8. Онтологическое сопровождение процесса проектирования будет осуществляться с помощью комплекса средств, центральное место в котором занимает совокупность псевдокодовых программ, обслуживающих создание и использование онтологии.

*Разработка должны быть проведена в среде, обеспечивающей согласованное прототипирование действий робота, запрограммированного на прототипирование технологических действий концептуальное экспериментирование и моделирование в условиях оперативного использования онтологии опыта.*

Q9. Почему разработка должна быть проведена в среде, обеспечивающей концептуальное экспериментирование и моделирование?

A9. Концептуальное экспериментирование и моделирование позволит на стадии формирования ТП и ТЗ проводить анализ принятых технических решений и выбрать оптимальный вариант ТП и ТО до стадии производства.

Полный вопросно-ответный анализ приведен в приложении 1.

На основе уже сформулированных ответов можно построить диаграмму прецедентов (рис. 1.16).

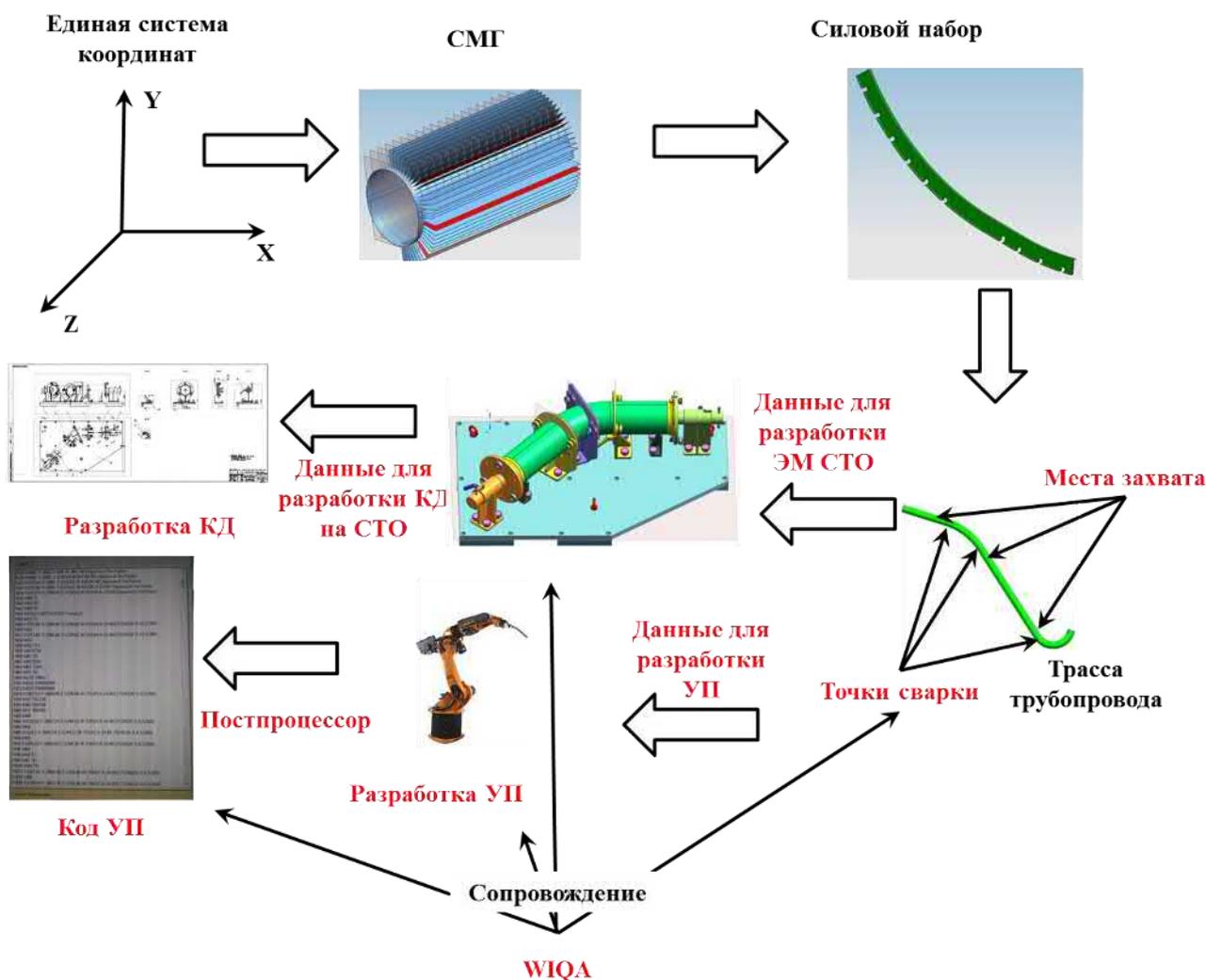


Рис. 1.16 Диаграмма прецедентов

Диаграмма прецедентов отражает тот факт, что в комплексе разработки средств прецедентно-ориентированной поддержки процесса подготовки производства и сборки трубопроводов предполагается наличие этапа исследования геометрии трубопровода и нормативной документации перед проектированием в CAD-системе и оформлением запроса на ТО в виде ТЗ для определения наиболее рационального вида под конкретно заданную сборку.

Далее рассмотрим ЖЦ трубопровода ЛА с использованием прикладных онтологий и концептуально-алгоритмического программирования.

К числу важных результатов относятся положительные аспекты, которые можно получить от внедрения в практику предложенных методов. В данном случае в процесс проектирования ТО для сборки трубопроводов и разработки УП для сварочного робота. В связи с этим целесообразным является выделение ожиданий от разрабатываемых подходов, и затем, путем их анализа, выделение мотивов и целей, которые планируется достичь.

Этапы ЖЦ трубопроводов на которых производится проектирование и изготовление СТО, разработка УП и сварка трубопровода промышленным роботом с выделенными точками, на которых возможна эффективная онтологическая поддержка приведены на рисунках 1.17, 1.18.

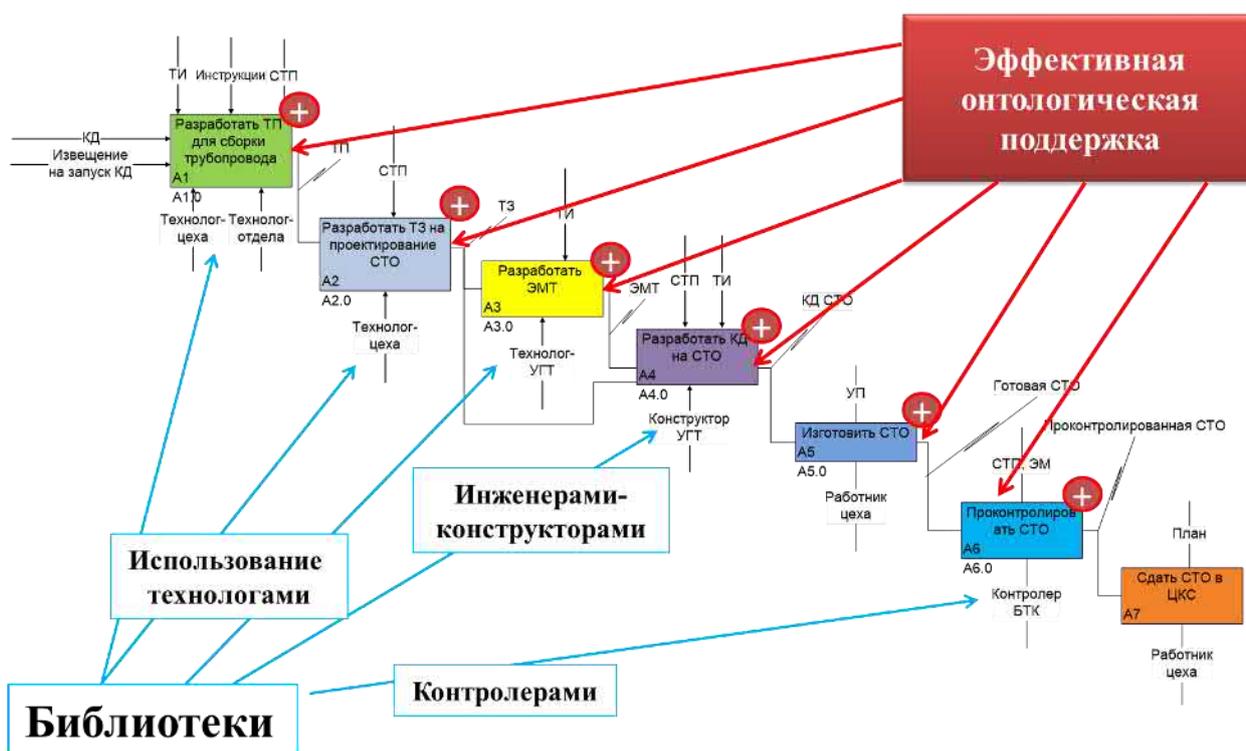


Рис. 1.17 Этапы проектирования и изготовления СТО

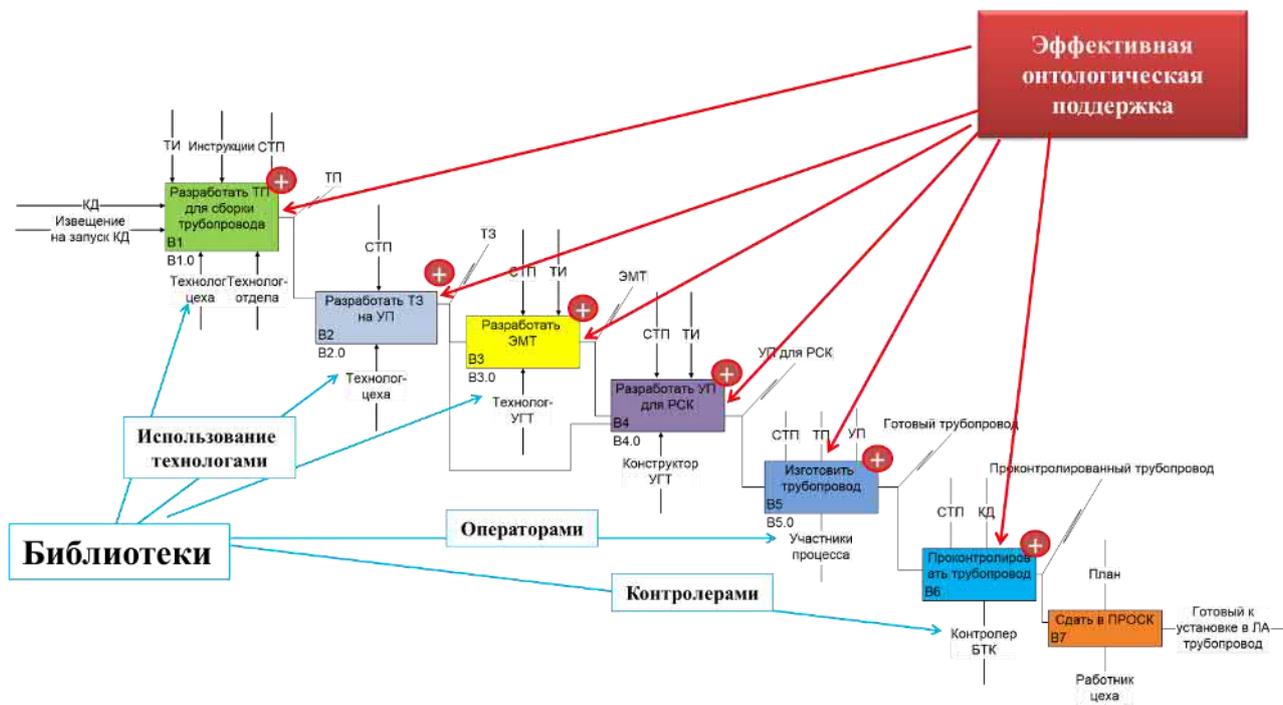


Рис. 1.18 Этапы разработки УП и сборки трубопровода

Расширенный перечень достигаемых эффектов от внедрения прикладных онтологий в процесс КТПП узловой сборки трубопроводов систем ЛА с использованием сварочного робота приведен в приложении 2.

Для достижения приведенных выше эффектов и определения мотивационно-целевых установок, необходимо рассмотреть обобщенное представление задачи **Z1**. И сформулировать на его основе мотив:

***M0. Обеспечить прецедентно-ориентированное сопровождение процессов КТПП и узловой сборки трубопроводов систем ЛА с учетом согласования СК на всех этапах КТПП.***

Мотив M0 связан с тенденцией к увеличению уровня автоматизации на различных этапах КТПП и узловой сборки трубопроводом систем ЛА, накоплению профессионального опыта в виде полезных моделей прецедентов, готовых к повторному использованию и уменьшению влияния человеческого фактора на процесс технологической подготовки авиационного производства и сборки трубопроводов систем ЛА.

***Ц0. Обеспечить конструкторско-технологический персонал методами и средствами прецедентно-ориентированной поддержки входящими в онтологию для предотвращения и обнаружения ошибок, а также для накопления и повторного использования профессионального опыта и его систематизации.***

***Ц1. Обеспечить прецедентно-ориентированную поддержку процессов КТПП и узловой сборки трубопроводов систем ЛА на этапах проектирования СТО, разработки УП для сварочного робота и разработки текстовых документов с использованием инструментально-моделирующей среды.***

***Ц2. Обеспечить согласование СК на всех этапах ЖЦ узлов трубопроводов систем ЛА в том числе и с учетом использования сварочного робота.***

Достижение каждой из поставленных целей приведет к следующим положительным эффектам:

- Достижение Ц0. позволит аккумулировать профессиональный опыт в форме моделей профессиональных решений и повторно его использовать, что приведет к повышению профессионального уровня как отдельного специалиста, так и коллектив разработчиков.
- Достижение Ц1. приведет к увеличению оперативности доступа к профессиональному опыту, к снижению негативных факторов от потери понятийного содержания информации в БД предприятия и будет способствовать поиску творческих решений при проектировании СТО для сборки трубопроводов, разработки УП для сварочного робота и разработки текстовых документов (ТП, ТЗ на СТО и ТЗ на УП).
- Реализация Ц1. позволит сократить количество ошибочных решений на этапах проектирования СТО, разработки УП и разнообразной текстовой документации, а также породить новые профессиональные решения.

- Реализация Ц2. позволит сократить ошибки в производственном цикле, возникающие из-за погрешностей позиционирования деталей в оснастке и оснастки относительно сварочного робота
- Достижение Ц0. – Ц2. Приведет к повышению эффективности процесса КТПП и узловой сборки за счет накопления профессионального опыта в виде полезных моделей прецедентов, готовых к повторному использованию, атрибуты которых имеют координатную связь с МГ самолета, что уменьшит вероятность возникновения ошибок проектирования и производства с использованием сварочного робота из-за применения не удачных технических решений или из-за рассогласования СК деталей, узлов, СТО и координат сварки для промышленного робота, что, в свою очередь, положительно скажется на сокращении цикла КТПП трубопроводов систем ЛА.

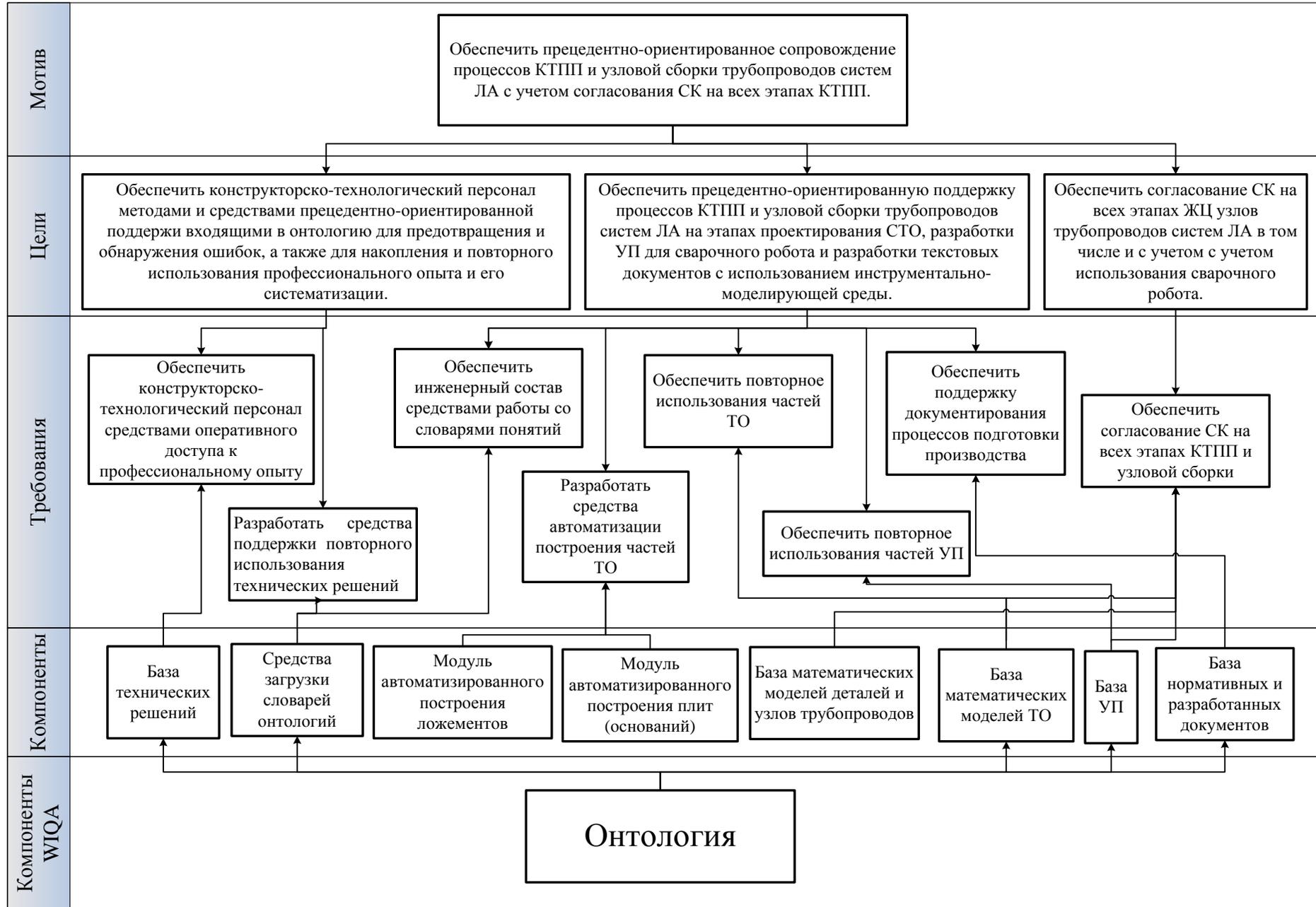


Рис. 1.19. Мотивационно-целевая диаграмма

## Выводы по первой главе

1. Основным концептом, определяющим внешний облик разрабатываемого ЛА, а также задающим положение деталей или узлов в ЛА является СМГ или МГ, начало координат которой является точкой отсчета для позиционирования всех остальных частей самолета.

2. Процесс разработки ЛА – это междисциплинарная деятельность, основанная на интенсивном использовании различных геометрических моделей деталей, сборок и их комплексов на разных этапах ЖЦ большим количеством инженеров и специалистов. Поэтому в качестве единого источника информации, используемого для параллельного решения задач в реальном времени в процессе КТПП используется такой артефакт как МГ.

3. Теория и практика онтологического сопровождения процессов проектирования ЛА накопила богатый опыт их цифрового моделирования, позволяющий активно расширять и внедрять его в производственные процессы различных составляющих ЛА, в частности в КТПП сборки узлов трубопроводов, что в дальнейшем будет использоваться в качестве источников профессионального опыта в разработке прикладной онтологии.

4. Целесообразно разработать новое представление моделей деталей и сборочных единиц (узлов), атрибуты которых сохраняют связь с МГ самолета, что должно позволить проводить согласование различных СК, необходимость которого возникает на этапах подготовки производства и производства трубопроводов для реализации возможности контроля геометрии стыков деталей с учетом их расположения в геометрическом пространстве самолета.

5. Для повышения эффективности процесса КТПП производства металлических трубопроводов ЛА необходимо разработать средства, ориентированные на прецедентное геометрическое моделирование компонентов трубопровода в промышленных условиях с учетом МГ самолета. Это означает, что они должны включать Онтологию, которая ориентирована на геометрические модели деталей трубопровода и узлов, свариваемых промышленным роботом в

условиях применяемой то. Онтология должна обеспечивать интеграцию этих моделей в прецеденты и взаимодействовать с ними на этапах КТПП.

6. Для решения задачи будет использоваться инструментарий WIQA, включающий в себя средства для создания прикладных онтологий, которые закодированы в семантической памяти вопросно-ответного типа, ячейки которой могут хранить графические и любые другие файлы, полезные для использования инженерами. В результате чего словари онтологии могут быть организованы для хранения моделей прецедентов, готовых к повторному использованию и позволяющих повысить эффективность работы инженерного персонала на этапах принятия технических решений.

## **Глава 2. Формализация задач геометрического моделирования и онтологической поддержки в производстве трубопроводов летательного аппарата**

### **2.1. Мастер-геометрия летательного аппарата и ее роль в проектировании систем трубопроводов**

Разработка любого ЛА начинается с формирования целей и задач для которых он предназначен. В результате определяются необходимые летно-технические характеристики (ЛТХ), технологические, эксплуатационные и другие требования к ЛА, выбираются критерии (показатели) эффективности выполнения ЛА поставленной задачи и формируется техническое задание ТЗ на проектирование нового ЛА.

На следующем шаге разрабатывается компоновка самолета, которая, обычно, состоит из трех основных этапов:

1. Объемно-весовая компоновка – определяет размещение во внутренних объемах самолета всех грузов, оборудования, топлива, экипажа, целевой нагрузки, силовой установки и прочее, т.е. всего того, что занесено в сводку масс самолета.

2. Конструктивно-силовая компоновка – предусматривает разработку конструктивно-силовой схемы самолета с проработкой силовых схем всех его агрегатов с указанием точного расположения основных силовых элементов – лонжеронов, усиленных нервюр, силовых шпангоутов, бимсов, стыковых соединений.

3. Аэродинамическая компоновка – выбор схемы взаимного расположения и геометрических параметров основных частей ЛА, обтекаемых воздухом в процессе полета, увязка их между собой с целью получения таких аэродинамических характеристик ЛА, которые позволили бы проектируемому ЛА выполнить поставленные задачи. [40, 47]

Пример интегральной компоновочной схемы самолета приведен на рисунке 2.1.

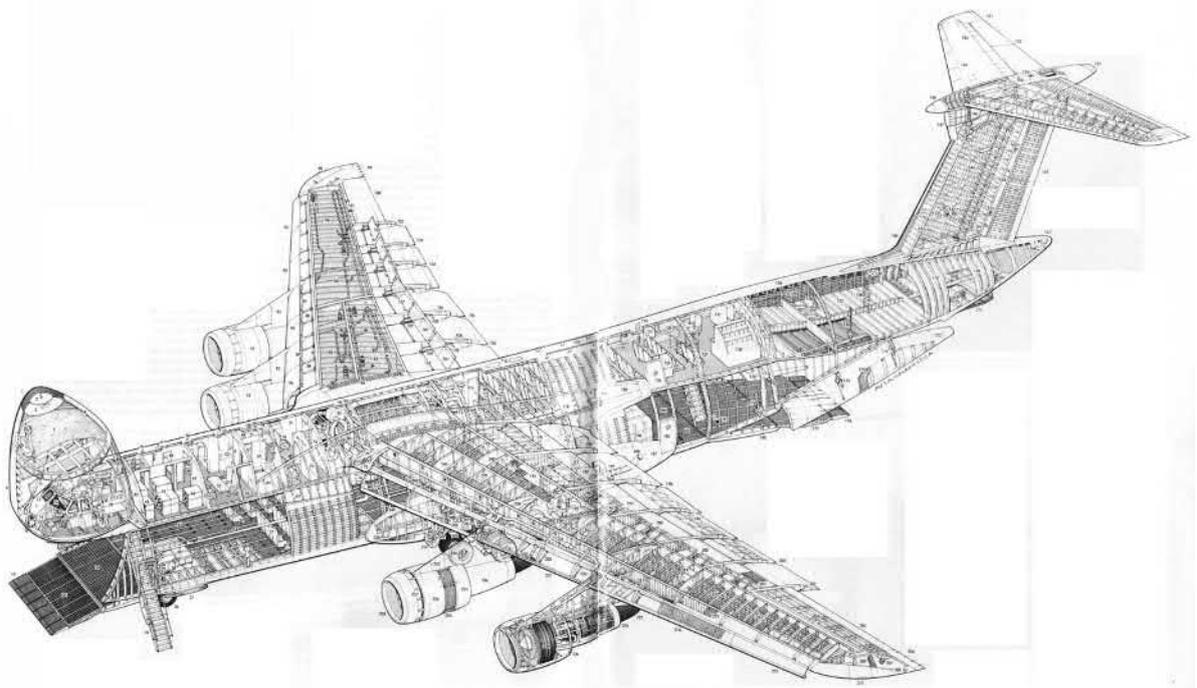


Рис. 2.1 Компоновочная схема самолета АН-124

Этот результат и ему подобные появляются в процессе решения конструкторско-технологических задач компоновки, размещения и трассировки. Одной из важнейших составляющих такого решения является приписывание геометрических характеристик всем единицам компоновки, которые находятся внутри ЛА. Более того, эти характеристики привязаны к абсолютной СК самолета. Разумеется, каждому из трубопроводов (один из которых схематично показан на рисунке 2.2) и их деталям и узлам так же приписываются геометрические характеристики.

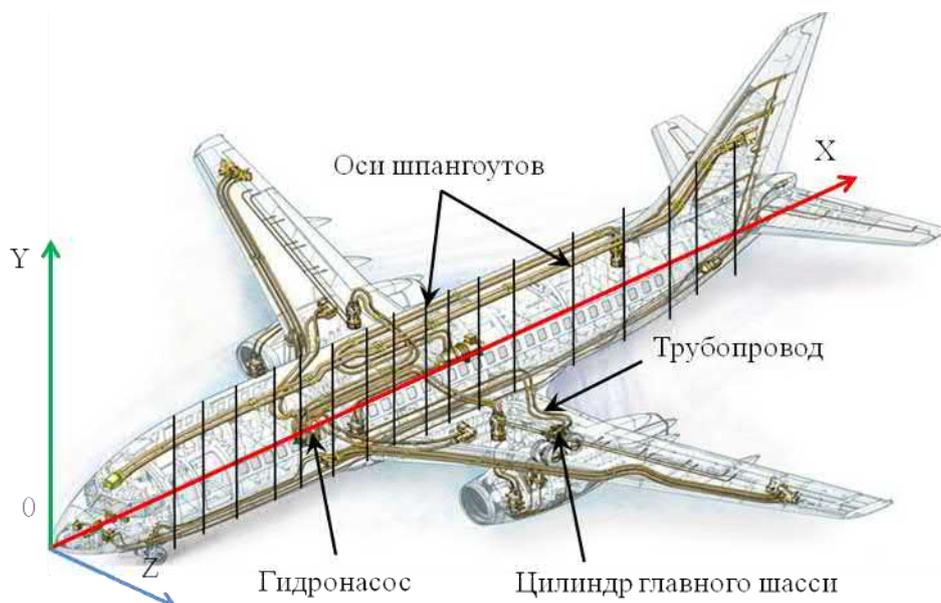


Рис. 2.2 Трассировка трубопроводов гидросистемы самолета

Рассмотрим возможности для таких применений СМГ начиная с обобщенных отображений СМГ самолета на СМГ силового набора, в их привязке к абсолютной СК, схематично изображенной на рисунке 2.3 в ее привязке к внешней геометрии самолета.

На схеме приведены основные плоскости самолета: плоскость начала координат или дистанция «0» ( $OYZ$ ), плоскость симметрии самолета (ПСС) ( $OXY$ ), и плоскость строительной горизонтали фюзеляжа (СГФ) ( $OXZ$ ). Соответственно точка начала СК самолета имеет координаты  $(0; 0; 0)$  и ось  $X$  направлена от носа самолета к хвосту, ось  $Y$  – вверх, а ось  $Z$  – в бок. Такую точку принято называть началом «Абсолютной СК» и проектирование относительно ее – «проектированием в абсолютной СК».

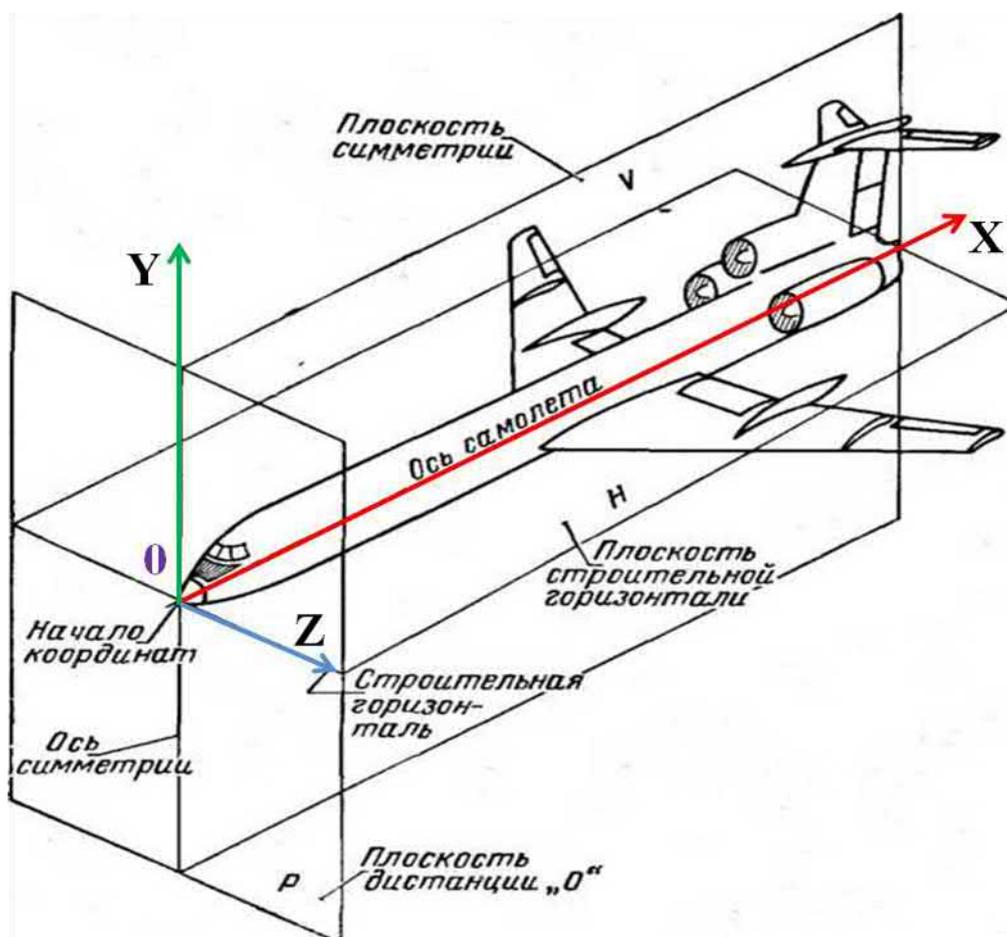


Рис. 2.3 Пример геометрии самолета с основными плоскостями

В практике создания ЛА СМГ, как конструкт, появляется в результате отображения аэродинамики на обвод, под которым понимают поверхность планера самолёта, обтекаемая воздушным потоком в полете. Обвод разделяется

на теоретический и действительный. Теоретический обвод – это обвод, заданный на теоретическом чертеже или с помощью математической модели поверхности, а действительный обвод – это обвод, полученный в результате сборки узлов, секций, отсеков и агрегатов планера.

Представим переход от аэродинамики к СМГ следующим выражением:

$$G(KS) \cup G(Aerodynamics) \xrightarrow{R} G(SMG^{LA}), \quad (2.1)$$

где  $R$  – некоторая функция преобразований отображения, которую выполняет проектировщик при работе с исходными математическими поверхностями и построении новых математических моделей элементов ЛА;  $G(SMG^{LA})$  – специфицированная СМГ;  $KS$  – компоновка ЛА. Причем такие переходы могут быть в дальнейшем сохранены в виде полезных моделей прецедентов.

Отметим, что  $G(SMG^{LA})$  состоит из набора поверхностей, плоскостей, линий и точек, которые описаны математическими формулами и образуют аэродинамический обвод ЛА, фрагмент которого образно представлен на рисунке 2.4.

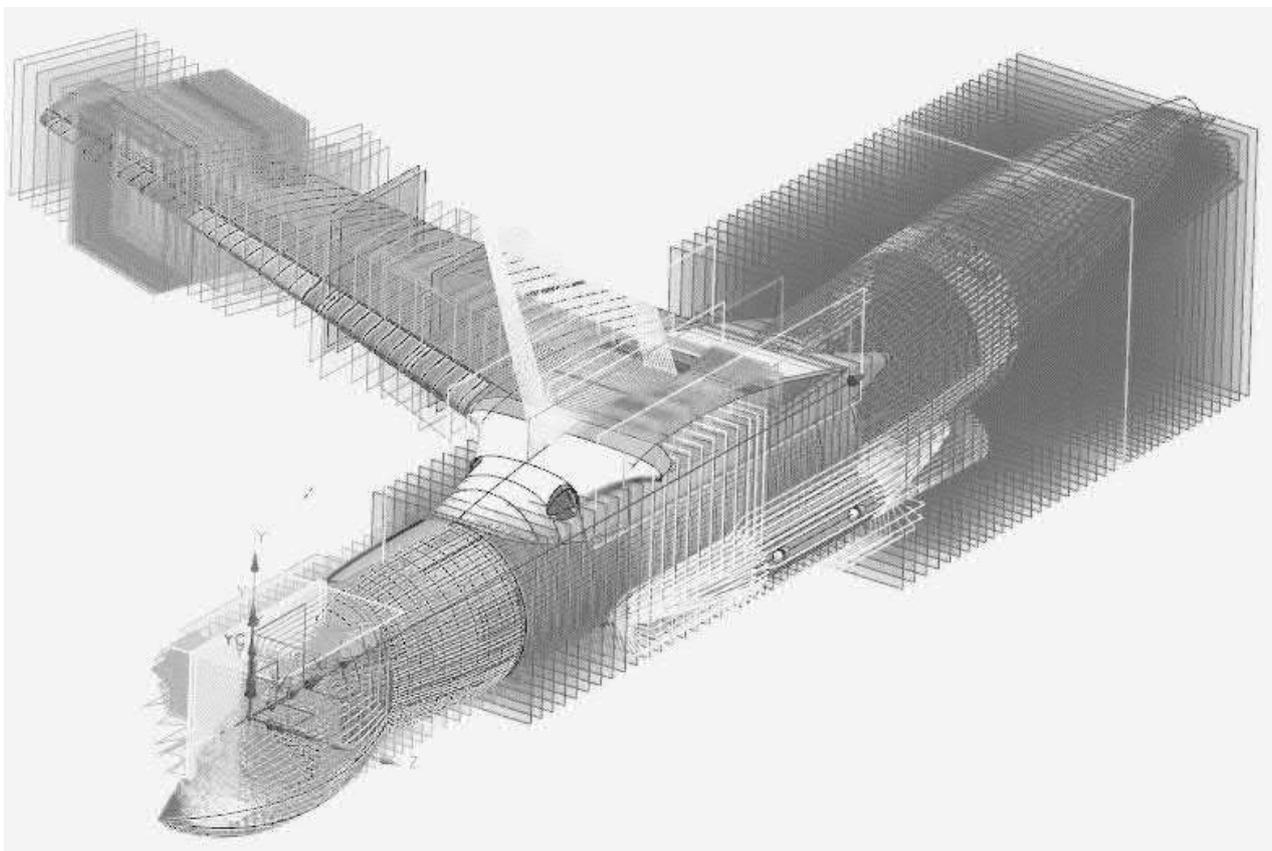


Рис. 2.4 Фрагмент СМГ

На практике  $G(SMG^{LA})$  изображают и специфицируют в виде набора поверхностей, плоскостей, линий и точек, которые определяют расположение в соответствующем порядке обшивок, осей шпангоутов, стрингеров и лонжеронов, что позволяет переходить к геометрии силового набора, обреза обшивок, осей вращения и других базовых элементов конструкции ЛА, а также служат геометрической основой для построения всех деталей и сборочных единиц ЛА.

Таким образом от геометрической математики  $SMG^{LA}$  можно перейти к детализации МГ обвода, учитывая, что  $SMG^{LA}$  разделяется на СМГ крыла  $G(SMG^K)$ , СМГ фюзеляжа  $G(SMG^F)$ , СМГ хвостового оперения  $G(SMG^O)$ . Такое разделение можно описать в виде выражения:

$$G(SMG^{LA}) = \{G(SMG^F); G(SMG^K); G(SMG^O)\} \quad (2.2)$$

Дальнейшую детализацию составляющих обвода продолжим на примере  $G(SMG^F)$ , который включает в себя наборы теоретических поверхностей обшивки  $G(P^F)$ , осей стрингеров  $G(Os^{strF})$  и осей шпангоутов  $G(Os^{shpF})$ , образно показанные на рисунке 2.4, можно представить выражением:

$$G(SMG^F) = \{G(P^F); G(Os^{shpF}); G(Os^{strF}); G(Os^{LongF})\} \quad (2.3)$$

В свою очередь наборы поверхностей аэродинамического обвода, осей шпангоутов и стрингеров состоят из отдельных поверхностей  $G(P_i^F)$  и осей, задаваемых, как правило, плоскостями  $(Os_i^{shpF}, Os_i^{strF}, Os_i^{strF})$ :

$$G(P^F) = \{G(P_j^F), j = 1..nj\} \quad (2.4)$$

$$G(Os^{shpF}) = \{G(Os_k^{shpF}), k = 1..nk\} \quad (2.5)$$

$$G(Os^{strF}) = \{G(Os_l^{strF}), l = 1..nl\} \quad (2.6)$$

$$G(Os^{LongF}) = \{G(Os_m^{LongF}), m = 1..nm\} \quad (2.7)$$

Обобщенное представление дерева детализации  $G(SMG^{LA})$  показано на рисунке 2.5.

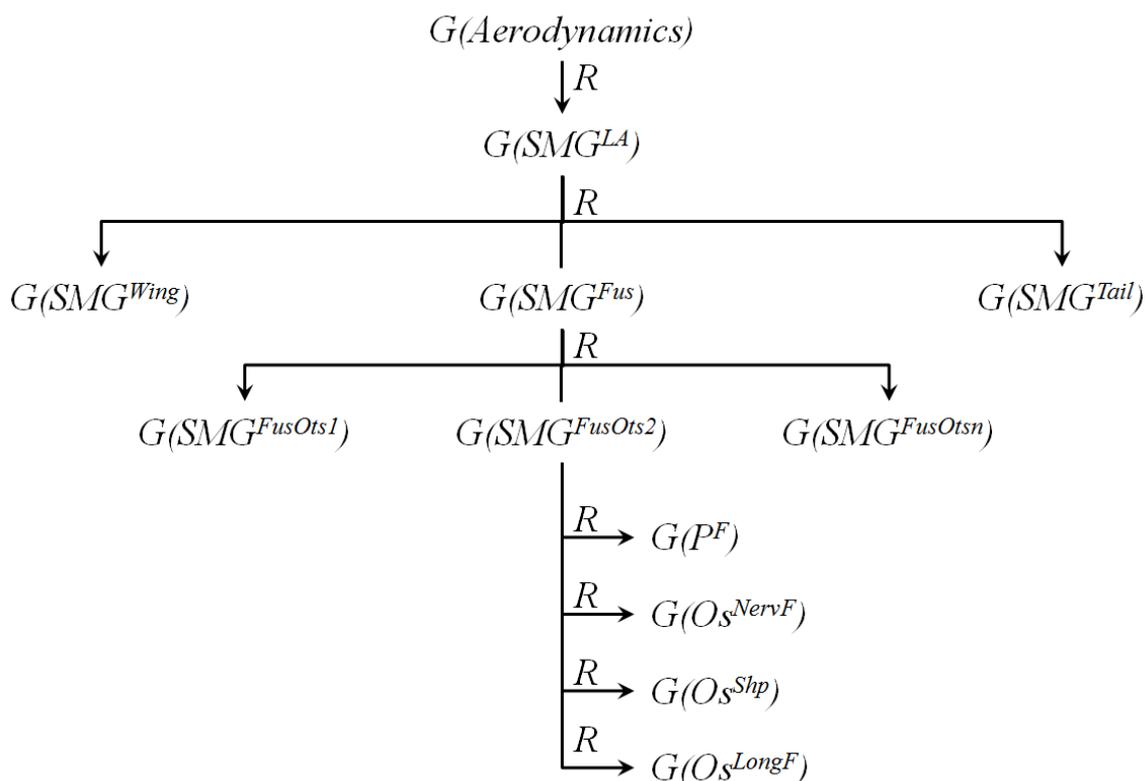


Рис. 2.5 Обобщенное представление дерева построения  $G(SMG^{LA})$

Проведенные рассуждения о фюзеляже и символические представления так же применимы к  $G(SMG^K)$  и  $G(SMG^O)$ .

Рассмотренные выше наборы составляющих  $G(SMG^F)$  являются необходимым минимум для построения обшивки и подкрепляющего силового набора планера.

Построение обшивки  $(G(Obsh_a^F))$  производится инженером-конструктором через функцию отображения определенной поверхности  $(G(P_b^F))$  на ее материальное воплощение (с учетом толщины ее спецификаций):

$$G(P_c^F) \xrightarrow{R} G(Obsh_c^F) \quad (2.8)$$

Переход от  $G(SMG^{LA})$  к геометрии силового набора рассмотрим по методике «снизу – вверх» на примере фюзеляжа ЛА, т.е. начиная с базовых деталей силового набора.

Одним из основных элементов силового набора фюзеляжа является шпангоут, поэтому дальнейшее выкладки рассмотрим на его примере.

Для построения шпангоута  $(G(Shp_d^{PanelF}))$ , входящего в определенную панель можно записать следующее выражение:

$$G(Obsh^F) \cup G(Os^{ShpF}) \cup G(Os^{StrF}) \cup G(Os^{LongF}) \xrightarrow{R} G(Shp_i^{PanelF}) \quad (2.9)$$

где  $G(Shp_i^{PanelF}) = \{G(Det_j^{Shp}), j = 1 \dots nj\}$ , а  $G(Det^{Shp})$  - детали, являющиеся фрагментами шпангоута

Из выражения 2.9. видно, что на проектирование шпангоута оказывает влияние обшивка – как сопрягаемая часть, плоскость шпангоута для задания положения шпангоута относительно обшивки, оси стрингеров и лонжеронов для построения вырезов в шпангоуте.



Рис. 2.6 а) составной шпангоут; б) фрагмент шпангоута (кронштейн навески трубопровода)

Обшивка  $G(Obsh^{PanelF})$  совместно со стрингерами  $G(Str^{PanelF})$ , шпангоутами  $G(Shp^{PanelF})$  и лонжеронами  $G(Long^{PanelF})$  формирует панель фюзеляжа:

$$G(Panel_k^F) \xrightarrow{R} \{G(Obsh_k^{PanelF}); G(Shp_k^{PanelF}); G(Str_k^{PanelF}); G(Long_k^{PanelF})\} \quad (2.10)$$

Пример фрагмента панели фюзеляжа изображен на рисунке 2.7.



Рис. 2.7 Панель фюзеляжа

Набор панелей, в свою очередь, формирует отсек фюзеляжа ( $G(Otsek_f^F)$ ):

$$G(Otsek_f^F) = \{G(Panel_l^F); l = 1 \dots nl\} \quad (2.11)$$

А набор отсеков – фюзеляж ( $G(Fus^{LA})$ ) целиком:

$$G(Fus^{LA}) = G(\{Otsek_f^{Fus}; f = 1 \dots nf\}) \quad (2.12)$$

Из фюзеляжа  $G(Fus^{LA})$ , крыла  $G(Wing^{LA})$ , и оперения  $G(Tail^{LA})$  образуется планер ЛА:

$$G(Plan^{LA}) = \{G(Fus^{LA}); G(Wing^{LA}); G(Tail^{LA})\} \quad (2.13)$$

Весь состав ЛА можно записать в виде выражения:

$$G(LA) = \{G(Plan^{LA}); G(Eng^{LA}); G(Sys^{LA})\} \quad (2.14)$$

где  $G(Eng^{LA})$  – двигатель ЛА;

$G(Sys^{LA})$  – набор всех систем ЛА.

Представленные ранее поверхности, оси силового набора, математические модели деталей планера и элементов трубопроводов являются наборами определенных математических функций  $f(X; Y; Z)$  с заданными ограничениями в виде координат  $a \leq X \leq b$ ;  $c \leq Y \leq d$ ;  $e \leq Z \leq f$ , где  $X$  может принимать только положительные значения от 0 до «длины самолета ( $L_{САМ}$ )»,  $Y$  – от «- длины полукрыла ( $-L_{ПОЛУКР}$ )» до «+ длины полукрыла ( $+L_{ПОЛУКР}$ )», а  $Z$  – от «- расстояние от СГФ до пола» до «+ высота самолета от СГФ до самой высокой точки (как правило высота киля)».

Следует так же отметить, что на практике, проектирование деталей со сложной геометрий, выходящей на теоретический контур, производится в абсолютной СК, которая расположена, как было описано ранее, с крайней носовой точки ЛА и имеет координаты  $X=0$ ,  $Y=0$ ,  $Z=0$ .

Для данного диссертационного исследования из всего силового набора основную роль играют шпангоуты (или нервюры в крыле), т.к. они имеют различные узлы для навески аппаратуры, оборудования, в том числе и для трасс жгутов и трубопроводов.

Любая трубопроводная система материально крепится к элементам силового набора, проходя через шпангоуты, панели и отсеки, а значит и привязана к МГ ЛА, как к первоисточнику геометрических построений.

Проведя анализ конструкции трубопроводов различных систем, описанных в параграфе 1.1 можно сделать вывод о их геометрическом и топологическом подобии, поэтому для краткости дальнейшее рассмотрение будем вести на примере трубопроводов гидравлической системы.

Основными исходными данными для проектирования трубопроводов гидравлической системы ЛА является силовой набор фюзеляжа и компоновочная схема ( $KS$ ), которая учитывает размещение оборудования и агрегатов. Сначала инженером-проектировщиком выполняется первичная трассировка систем (для гидравлики ( $G(S^{Gidr}$ )):

$$G(Plan^{LA}) \cup \{KS\} \xrightarrow{G} G(S^{Gidr}) \quad (2.15)$$

Эскизную же трассировку гидравлической системы ЛА ( $G(S^{GidrE})$ ) можно получить на этапе создания компоновки и СМГ:

$$G(SMG^{LA}) \cup \{KS\} \xrightarrow{G} G(S^{GidrE}) \quad (2.16)$$

При создании трубопровода важно учитывать расположение его теоретической трассы, расположение соединяемых фрагментов и узлов закрепления трубопровода на силовом наборе ЛА. Узлами крепления к элементам силового набора, как правило служат кронштейны, частично повторяющие контур трубопровода и различные хомуты. Т.е. компоновка и силовой набор с узлами навески служат ограничениями для проектировщика трубопроводов. Поэтому процесс разработки гидравлической системы ЛА ( $G(Gidr^{Sys})$ ) можно записать в виде выражения:

$$G(Shp^{PanelF}) \cup G(S^{Gidr}) \xrightarrow{R} G(Gidr^{Sys}) \quad (2.17)$$

где  $G(Gidr^{Sys})$  - фрагмент трубопровода гидравлической системы, состоящий из деталей. Пример, демонстрирующий ряд отношений между фрагментами и деталями и приведенный на рисунке 2.8, показывает, что для образования

нужной конфигурации фрагмента детали (в общем случае содержащие изгибы) приходится сопрягать друг с другом.

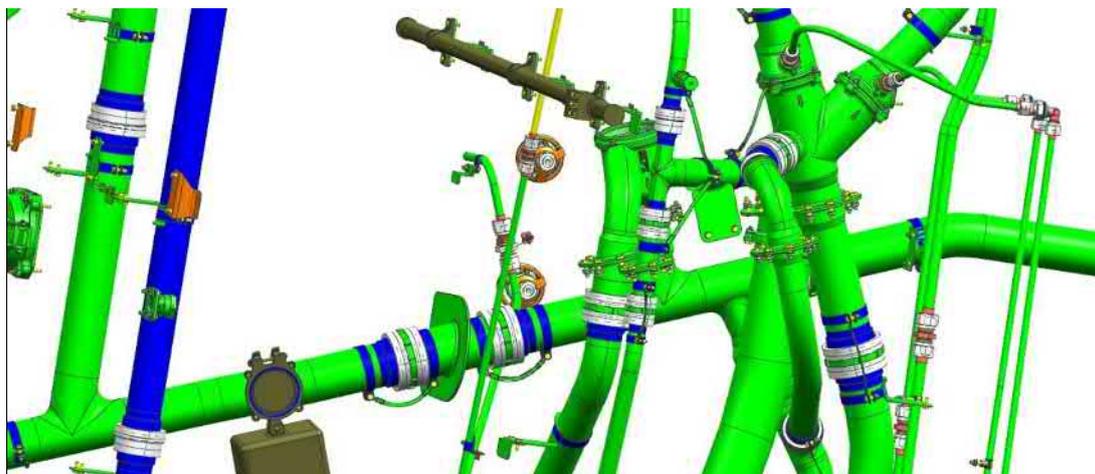


Рис. 2.8 Пример трассы трубопроводов

Более того для реализации сложных конфигураций фрагментов трубопроводов на практике используют не только разрезку и изгибы заготовок трубного типа, а также создают трубопроводные детали штамповкой и гибкой листовых заготовок.

Кроме названных типов формирования деталей в практике используют механическую обработку (фрезерование, точение) и литье. Примеры таких трубопроводных деталей приведены на рисунке 2.9.

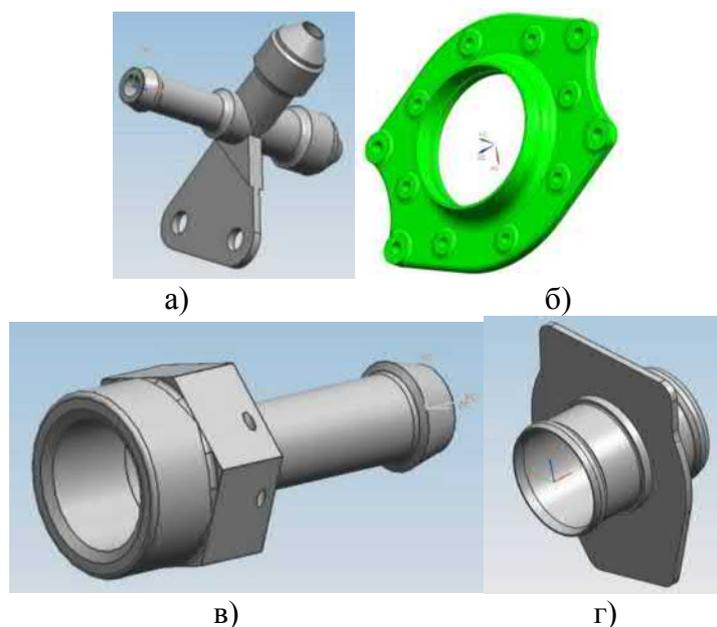


Рис. 2.9 а) тройник, б) фланец, в) переходник; г) штуцер

Из деталей представленных типов образуют узлы. Для этого в трубопроводных системах в зависимости от их материала используются

фланцевые и резьбовые соединения, сварка, пайка, запрессовка и другие версии материального сопряжения деталей.

***Отметим, что в диссертационной работе все связанное с оснасткой и сопряжением деталей рассматривается для стальных и алюминиевых трубопроводов, в которых для сопряжения деталей будем рассматривать фланцевые и сварочные версии. Одним из таких трубопроводов является гидравлическая система самолета.***

Для выбранных типов трубопроводных систем, различая геометрию их деталей, в последующем тексте будем использовать обобщенные имена, представленные в приложении б, в которую включены образцы изображения этих деталей.

Такое применение имен начнем с обобщенной классификации вариантов элементарных деталей и подборок, для сварки которых не требуется СТО:

- линейный конструкт (ДТ.01);
- изогнутый конструкт (ДТ.02, ТРП.02, ТРП.03);
- линейный конструкт с ответвлением (ТРП.04, ТРП.05);
- изогнутый конструкт с ответвлением (ТРП.06, ТРП.07);
- конструкт из двух частей образующий тройник (ТРП.ТР.01);
- линейный конструкт, с приваренными фланцами на обоих концах (ТРП.01);
- линейный конструкт, с приваренным фланцем на одном конце;
- изогнутый конструкт, с приваренными фланцами на обоих концах;
- изогнутый конструкт, с приваренными фланцами на одном конце.

Для тех вариантов, в которых имеется фланец, предполагается, что он приварен.

В дальнейшем основное внимание будет уделяться сварочным сопряжениям приведенных выше элементарных деталей и подборок.

Перейдем к представлению трубопроводных систем, их фрагментов и деталей с позиции МГ. Для этого раскроем подробнее выражение 2.17:

$$G(Gidr^{Sys}) = \{G(Fragm_e^{GidrSys}), e = 1 \dots ne\} \quad (2.18)$$

где под  $G(Fragm_e^{GidrSys})$  понимается фрагмент трубопровода, содержащий на концах соединительные конструкты для сопряжения с другим фрагментом при монтаже с помощью узлов навески на элементах конструкции планера ЛА. Такие конструкты материально представлены в виде фланцев, хомутов, участков с резьбовыми соединениями и т.д. Тогда состав элементарного фрагмента с соединительными конструктами ( $G(Soed^{GidrSys})$ ) можно выразить:

$$G(Fragm_e^{GidrSys}) = \{G(Det^{GidrSys}); G(Soed^{GidrSys})\} \quad (2.19)$$

где  $G(Det^{GidrSys}) = \{G(Det_h^{GidrSys}); h = 1 \dots nh\}$  – набор элементарных деталей, составляющих фрагмент трубопровода.

Ограничениями для геометрических характеристик элементарных деталей служит геометрия планера:

$$G(Plan^{LA}) \xrightarrow{G} G(Det_h^{GidrSys}) \quad (2.20)$$

Стоит так же отметить, что на теоретической трассе трубопровода (выражение 2.17), проходящей по центру деталей, располагаются координаты соединительных конструктов.

## 2.2. Геометрическое моделирование деталей и узлов трубопроводов

На основании выше сказанного, в диссертационном исследовании с геометрией каждой детали и сборочной единицы, привязанной к МГ самолета и являющейся прецедентом на этапе конструкторской разработки ЛА, связывается ее модель включающая:

1. Скелетное геометрическое представление в виде ломаного набора отрезков с ориентацией по осям трубопроводных частей с координатами концов в абсолютной СК самолета, примеры которого для деталей разных типов приведены ниже на рисунках 2.10-2.14.

2. Списковое представление, элементы которого имеют следующий вид  $\{det\_number1; connection\_type; D1; P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}, \$ det\_number2; connection\_type; D2; P_{j1}, P_{j2}, P_{j3}\}$  для стыка деталей трубопровода, содержащее координаты трех точек стыка, где знаком «\$» производится разделение точек одного стыка,  $det\_number1, det\_number2$ , - номер детали в КД,  $connection\_type$  – тип соединения,  $D1, D2$  – диаметры состыковываемых деталей,  $P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}; P_{j1}, P_{j2}, P_{j3}$  – точки стыка двух деталей

Для краткости записи, все дальнейшие геометрическое и списковое представления будем вести для деталей круглого сечения. Для всех остальных типов деталей проведенные рассуждения, в большинстве случаев, будут справедливы.

Рассмотрим подробнее списковое представление стыков трубопровода на примере двух труб.

Для однозначного определения стыка трубы в пространстве требуется выделить три точки, расположенные на внутреннем диаметре трубопровода. Выбор внутреннего диаметра обусловлен тем, что по трубопроводу передается жидкость или газ и, следовательно, для нормального течения не должно быть никаких выступов и ступенек, в то время как форма наружной поверхности может быть произвольной, т.к. она не влияет на поток жидкости или газа.

Для деталей типа «труба прямая» скелетное геометрическое представление каждой из них будет иметь вид отрезка, ограниченного плоскостями стыков. Такое геометрическое представление будет полезно использовать для формирования моделей прецедентов, привязанных к этапу проектирования деталей и узлов трубопроводов систем ЛА и, тем самым, связать этап проектирования с остальными этапами ЖЦ.

Скелетное геометрическое представление прямой трубы представлено на рисунке 2.10.

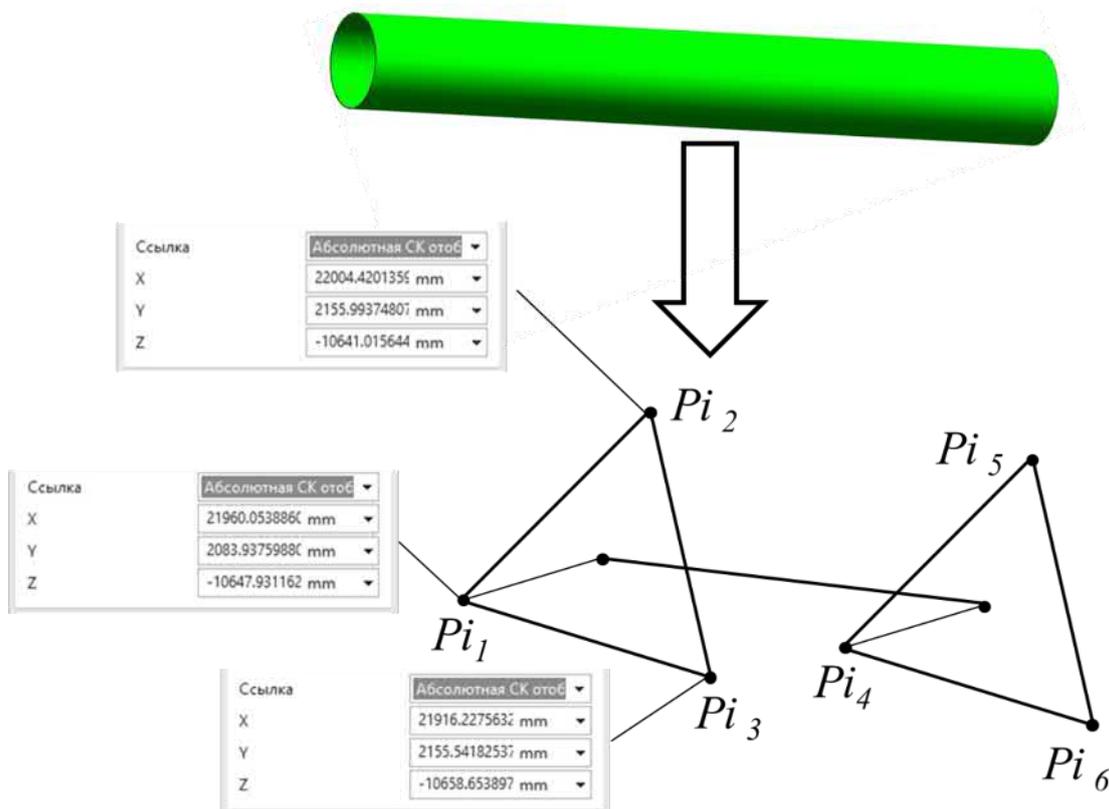


Рис. 2.10 Скелетное геометрическое представление прямой трубы

Выбор трех точек стыка позволяет однозначно специфицировать положение торца соединения двух деталей, объединяемых по трассе трубопровода в пространстве в виде уравнения плоскости, которое в общем виде имеет вид  $AX+BY+CZ+D=0$  где  $A, B, C$  – постоянные коэффициенты, а  $X, Y, Z$  – координаты и имеет решение в виде системы линейных алгебраических уравнений:

$$\Delta = \begin{pmatrix} AX_1 + BY_1 + CZ_1 \\ AX_2 + BY_2 + CZ_2 \\ AX_3 + BY_3 + CZ_3 \end{pmatrix} \quad (2.21)$$

где  $D$  будет находится через определитель матрицы:

$$D = |\Delta| \quad (2.22)$$

а коэффициенты  $A, B, C$  матрицы 2.21 будут находится из решения системы уравнений:

$$\begin{pmatrix} AX_1 + BY_1 + CZ_1 \\ AX_2 + BY_2 + CZ_2 \\ AX_3 + BY_3 + CZ_3 \end{pmatrix} = -D \quad (2.23)$$

Например для Метода Крамера  $A = \frac{|\Delta_1|}{|\Delta|}$ ,  $B = \frac{|\Delta_2|}{|\Delta|}$ ,  $C = \frac{|\Delta_3|}{|\Delta|}$ .

Приведенные выше коэффициенты вычислялись для оценки возможности применения при обнаружении геометрических дефектов в контактах двух деталей на этапе сборки трубопровода. Получение трех точек стыка на практике возможно при помощи контрольно-измерительной машины или лазерного трекера.

Так же расположение трех точек на одной плоскости позволяет говорить о нахождении радиуса трубопровода и центра окружности стыка:

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 + (z - c)^2 = (Dt/2)^2 \quad (2.24)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – координаты центра окружности стыка в абсолютной системе координат, а  $Dt$  – внутренний диаметр детали трубопровода.

Запишем такие списочные представления для следующих деталей и узлов трубопроводов систем ЛА: для деталей типа гнутая труба, деталь из листовой заготовки и механообрабатываемая (фрезерование, точение) деталь; для узлов, собранных только с помощью сварных, болтовых, резьбовых соединений и их композиций (другие типы соединений исключены из интересов диссертационной работы).

Гнутая труба также, как и прямая, изготавливается из стандартизированной трубы путем сгибания на станке для гибки труб (трубогиб) или на СТО (гибочная оправка) или вручную с контролем по шаблону или макету.

Списковое представление для гнутой трубы аналогично прямой трубе. Скелетное геометрическое представление гнутой трубы приведено на рисунке 2.11.

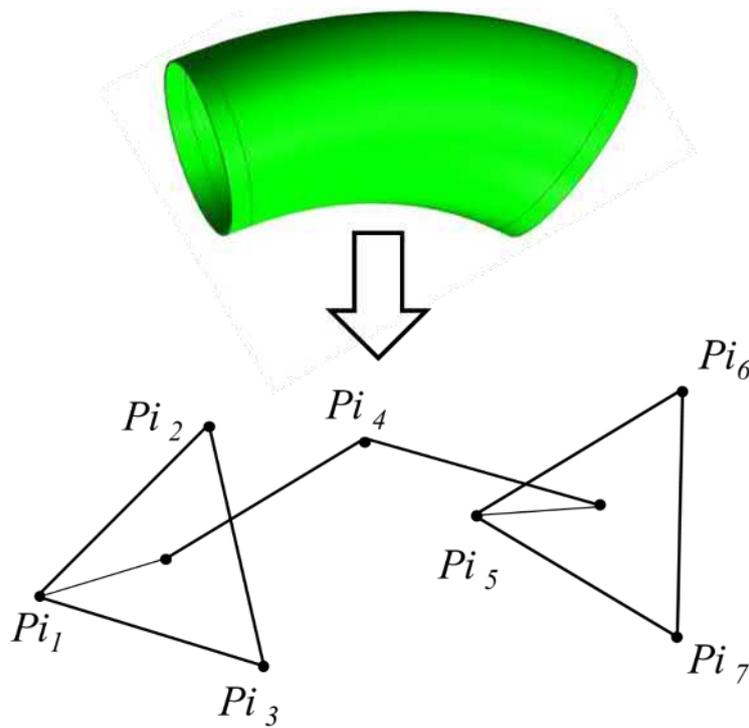


Рис. 2.11 Скелетное геометрическое представление гнутой трубы

В производстве трубопроводов кроме деталей из трубного сортамента так же используются детали, изготавливаемые из листового материала. Такие детали формируют сложные переходы, тройники, патрубки и т.д.

Формообразование деталей из листового материала производится в основном гибкой и горячей или холодной штамповкой. Списковое представление деталей из листового материала будем иметь вид  $(det\_number_i; connection\_type_i; Di; Pi_1, Pi_2, Pi_3, \$ det\_number_i; connection\_type_i; Dj; Pj_1, Pj_2, Pj_3)$ , где координатами трех точек задаются сопрягаемые между собой фрагменты и образующие элементарный узел, который приваривается к прямой или гнутой трубе, фланцу и т.д.

Скелетное геометрическое представление детали из листового металла приведено на рисунке 2.12.

К категории механообрабатываемых деталей трубопроводов относятся различные фланцы, тройники, патрубки, переходники, штуцеры и т.д. Особенностью изготовления данных деталей является то, что они вытачиваются из прутка или фрезеруются из листа или плиты.

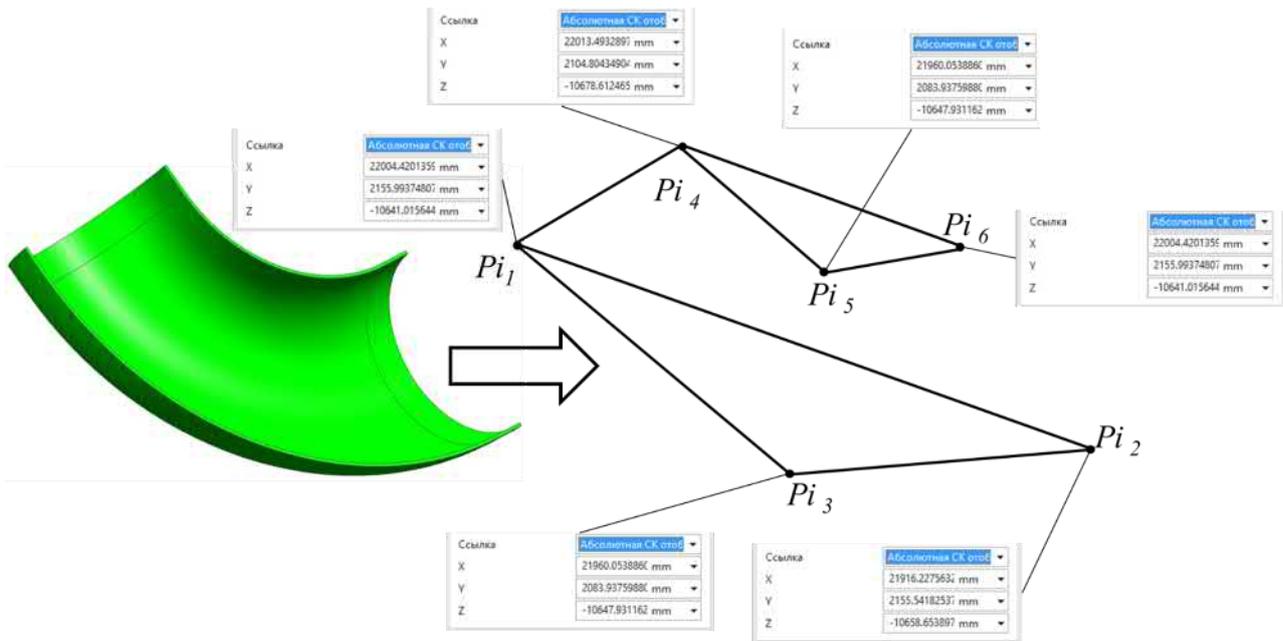


Рис. 2.12 Скелетное геометрическое представление детали из листового материала

Списковое представление для механообрабатываемых деталей будет иметь вид  $(Pi_1, Pi_2, Pi_3, \$ Pj_1, Pj_2, Pj_3, \$ \dots \$ Pn_1, Pn_2, Pn_3)$ , где  $Pi_1, Pi_2, Pi_3$  – координаты трех точек каждого отдельного стыка, где  $i$  изменяется в пределах от 1 до  $n$ .

Скелетное геометрическое представление механообрабатываемой детали приведено на рисунке 2.13.

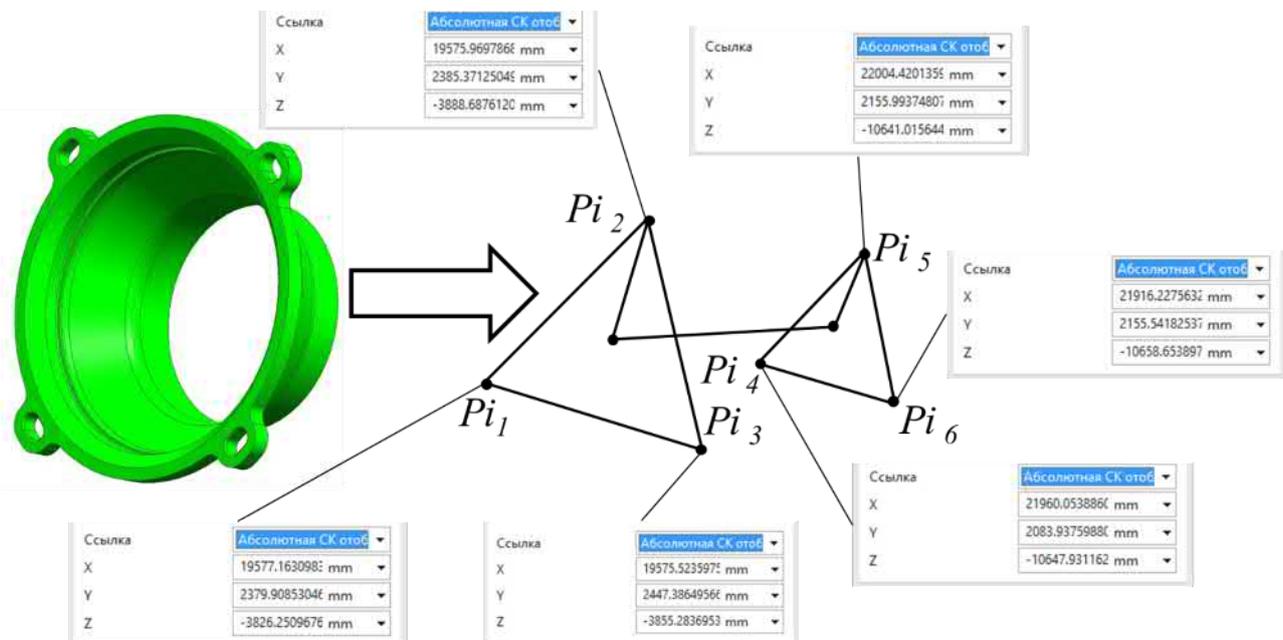


Рис. 2.13 Скелетное геометрическое представление механообрабатываемой детали

Литейные детали отличаются от механообрабатываемых только тем, что в качестве заготовки для их производства служит отливка. Поэтому данный класс деталей рассматриваться не будет.

Объясним на примере соединения двух деталей типа «труба прямая» и «фланец» достаточность выбранной версии представлений деталей для проверки корректности их стыка. Такое объяснение справедливо для любых деталей и узлов в местах их плоского стыка, т.е. таких стыков при которых контуры, ограничивающие потоки в трубопроводах для сопрягаемых деталей, совпадают.

У достаточности два измерения:

1. Плоскость стыка для первой детали должна накладываться (совпадать) с плоскостью стыка второй детали в их месте стыка в заданной СК.
2. Диаметры, для которых угловые характеристики координат одинаковы, должны совпадать.

Скелетное геометрическое представление сборки прямой трубы изображено на рисунке 2.14.

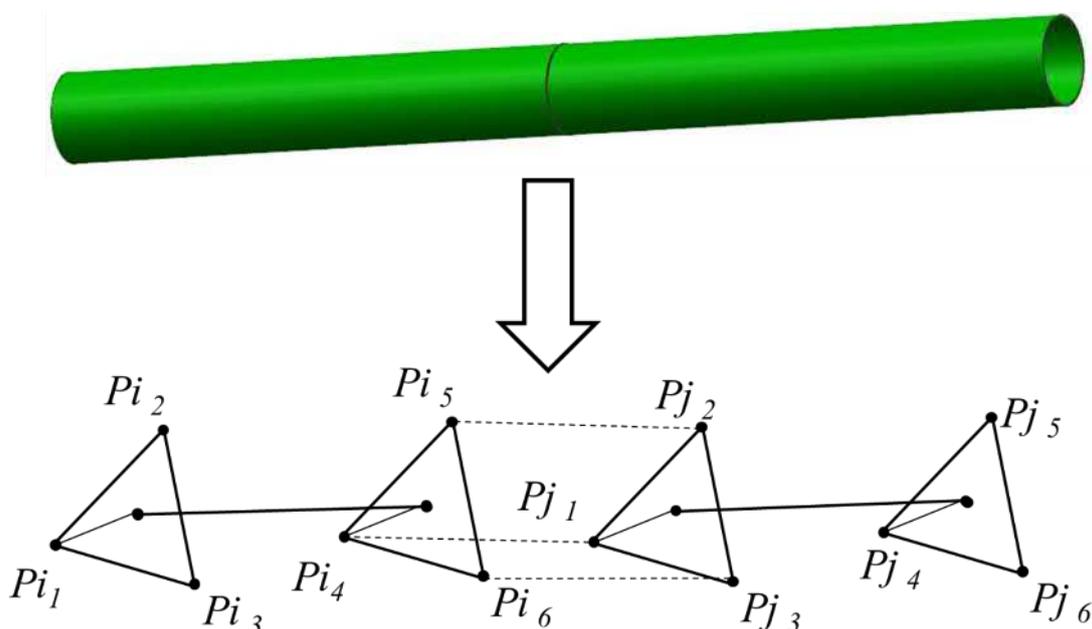


Рис. 2.14 Скелетное геометрическое представление сборки прямой трубы

Списковое представление должно содержать достаточную информацию для описания торца детали трубопровода в пространстве и для детали типа «труба прямая» будет иметь вид:

$det\_number_i; connection\_type_i; D_i; Pi_1, Pi_2, Pi_3, \$ det\_number_j;$   
 $connection\_type_j; D_j; Pj_1, Pj_2, Pj_3.$

Такое представление торца детали в виде математического уравнения дает представление о расположении соединяемого торца первой детали относительно торца второй в пространстве после замера заданных точек на изготовленной детали и решения уравнений нахождения угла между плоскостями и расстояний от точки до плоскости. Данные уравнения давно известны и имеют реализацию в большинстве современных САПР и, поэтому не представляют интереса и приводиться не будут. А вот применение, связанное с проверками таких дефектов как геометрические дефекты сварки трубопроводов.

Для приведенного узла алгоритм проверки состоит из следующей последовательности действий:

1. Выбор системы координат, например, система координат детали  $Pi$ .
2. Представление точек  $(Pi_4, Pi_5, Pi_6)$  и  $(Pj_1, Pj_2, Pj_3)$  в выбранной СК.
3. Вычисление параметров  $A_1, B_1, C_1$  и  $D_1$  для плоскости, проходящей через точки  $Pi_4, Pi_5, Pi_6$ .
4. Вычисление параметров  $A_2, B_2, C_2$  и  $D_2$  для плоскости, проходящей через точки  $Pj_1, Pj_2, Pj_3$ .
5. Если параметры выражений для обоих деталей равны и центры окружностей совпадают, то расположение деталей относительно друг друга правильное или находится в пределах допуска

Основные геометрические дефекты свариваемых деталей можно разделить на три группы: осевые отклонения, линейны отклонения и угловые отклонения. Рассмотрим подробнее каждый из видов отклонений.

1. Осевое смещение стыков свариваемых фрагментов (отклонение соосности) связано со смещением осей деталей, в следствии чего с одной стороны появляется зазор, а с другой нахлест, что может препятствовать нормальному течению вещества в трубопроводе (рис. 2.15).

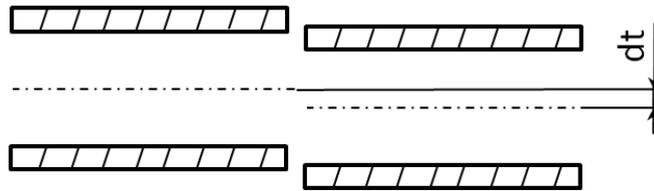


Рис. 2.15 Осевое смещение

2. Нарушение угла между свариваемыми кромками деталей (рис. 2.16).

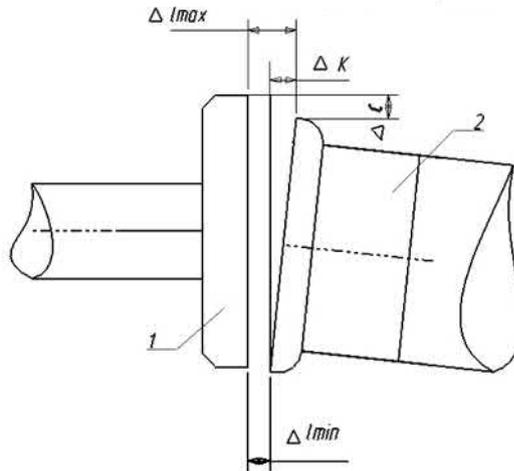


Рис. 2.16 Угловое смещение

3. Не правильное выставление зазоров свариваемых деталей трубопровода (Линейные отклонения, рис. 2.17)

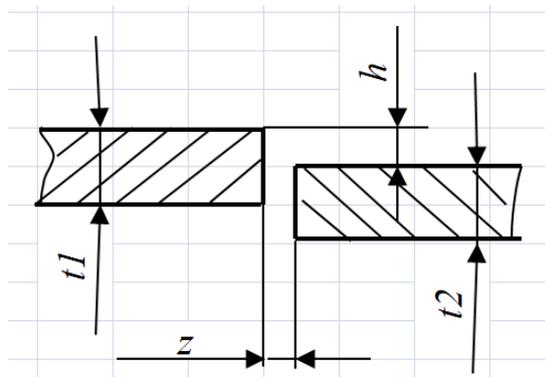


Рис. 2.17 Линейное отклонение

Для краткости записи будем далее рассматривать только плоские стыки, но выводы, сделанные для плоских стыков, будут справедливы и для сложных стыков.

Скелетное геометрическое представления для сборки трубопровода, содержащего прямой участок и гнутый в одной плоскости представлено на рисунке 2.18.

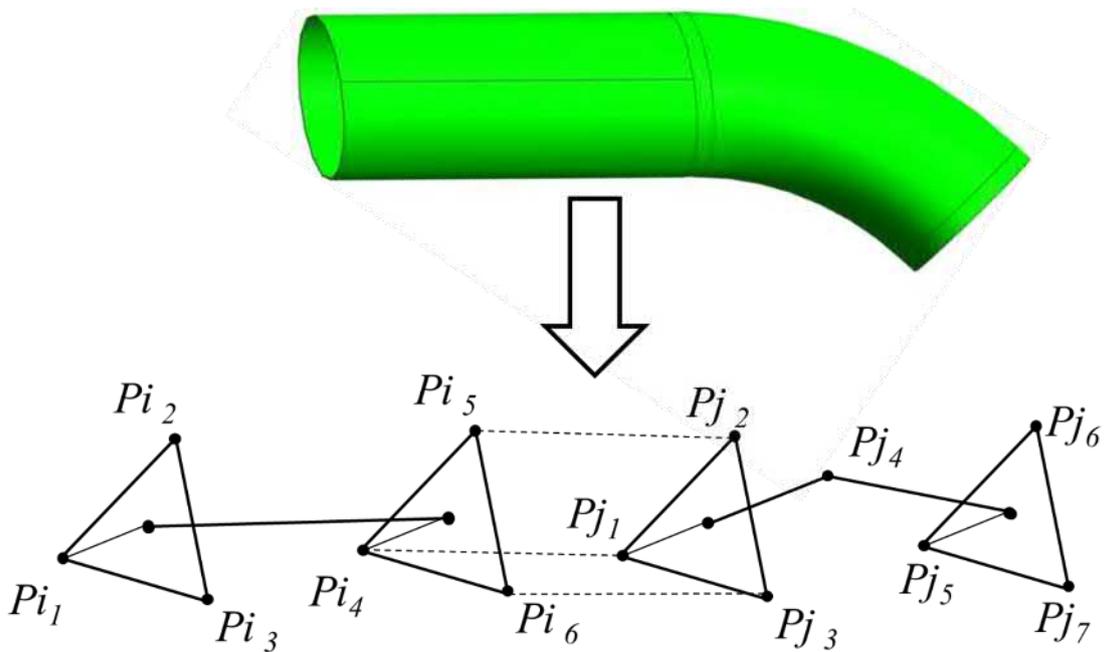


Рис. 2.18 Скелетное геометрическое представление сборки гнутой трубы

Далее формализуем алгоритм формирования спискового представления для деталей и узлов трубопровода.

Алгоритм обхода трассы трубопровода производится последовательно по трассе трубопровода начиная с носа самолета ( $X=0$ ) до конца фюзеляжа самолета и законцовок крыльев, от агрегата или оборудования, с которого начинается трубопровод до агрегата, оборудования или заглушки, которыми заканчивается трубопровод.

Выделяется плоскость первого стыка детали трубопровода с агрегатом или системой и на этой плоскости выделяются три произвольные точки по часовой стрелке, расположенные на внутреннем диаметре трубы  $Pi_1$ ,  $Pi_2$  и  $Pi_3$ .

Для детали трубопровода записывается первый и последующие стыки с ответными деталями в виде:

$det\_number_i; connection\_type_i; D_i; Pi_1, Pi_2, Pi_3, \$ det\_number_j;$   
 $connection\_type_j; D_j; Pj_1, Pj_2, Pj_3, \$ ... \$ det\_number_n; connection\_type_n; D_n; Pn_1, Pn_2,$   
 $Pn_3,$

где  $det\_number_i, det\_number_j, ... det\_number_n$  – номера деталей по КД,

$connection\_type_i, connection\_type_j, connection\_type_m$ , – типы соединений (сварка, пайка, болтовое соединение, резьбовое и т.д.),

$D_i, D_j ... D_n$  – диаметры соединяемых деталей,

$P_{i1}, P_{i2}, P_{i3}; P_{j1}, P_{j2}, P_{j3}, P_{n1}, P_{n2}, P_{n3}$ , – точки стыка деталей, определяющих плоскость стыка в СК детали, привязанных к абсолютной СК самолета.

$\$$  – разделитель в списке деталей.

Отсюда для каждого конкретного стыка можно записать конкретное представление стыка двух соединяемых деталей или узлов:

$\{det\_number_1; connection\_type_1; D_1; P_{11}, P_{21}, P_{31}, \$ det\_number_2; connection\_type_2; D_2; P_{12}, P_{22}, P_{32}\}$

причем 3 точки для второй детали должны либо совпадать с тремя точками первой (для соединения стык в стык, например, сваркой):

$$\{D_1, P_{11}, P_{12}, P_{13}\} = \{D_2; P_{21}, P_{22}, P_{23}\} \quad (2.25)$$

либо находится на определенном заданном расстоянии (для данного типа стыка), т.е. являются отображением первого набора точек на второй

$$\{D_1, P_{11}, P_{21}, P_{31}\} \rightarrow \{D_2; P_{12}, P_{22}, P_{32}\} \quad (2.26)$$

Пример участка трассы трубопровода с направлением обхода и выделением трех точек, представленный в абсолютной СК самолета в виде условного изображения агрегатов (представлены черными квадратами), деталей трубопровода (линии), мест соединения сваркой (показаны круглой точкой), мест болтовых или резьбовых соединений (изображены знаком « || »), а так же точек сварки (буква  $P$  с номером точки стыка и номером детали) показан на рисунке 2.19. Из данного примера видно, что в трубопроводе, имеющем большую протяженность и большое количество стыков может происходить накопление погрешностей после сварки каждого отдельного узла и, если каждая деталь и каждый элементарный узел будет изготовлен в пределах допусков, то весь трубопровод может выходить из поля допуска. В таком случае будет необходимость проведения доработок либо трубопровода, либо перенос крепежных узлов к элементам конструкции планера.

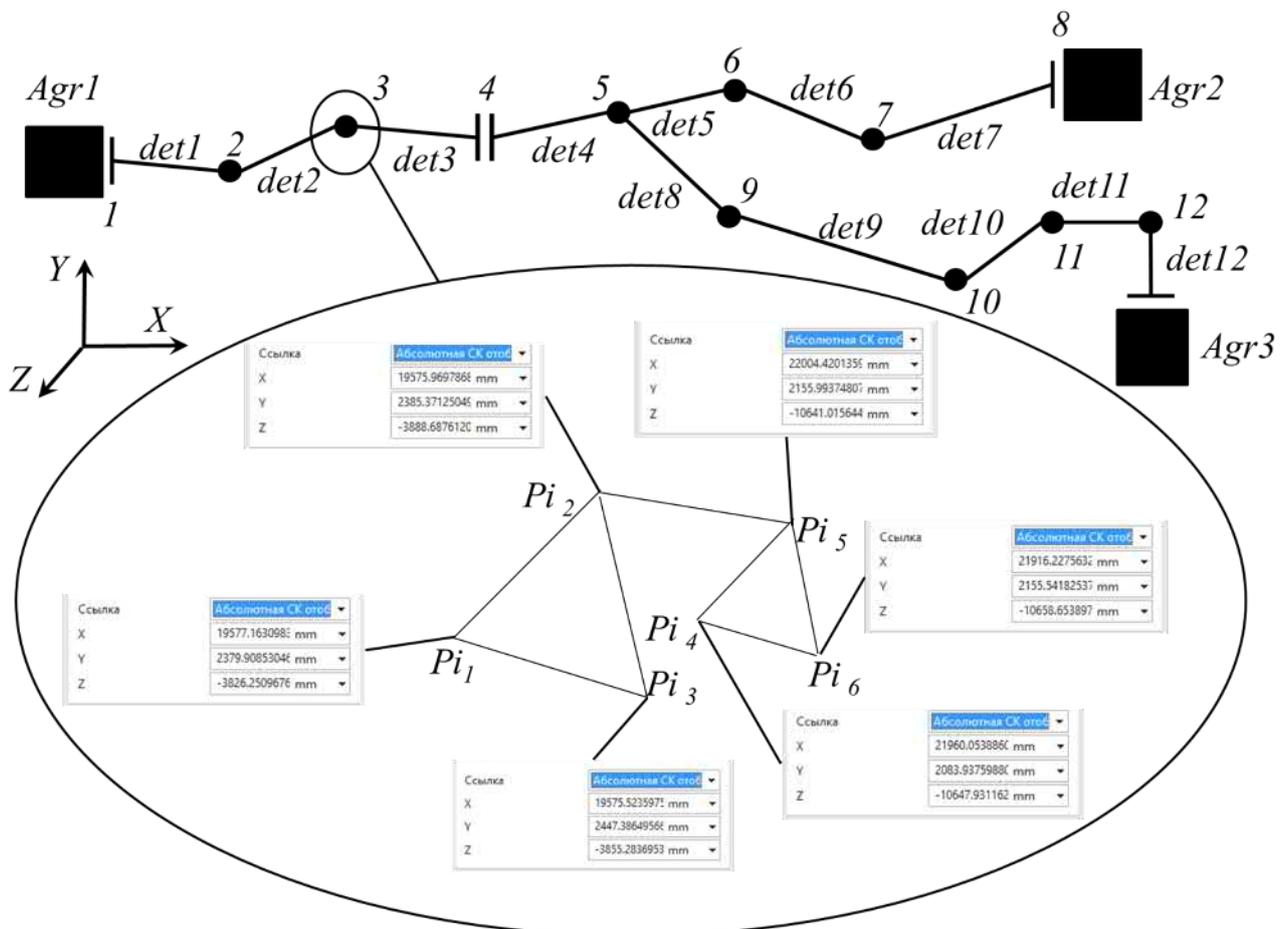


Рис. 2.19 Пример участка трассы трубопровода

Стоит отметить, что приведенный выше состав спискового представления допускает производить запись в случайном порядке, т.к. связь стыков деталей формируется автоматически благодаря содержанию сочетания номеров соединяемых деталей, например для стыка  $det\_number_i$  и  $det\_number_j$ , позволяет говорить об уникальности каждого конкретного стыка, а так же дает возможность проводить проверку на ошибки выбора деталей (одна деталь с другой деталью должна иметь только одно место стыка и оно определено через сочетание имен).

Диаметры  $D_i, D_j, \dots, D_n$  служат для проверки правильности выбора заготовок для свариваемых деталей, стоит отметить, что элементарный узел трубопровода может содержать разные диаметры на концах, что означает сужение или расширение трубопровода, но соединяемые детали в месте стыка должны иметь один диаметр.

В диссертационной работе основное внимание будет уделяться сборке трассы трубопровода, а результаты проектирования конструкции *ЛА* будут приниматься в качестве исходных данных при проектировании специального ТО для сварки трубопроводов и разработки УП для роботизированного сварочного комплекса.

### **2.3. Формализация имен деталей и сборок трубопроводов**

На всех этапах разработки *ЛА* всем деталям и сборкам для идентификации присваиваются определенные наименования и обозначения в соответствии с утвержденными на предприятии разработчике нормативными документами, *ГОСТ*, *ОСТ* и техническим заданием на разработку *ЛА*.

Наименование состоит из слов или словосочетаний, которые должны соответствовать технической терминологии и излагаться по возможности кратко. Наименование детали или сборочной единицы записывается в именительном падеже единственного числа. В тех случаях, когда наименование составлено из нескольких слов, существительное занимает первое порядковое место, например, «Гидросистема в центроплане».

Обозначение детали или сборочной единицы состоит из цифр и букв, записанных в определённом порядке, состоящее из знаков, разделённых между собой точками. Обозначение должно содержать индекс основного изделия, установленный разработчиком, номера групп и подгрупп сборок, порядковый номер узлов, порядковый номер деталей. Индекс изделия может записываться буквами или в цифровом эквиваленте.

Для самолета Ил-76МД-90А принят индекс 476. Пример структуры обозначения составных частей самолета представлен на рисунке 2.20.

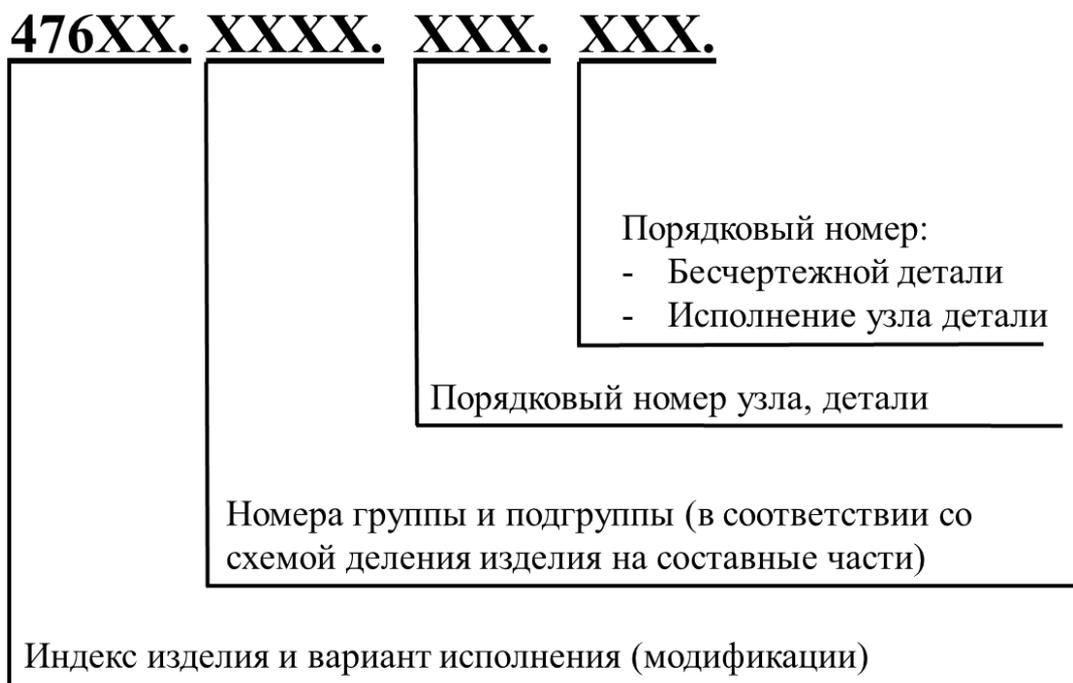


Рис. 2.20 Пример структуры обозначения составных частей самолета

Обозначение детали или сборочной единицы – уникальный код, который используется только для конкретного документа. Существование двух документов с одним и тем же обозначением является ошибкой и требует устранения.

Наименование документа не является уникальным и для разных документов может совпадать. Поэтому сочетание обозначения и наименования не дает полного представления о конструкции детали, не позволяет проводить первичную проверку на ошибки и собираемость изделия, а также не несет в себе необходимой технологической информации.

Пример обозначения и наименования: 47601.4321.123.000 «Трубопровод гидравлической системы».

По обозначению детали трубопровода инженеру-проектировщику ТО приходится искать тип заготовки по ГОСТ с диаметром и длиной, материал, массу, первичную применяемость из КД, в частности из чертежа или ЭМ.

Пример чертежа детали трубопровода приведен на рисунке 2.21.

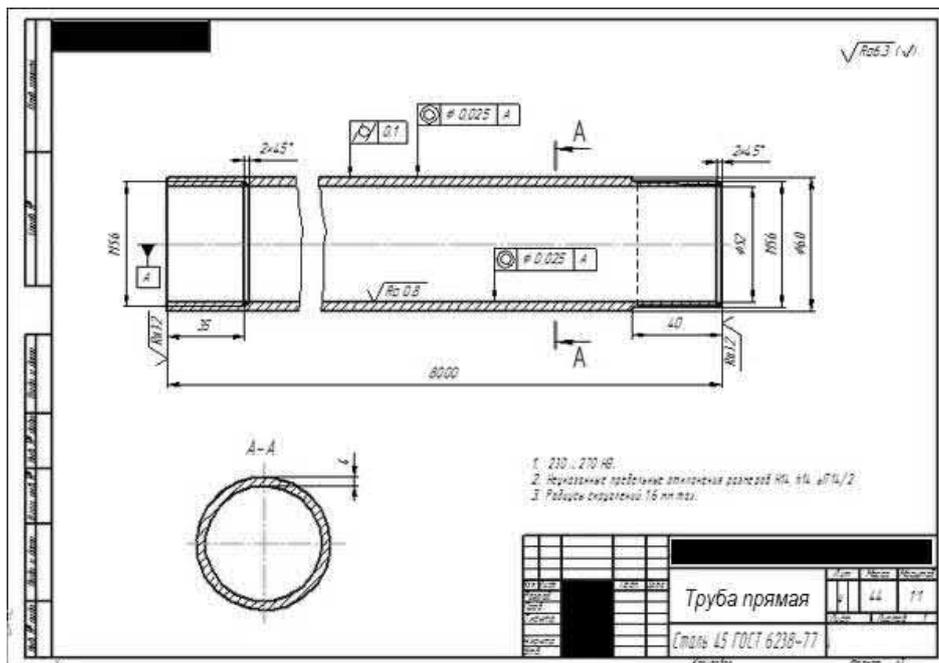


Рис. 2.21 Пример чертежа прямой трубы

Из данного примера видно, что большинство требуемой информации для инженера-проектировщика ТО расположена в основной надписи, в размерных линиях чертежа, а также в технических требованиях к чертежу.

Основная надпись содержит:

- Наименование;
- Обозначение;
- Материал и тип заготовки;
- Масса изделия;
- И фамилии ответственных за разработку и проверку чертежа.

В размерных линиях чертежа содержится информация о диаметре и длине трубопровода, а также требования к точности изготовления и шероховатости конструктивных элементов. Такая же информация содержится и в ЭМ, только в виде атрибутов и обозначений.

В технических требованиях, как правило, дается информация о специфических требованиях к применяемым технологиям изготовления, виду сварки, методам контроля, покрытию детали или деталей, об испытаниях, способе и расположению маркировки и т.д.

Технические требования так же содержатся в ЭМ в виде РМІ – нотации или атрибутов (зависит от возможностей используемой САПР и стандартов предприятия). Пример технических требований приведен на рисунке 2.22.

1. Сборочную единицу изготавливать по ЭМ:
2. Изготовление и контроль по РТМ 14.1638-90.
3. Неуказанные предельные отклонения размеров обрабатываемых поверхностей деталей БЧ по ОСТ 1 00022-80.
4. Шероховатость обрабатываемых поверхностей деталей БЧ Ra 6,3.
5. Сварные швы по ОСТ 1 02617-87.
6. Сварка швов №1, №2 по ПИ14.1554-2003. Категория 2. Марка присадочной проволоки Св-АМз3 ГОСТ 7871-75.
7. Покрытие после сварки: Хим.Окс./  
снаружи - Эмаль ЭП-140М, желтый. 536. ОСТ 1 90055-85,
8. Испытать на герметичность и прочность давлением воздуха  $P=1,2\text{МПа}$  ( $12\text{кгс/см}^2$ ) в течение трех минут.  
Герметичность - группа 1-8-ОСТ 1 00128-74.
9. Сборочную единицу маркировать Чк шрифтом ПО-5 ГОСТ 2930-62, клеймить Кк.  
Детали БЧ маркировать Ч и клеймить К на бирке.

Рис. 2.22 Пример технических требований на трубопровод

В ЭМД или ЭМСЕ в виде атрибутов содержится следующая основная информация:

- Наименование;
- Обозначение;
- Материал и тип заготовки;
- Масса изделия;
- Тип ЭМД или ЭМСЕ;
- Фамилии ответственных за разработку и проверку чертежа;
- Прочие параметры.

Для более простого определения к какому типу относится электронный документ (ЭМ детали, сборочной единицы, чертежа, спецификации и т.д.) в конце наименования файла может использоваться определенный шифр, либо такое разграничение вводится в атрибутивную составляющую электронного документа.

Пример основных атрибутов ЭМ детали приведен на рисунке 2.23.

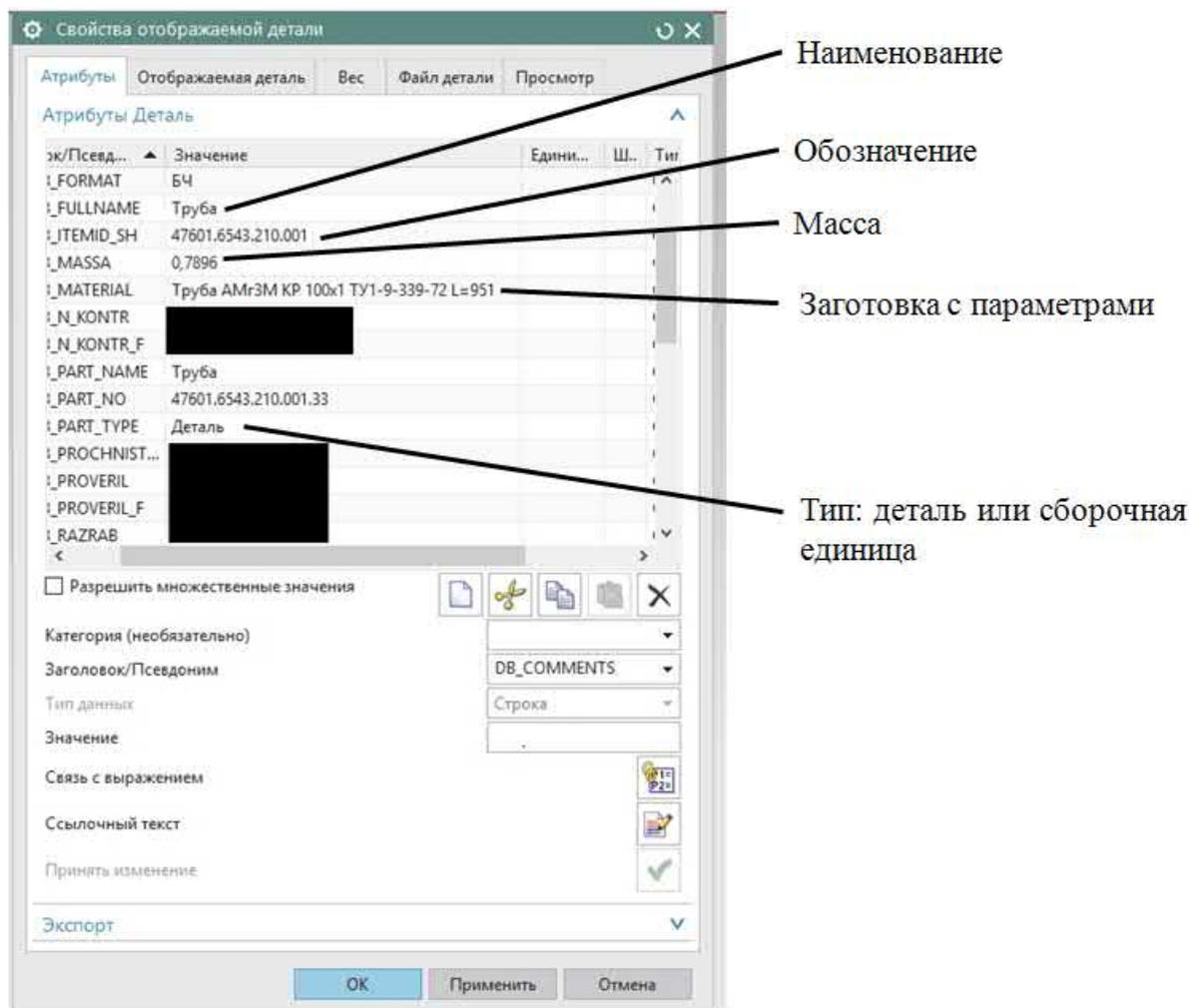


Рис. 2.23 Пример основных атрибутов детали

Для поиска документов и определения связи между ними в конструкторской и производственной практике очень важную роль играет идентификатор детали (или обозначение детали), который однозначно определяет конструкторскую единицу и по которому можно найти различную конструкторскую и технологическую документацию, получить доступ к отдельным атрибутам, хранящимся в БД предприятия и ко всем документам

Такая связи идентификатора со всей необходимой информацией на этапах ЖЦ на примере детали приведена на рисунке 2.24.

Из выше сказанного следует, что при переходе на ЭМ, которые опосредованно затрагиваются в тексте диссертационной работы, имеется необходимость добавить дополнительные атрибуты, содержащие списковое и скелетное геометрическое представление (в виде классификационного кода) о

детали или сборке трубопровода. Подробнее добавление дополнительных атрибутов в ЭМ на примере САПР Siemens NX будет рассмотрено в 4 главе.



Рис. 2.24 Связи идентификатора детали с необходимой информацией

Таким образом для рассматриваемой детали или сборочной единицы ее идентификатор и атрибуты будут иметь структуру, которая приведена на рисунке 2.25.



Рис. 2.25 Представление основных и дополнительных атрибутов в идентификаторе детали или сборочной единицы

Формирование спискового представления было рассмотрено ранее.

Далее рассмотрим формирование и кодирование скелетного геометрического представления с помощью классификационного кода, который будет использоваться в моделях прецедентов.

Каждая деталь или сборочная единица имеет свои уникальные конструкционные элементы, которые отражены в определенной геометрической форме и возможно выделение топологически подобных деталей и сборочных единиц. Такое выделение сформируем в виде определенного классификационного кода.

Первую часть классификационного кода представим в виде иерархической древовидной структуры для типа сборочной единицы.

Вторую часть классификационного кода представим в виде фасетного кода для кодирования деталей. Каждый тип деталей записан в таблицу и ему присвоен специальный код. Для обозначения детали введено значение «00» в части классификационного кода, отвечающей за вид сборочной единицы. Такой подход позволяет сделать классификационный код универсальным как для деталей, так и для сборочных единиц.

Структура разрабатываемого классификационного кода для деталей и сборок трубопроводов приведена на рисунке 2.26.

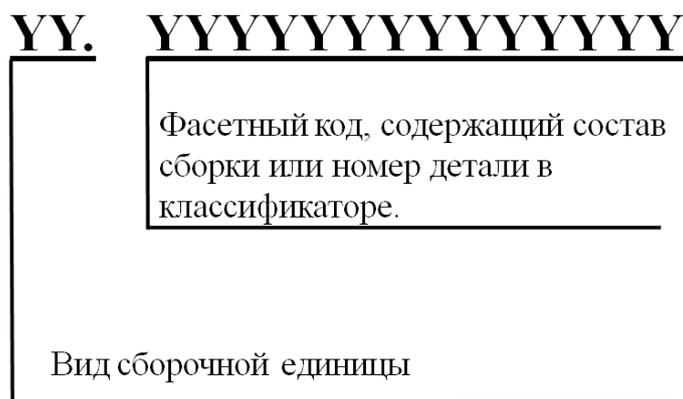


Рис. 2.26 Классификационный код

Для удобства чтения классификационного кода человеком предлагается ввести технические индексы. Технический индекс содержит информацию о типе сборочной единицы или детали, записанной в виде набора букв и цифр. Для детали тех. индекс будет иметь вид «ДТХХ», где «ДТ» означает, что это деталь

трубопровода, а «XX» - номер по классификатору в приложении 6. Аналогичным образом тех. индекс формируется для сборочной единицы и будет иметь «ТРПХХДТХХ...ДТХХ», где «ТРП» означает что это сборка трубопровода, а «XX» ее номер по классификатору в приложении 6. После задания типа сборочной единицы перечисляются тех. индексы всех деталей, входящих в данный трубопровод.

Далее рассмотрим формирование классификационного кода и тех. индекса для детали.

Первым шагом загружается ЭМД. Затем производится поиск соответствия по геометрическому изображению по классификатору в приложении 6. После нахождения совпадения присваивается классификационный код и тех. индекс по классификатору, если совпадение не найдено, то такая деталь может быть добавлена в классификатор с присвоением нового классификационного кода. После чего классификационный код записывается в атрибуты ЭМД.

Пример формирования классификационного кода из разработанного классификатора для детали приведен на рисунке 2.27.

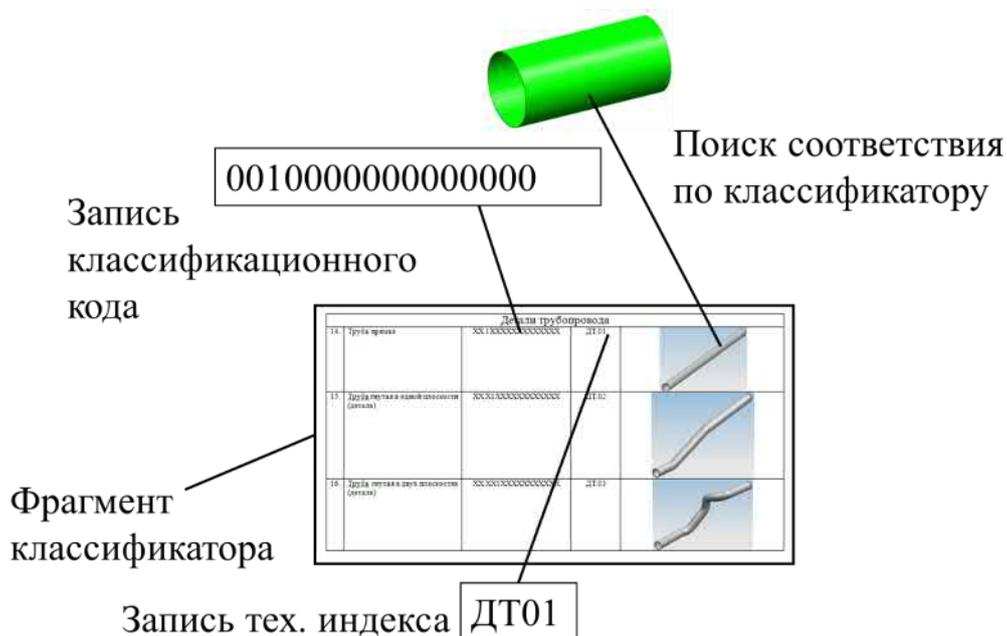


Рис. 2.27 Формирование классификационного кода для детали

Общая детализация иерархического и фасетного уровней классификатора приведена на рисунке 2.28.

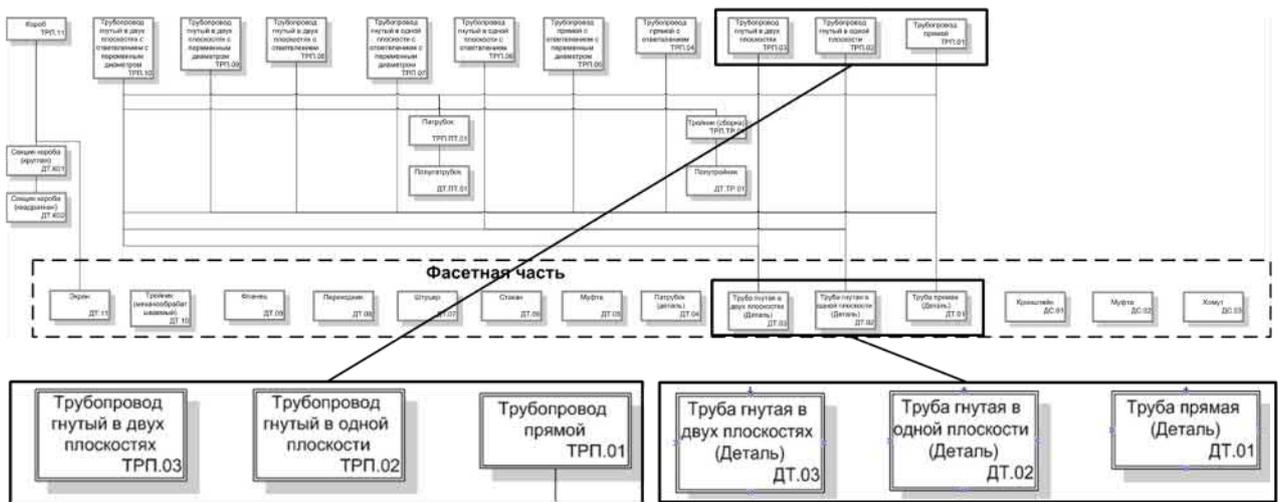


Рис. 2.28 Детализация уровней классификационного кода

Такое представление деталей позволяет автоматизировать формирование классификационного кода для сборочной единицы путем добавления в фасетную часть значения «1» при наличии детали или «0» при ее отсутствии.

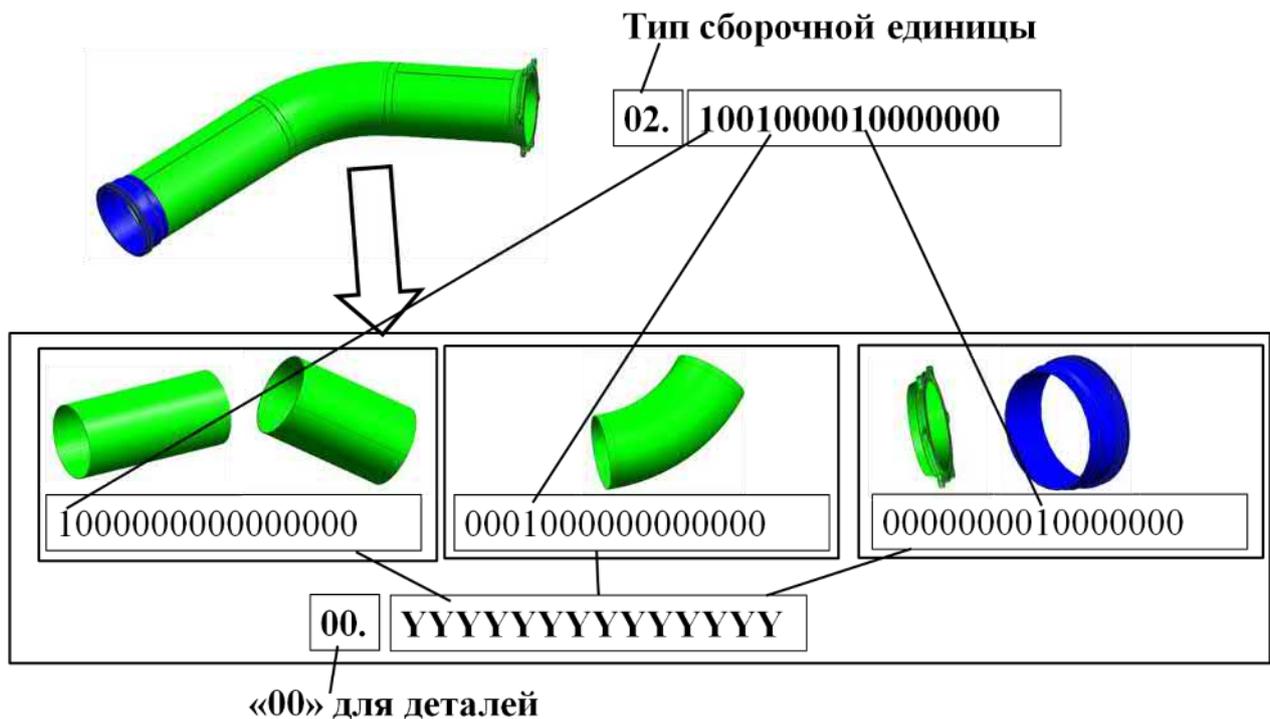


Рис. 2.29 Формирование классификационного кода для сборочной единицы

Такую версию классификационного кода можно использовать как классификационный признак в онтологии и такое расширение поможет в автоматизации проектирования ТО, накопления проектного опыта принятия технических решений и его быстрого поиска.

## 2.4. Геометрическое представление конструкции СТО для сборки трубопроводов и связь с СМГ и математическими моделями деталей и сборок

Как было сказано ранее одним из самых важных этапов ТПП авиационного производства является проектирование и изготовление ТО. От качества принятых технических решений и изготавливаемого ТО напрямую зависит качество детали, агрегата или узла, в ТП которого данное ТО было применено.

В процессе технологической подготовки инженерный состав сталкивается с проблемой принятия технических решений на этапах выбора варианта технологического членения, разработки ТП сборки и изготовления деталей, разработки ТЗ на проектирование ТО, проектирование ТО, разработка УП для сварочного робота и т.д. Данные технические решения составляют опыт как отдельного специалиста, так и всего коллектива, принимающего участие в КТПП и перед предприятием возникает проблема накопления, структуризации и повторного применения профессионального опыта инженерного персонала.

Стоит отметить, что основное влияние на конструкцию ТО для сборки трубопроводов оказывает геометрия самого трубопровода и место расположения сварочных стыков.

Для описания выражений для проектирования СТО воспользуемся методом «сверху-вниз».

Как было сказано в параграфе 1, конструктивно СТО для сборки трубопроводов разбивается на основании  $(G(Osn^{WeldPr}))$ , ложементы  $(G(Log^{WeldPr}))$ , прижимы и фиксаторы  $(G(Fiks^{WeldPr}))$ , крепеж  $(G(Krep^{WeldPr}))$  и прочие элементы  $(G(Other^{WeldPr}))$ .

$$G(WeldPr_i) = \{G(Osn^{WeldPr}); G(Log^{WeldPr}); G(Fiks^{WeldPr}); G(Krepej^{WeldPr}); G(Other^{WeldPr})\} \quad (2.27)$$

$$\text{где } G(Log^{WeldPr}) = \{G(Log_a^{WeldPr}), a = 1...na\} \quad (2.28)$$

$$G(Fiks^{WeldPr}) = \{G(Fiks_b^{WeldPr}), b = 1..nb\} \quad (2.29)$$

$$G(Krepej^{WeldPr}) = \{G(Krepej_c^{WeldPr}), c = 1..nc\} \quad (2.30)$$

$$G(Other^{WeldPr}) = \{G(Other_d^{WeldPr}), d = 1..nd\} \quad (2.31)$$

Данные элементы СТО по методам проектирования можно разделить на две группы:

- элементы, геометрически зависящие от конструкции деталей трубопроводов систем или силовых элементов планера (основание СТО, ложементы);

- элементы, геометрически не зависящие от конструкции деталей систем и планера (крепеж, фиксаторы, прижимы).

Подробнее остановимся на элементах СТО, проектирование которых зависит от геометрии исходных деталей самолета, например, создание ложементов для закрепления фрагмента трубопровода в СТО. Другие элементы будут строиться аналогичным образом.

Исходными данными для проектирования сборного ложементов, как фрагмента СТО является собираемый фрагмент трубопровода ( $G(Gidr^{Sys})$ ), а так же текстовое техническое задание ( $\{TZ^{STO}\}$ ), содержащее требования к месту расположения ложементов и конструктивные требования:

$$G(Gidr_i^{Sys}) \cap (\{TZ_i^{STO}\}) \xrightarrow{R} G(Log_j^{WeldPr}) \quad (2.32)$$

где ложемент является состоящим из отдельных деталей ( $G(Det_i^{LogWeldPr})$ ) конструктом:

$$G(Log_j^{WeldPr}) = \{G(Det_k^{LogWeldPr}), k = 1..nk\} \quad (2.33)$$

Где в  $G(Det_i^{LogWeldPr})$  входят следующие детали: ложемент, рубильник, стенка ложементов, основание ложементов и ребра жесткости.

Связи в таких преобразованиях, зависящих от геометрии и текстовых нормативных документов в дальнейшем полезно будет использовать при разработке моделей прецедентов, привязанных к этапу КТПП сборки узлов

трубопроводов систем ЛА из деталей сваркой, в том числе и с использованием сварочного робота.

Как и для деталей со сборками начнем с примера сборки с помощью сварки двух деталей типа «Труба прямая», исходя из того, что в сборке часть сварочных работ выполняется роботизированным сварочным комплексом. Такая ситуация изображается на рисунке 2.30, где  $P_{o1}$ ,  $P_{o2}$ ,  $P_{o3}$ ,  $P_{o4}$  – реперные точки для увязки СК.

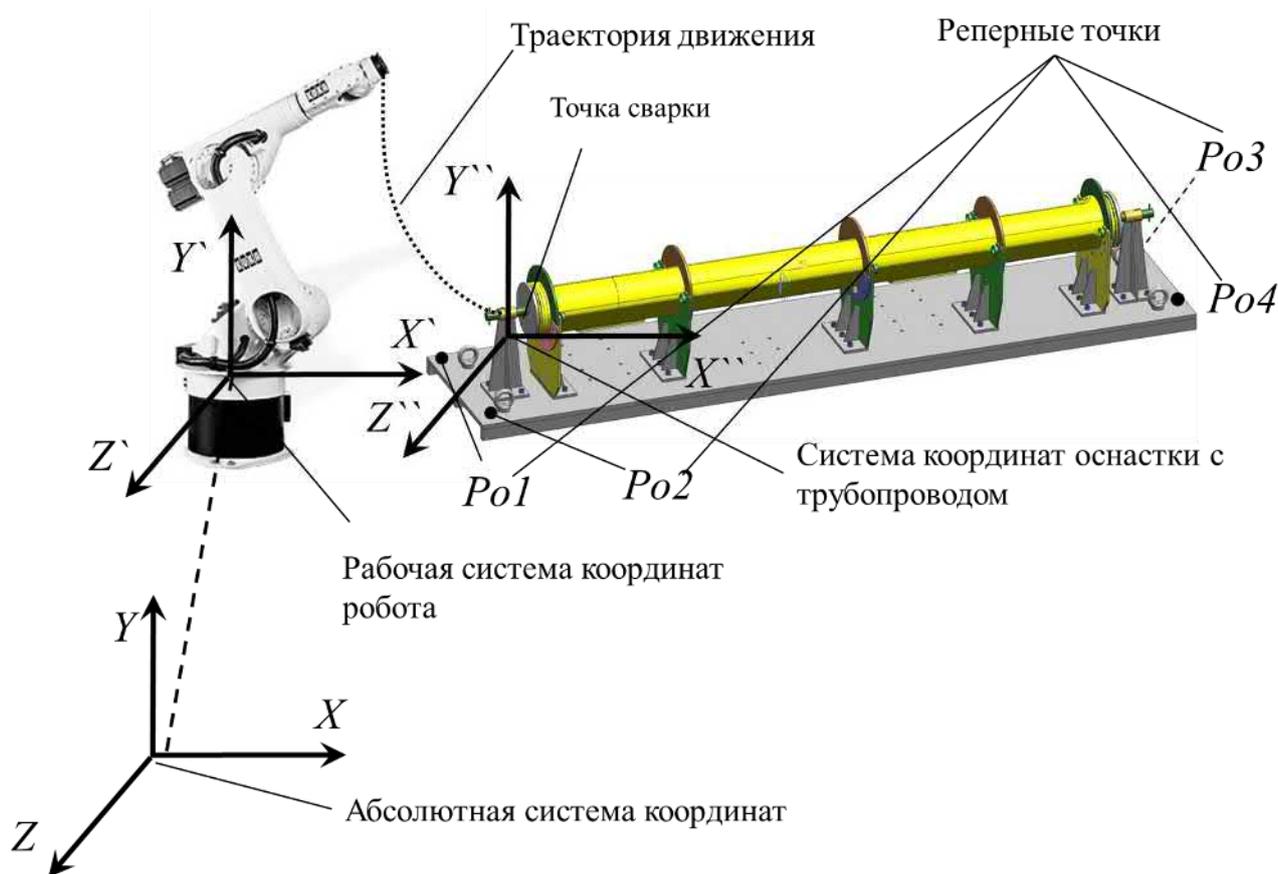


Рис. 2.30 Сварка деталей типа «труба прямая» при помощи СТО и сварочного робота

Далее перейдем к скелетному геометрическому и списковому представлению СТО. Данные представления будут иметь аналогичную структуру как для деталей и сборок трубопроводов систем ЛА, но с учетом специфики геометрии сборочного приспособления и своего алгоритма обхода точек.

Рассмотрим подробнее алгоритм формирования спискового представления.

Запись спискового представления СТО будет вестись по принципу «Слева – на право» и «Снизу – вверх» относительно заданной рабочей СК.

Первыми записываются точки основания и символом «\$» производится отделение записи основания от точек фиксаторов и ложементов. После чего последовательно записываются точки фиксаторов торца и ложементов, так же разделенные символом «\$». Фиксатор торца задается двумя точками, расположенными на краях внутреннего диаметра трубопровода. Точка расположения ложементов задается пересечением плоскости ложементов, расположенной на определенном расстоянии «L» от сварного шва и перпендикулярной оси трубопровода.

Списковое представление для СТО для сварки трубопровода будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 & STO\_number \$ \\
 & P_{o1}, P_{o2}, P_{o3}, P_{o4} \dots P_{on} \$ \\
 & PF_1; PF_2; PF_3, \dots, PF_n \$ \\
 & PL_1; PL_2; PL_3, \dots, PL_n,
 \end{aligned}
 \tag{2.34}$$

где  $STO\_number$  – идентификатор СТО,

$P_{o1}, P_{o2}, P_{o3}, P_{o4} \dots P_{on}$  – точки основания приспособления,

$PF_1; PF_2; PF_3, \dots, PF_n$  – точки расположения фиксаторов торца,

$PL_1; PL_2; PL_3, \dots, PL_n$  – точки расположения ложементов,

\$ – разделитель в списке.

Скелетное геометрическое представление с выделением точек для формирования спискового представление приведено на рисунке 2.31.

Для спискового представления СТО, как и для деталей и сборок трубопроводов, каждая точка имеет 3 координаты X, Y, Z. Задание трех координат вместо двух позволит учитывать частные случаи с расположением ложементов и фиксаторов в вертикальном расположении. Хотя для более простых случаев может быть достаточной запись только двух координат, но для учета всех вариантов СТО в дальнейшем мы будем использовать три координаты.

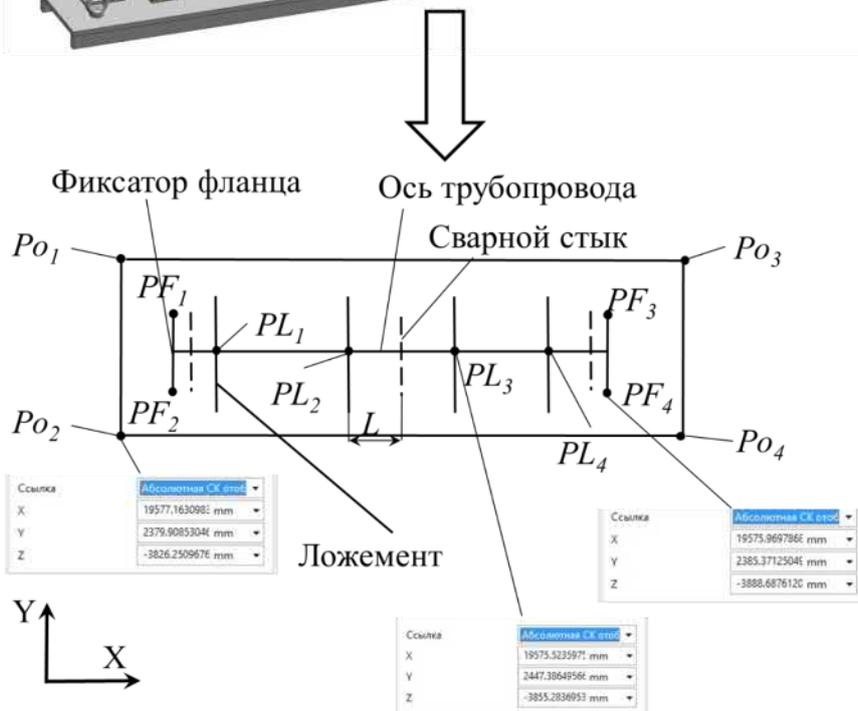
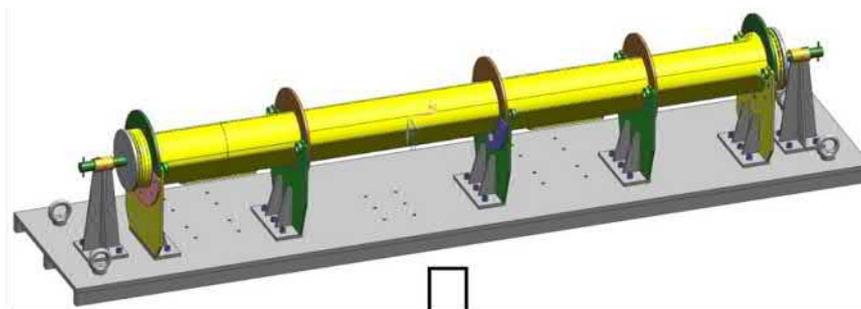


Рис. 2.31 Скелетное геометрическое представление с выделением точек

Классификационный код для СТО, так же, как и для деталей и сборочных единиц трубопроводов, состоит из двух частей: фасетной и иерархической.

В иерархическую часть входит тип ТО, а в фасетную состав конструкторов ТО. Далее рассмотрим процесс формирования классификационного кода для ТО.

По разработанному классификатору (приложение 7) выбирается тип сборочного оснащения для сварки трубопровода, который зависит от типа трубопровода. Затем последовательно по классификатору выбираются типы для всех конструкторов сборочного приспособления и производится запись тех. индекса.

Пример формирования классификационного кода для фрагмента оснастки приведен на рисунке 2.32.

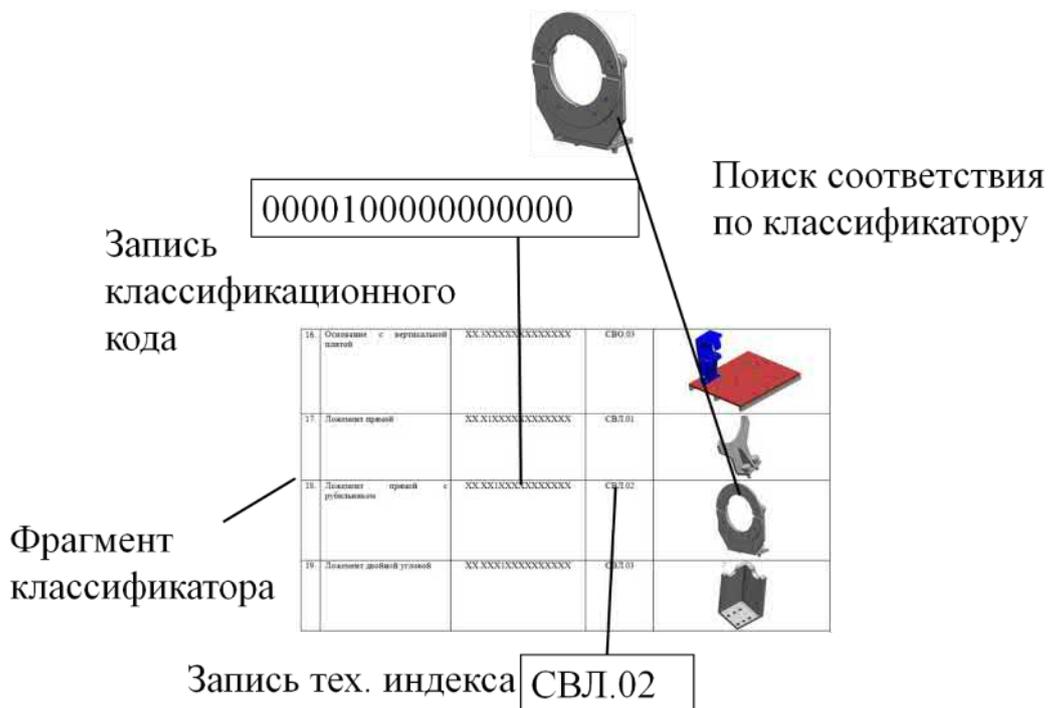


Рис. 2.32 Пример формирования классификационного кода для фрагмента оснастки

После присвоения классификационных кодов для каждого конструкта, входящего в состав ТО, производится формирование фасетной части классификационного кода. Методика формирования фасетной части в данном случае такая же, как и для деталей и сборочных единиц трубопроводов систем ЛА.

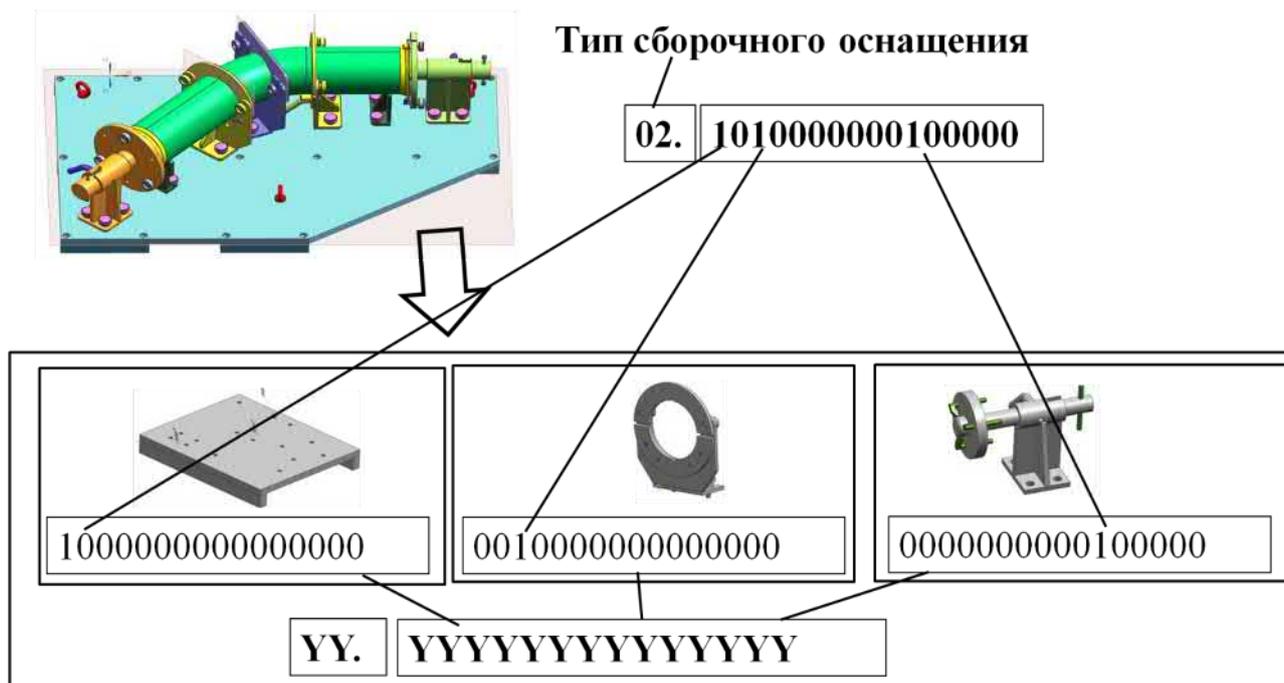


Рис. 2.33 Пример формирования классификационного кода для оснастки

Детализация уровней классификатора СТО приведена на рисунке 2.34.



Рис. 2.34 Уровни классификатора СТО

Разработанные классификаторы деталей, узлов и СТО в дальнейшем будут использоваться для формирования прикладной онтологии.

## Выводы по второй главе

1. Геометрическое моделирование конструкции планера ЛА, а также деталей и сборочных единиц трубопроводных систем целесообразно осуществлять в контексте СМГ. Это позволяет выделить переходы между этапами создания ЛА начиная от проектирования и заканчивая изготовлением и контролем деталей, в том числе и с использованием промышленных роботов, а также выделить источники ограничений для процессов проектирования СТО в виде геометрических параметров деталей и узлов, задаваемых исходной КД и применяемой на предприятии нормативной документацией.

2. Разработанное скелетное геометрическое и списковое представление деталей, сборок и ТО, позволяет сначала выделить, а затем и группировать по геометрическим особенностям детали, сборочные единицы, а также и необходимое для их изготовления ТО. Связи между геометрическими представлениями узлов и СТО позволяют производить накопление профессионального опыта в виде прецедентов, готовых для повторного использования, что позволяет повысить эффективность процесса подготовки производства на этапе конструкторского проектирования ТО. Новые геометрические модели позволяют сохранить атрибутивную связь с позиционированием деталей, узлов и СТО в пространстве МГ самолета и ее проекцией на пространство онтологии.

3. Выделенные основные геометрические дефекты сборки трубопроводов сваркой, представлены в виде линейных отклонений, смещений осей, поворотов торцев и отклонений формы, которые будут использоваться для разработки способов учета и компенсации погрешностей, возникающих при позиционировании деталей в оснастке и при позиционировании оснастки относительно сварочного робота.

4. Проанализированы существующие методики присвоения наименований и обозначений деталей и сборок ЛА, а также связи через

обозначение со всей необходимой конструкторской, технологической и нормативной информацией, используемой в производственных процессах. Предложено расширение атрибутики имен нормативной идентификации деталей трубопроводов, их сборок и средств оснастки, дополнительными составляющими, которые позволяют включить в онтологическое представление деталей, сборок и средств оснастки их скелетные геометрические модели, связанные ассоциациями по смежности и сходству, что способствует улучшению характеристик поиска в системе имен.

5. Разработаны классификаторы деталей, узлов и СТО в основу которых положен иерархический и фасетный методы. Данные классификаторы служат основой при разработке онтологии для задания связей в словарях и построения прецедентной базы профессионального опыта, привязанной к этапам ЖЦ трубопровода на стадиях КТПП и сборки узлов трубопроводов из деталей сваркой, в том числе и с использованием сварочного робота.

### **Глава 3. Методическое обеспечение прецедентно-ориентированной поддержки конструкторско-технологической подготовки производства сборки узлов трубопроводов систем ЛА**

В данной главе будет рассматриваться методическая часть диссертационного исследования. Как было отмечено ранее, в процессе проектирования и производства ЛА инженерный персонал, руководствуясь разнообразной нормативной документацией, принимает большое количество технических решений. Данный профессиональный опыт полезно накапливать и повторно использовать в виде моделей прецедентов, готовых к повторному использованию, на всех этапах ЖЦ. Далее будет рассмотрено формирование прикладной онтологии, в состав которой будут входить модели прецедентов, дополненные геометрическим и списковым представлением деталей, сборок и узлов трубопроводов систем ЛА, а также представлением СТО, необходимого для их сборки.

Показаны методики формирования прецедентов единиц профессионального опыта, а также поддержки проектирования, разработки УП для сварочного робота, документирования, а также согласования СК на разных этапах ЖЦ производства трубопроводов систем ЛА.

#### **3.1. Метод прецедентно-ориентированной интеграции геометрических моделей**

##### **3.1.1. Подход к формализации процессов построения интегрированной модели прецедентов**

Первым шагом, с которого начиналось разработка прикладной онтологии является разработка классификатора для деталей и сборок узлов трубопроводов систем ЛА, а также для ТО, используемого в производственном процессе. Разработанные классификаторы деталей, узлов, СТО и соответствующие им геометрическое и списковые представления приведены в приложениях 3-7.

Как было отмечено ранее в главе 1, для материализации системы понятий и создания базы опыта для процесса проектирования и узловой сборки трубопроводов систем ЛА было решено использовать инструментально-моделирующую среду WIQA. Отличительной особенностью данной среды является то, что она включает в себя компонент «Онтология», предназначенный для разработки прикладных онтологий с возможностью материализации проектных решений и проведения концептуального экспериментирования и моделирования [70, 71, 81, 82, 84].

Центральное место в онтологии процесса проектирования, КТПП и узловой сборки трубопроводов в среде WIQA занимает «Словарь».

В структуре данного словаря выделены разделы для представления основных видов конструкции деталей трубопроводов, их сборок, СТО, фрагментов УП для сварочного робота, а также прикладных модулей для системы Siemens NX, позволяющих автоматизировать процессы проектирования.

Статьи разделов содержат, определения и ссылки на ЭМ трубопроводов, СТО с привязкой к списковому и геометрическому представлению, УП для сварочного робота, а также ссылки на текстовую документацию и ключи для поиска по оперативным запросам.

Ключевой частью разрабатываемой онтологии является прецедент. Далее рассмотрим структуру прецедента для единицы профессионального опыта, которая появляется в процессе принятия технических решений инженерным персоналом.

Для представления единиц профессионального опыта в виде прецедентов выбрана модель  $M(Z_j)$  задачи  $Z_j$  его повторного использования инженером, представленная в параграфе 1.3, но с учетом использования скелетного геометрического и спискового представлений деталей, узлов трубопроводов и СТО.

Рассмотрение моделей прецедентов, связанных с ЖЦ трубопроводов систем ЛА начнем с рассмотрения модели прецедента для прямой детали трубопровода постоянного сечения без ответвлений, что будет представлять

собой постановку задачи  $Z(P_i)$ . Далее представим модель прецедента детали в виде набора специализированных моделей:

- **текстовая модель  $P^T$** , в данном случае, будет содержать запрос на проектирование детали: «*спроектировать прямую **деталь** 12345.7564.010.001 входящую в сборку трубопровода 12345.7564.010.000*».

- **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 3.1.

*Det=Tube & Atrib*  
*%раскрытие трубы %*  
*Tube = G(L, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>)*

Таблица 3.1

Библиотека элементов детали трубопровода

№ п\п	Наименование	Обозначение	Представление	Примечание
1.	Det	Деталь	Комплексный элемент	
2.	Atrib	Атрибуты	Комплексный элемент	
3.	Tube	Труба	$G(L, D_1, D_2)$	
4.	L	длина	const	
5.	D <sub>1</sub>	внутренний диаметр	const	
6.	D <sub>2</sub>	наружный диаметр	const	
7.	S	Толщина стенки	$= D_1 - D_2$	

Здесь стоит отметить, что в атрибутную часть будет входить разработанный ранее классификационный код и списковое представление. Такое атрибутное расширение также в дальнейшем будет использовать для сборок узлов трубопроводов, СТО для сборки и для файлов УП для сварочного робота.

- **графическая модель прецедента  $P^G$** , представляющая материализацию детали труба прямая в виде скелетного представления, ЭМД и КД приведена на рисунке 3.1.

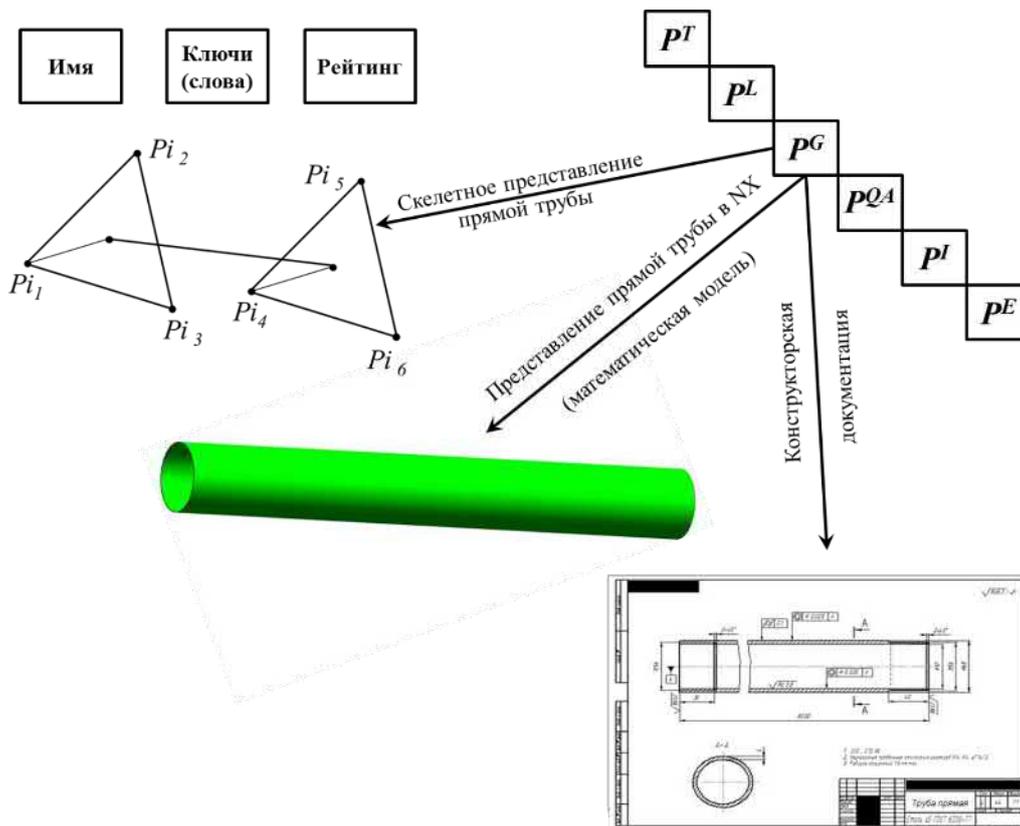


Рис. 3.1 Варианты материализации прямой детали трубопровода

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

В качестве примера рассмотрим ниже вопросно-ответную модель с учетом разработанной онтологии деталей и узлов трубопроводов систем ЛА, описанной выше для задачи  $Z(P_i)$ .

Определим список вопросов и ответов:

*Q1. Диаметр постоянный?*

*A1. Да.*

*Q2. Есть ответвления?*

*A2. Нет.*

*Q3. Труба прямая?*

*A3. Да.*

.....

*Q15. Нужно оформление чертежа?*

*A15. Да*

- **модель  $P^I$** , представляющая вложенное в прецедент поведение в форме исходного кода его программы для исполнения задачи  $Z(P_i)$  написанного в вопросно-ответной среде WIQA с использованием псевдокодowego языка  $L^{WIQA}$ .:

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=1", "X=100", "Y=100", "X=300", "Y=100")
```

*DD\_Create ("Ellipse", "ShapeName=O1", "X=100", "Y=100", "Diametr=50")*

- модель  $P^E$ , выводящая на исполняемый код программы, реализующей образец прецедента в виде спискового представления детали.

*det\_number\_i1; connection\_type\_i1; Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$*

*det\_number\_i2; connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.*

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

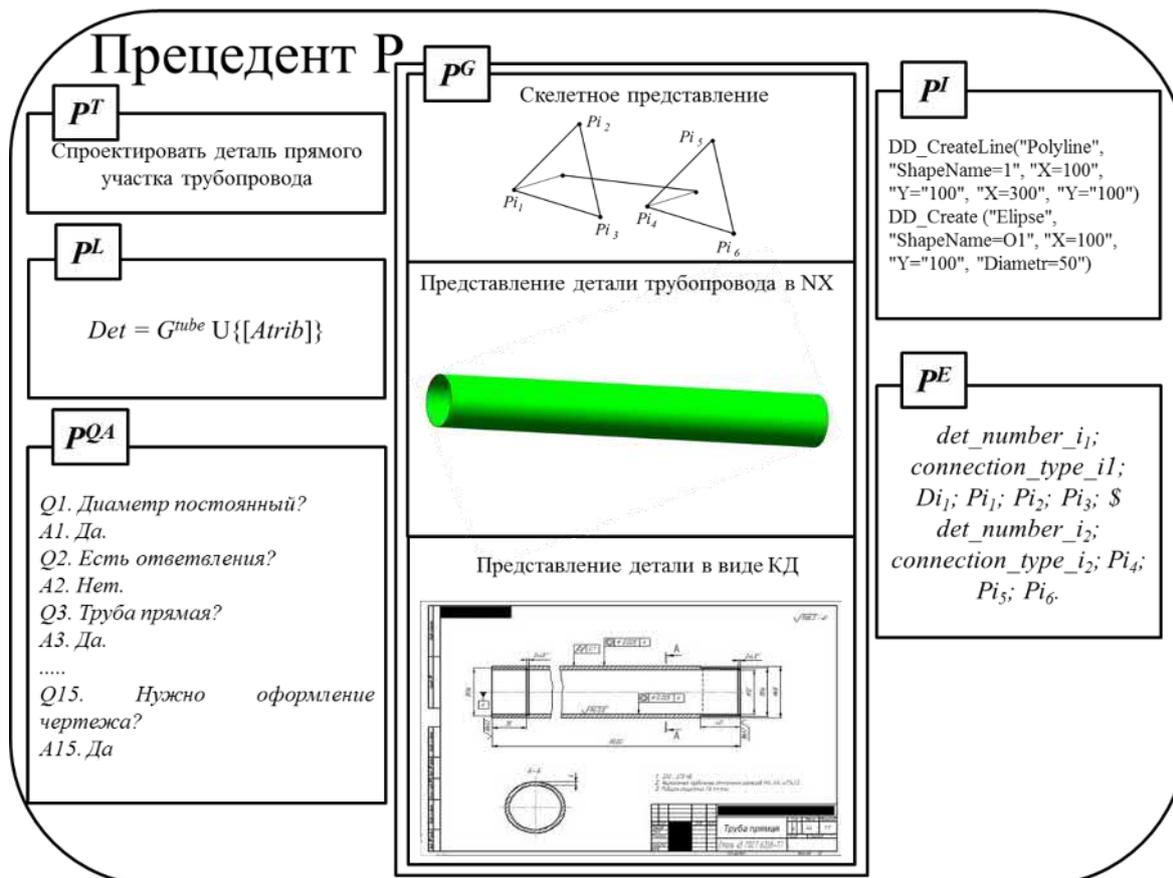


Рис. 3.2 Интегральная схема образца прецедента детали трубопровода

В качестве следующего примера модели прецедента рассмотрим проектирование простого узла, состоящего из двух деталей, что будет представлять собой постановку задачи  $Z(P_i)$ . Далее также представим модель прецедента проектирования сборки узла трубопровода систем самолета в виде набора специализированных моделей:

- **текстовая модель  $P^T$** , в данном случае, будет содержать запрос на проектирование детали: «спроектировать сборку трубопровода 12345.7564.010.000».

- 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 3.2.

$Assembly = Det_i \cup Det_j \cup \{[Atrib]\}$   
 %раскрытие детали %  
 $Det_i = Tube \cup \{[Atrib]\}$   
 $Tube = G(L, D_1, D_2)$

Таблица 3.2

Библиотека элементов детали

№ п\п	Наименование	Обозначение	Представление	Примечание
1.	Det	Деталь	Комплексный элемент	
2.	Atrib	Атрибуты	Комплексный элемент	
3.	Tube	Труба	$G(L, D_1, D_2)$	
4.	L	длина	const	
5.	D <sub>1</sub>	внутренний диаметр	const	
6.	D <sub>2</sub>	наружный диаметр	const	
7.	S	Толщина стенки	$= D_1 - D_2$	

- графическая модель прецедента  $P^G$ , представляющая материализацию узла трубопровода в скелетном представлении, в виде ЭМД и КД (рис. 3.3).

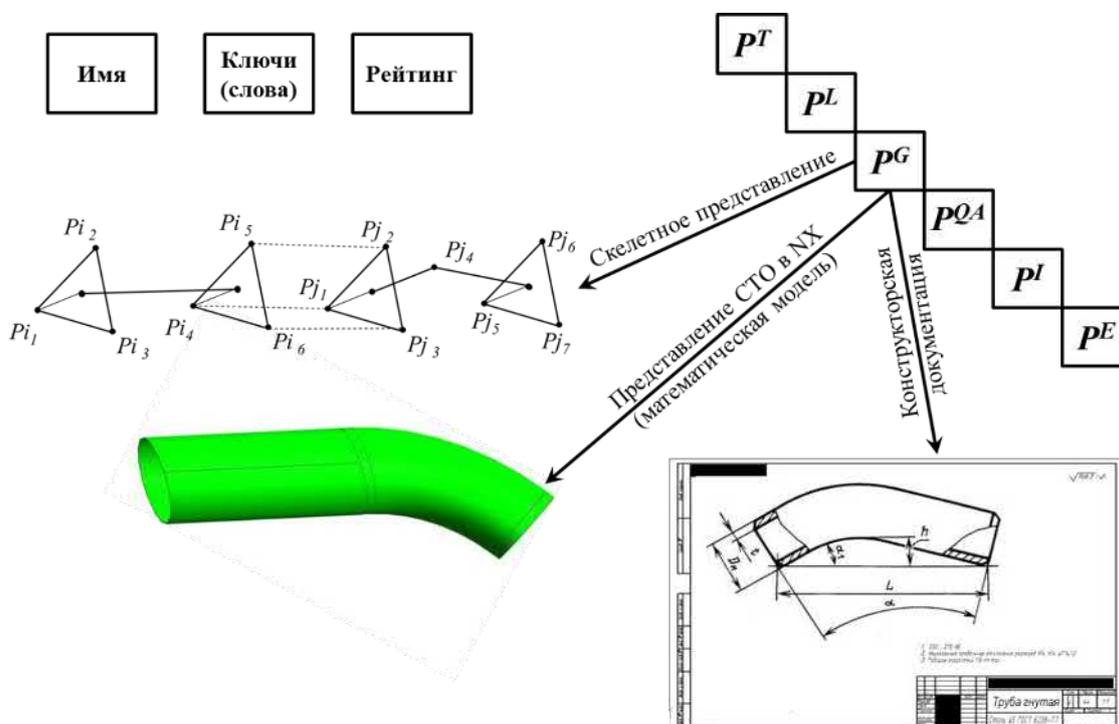


Рис. 3.3 Варианты материализации узла трубопровода

- **вопросно-ответная модель прецедента  $P^{QA}$**  для задачи  $Z(P_i)$ ,

содержащая список вопросов и ответов:

*Q1. Диаметр постоянный?*

*A1. Да.*

*Q2. Какое количество деталей собирается в узел?*

*A2. 2.*

*Q3. Есть ответвления?*

*A3. Нет.*

*Q4. Есть прямой участок?*

*A4. Да.*

*Q5. Есть участок с загибом в одной плоскости?*

*A5. Да.*

*Q6. Есть участок с загибом в двух плоскостях?*

*A6. Нет.*

.....

*Q15. Нужно оформление чертежа?*

*A15. Да*

- **модель  $P^I$** , представляющая вложенное в прецедент поведение в форме исходного кода его программы;

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

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=1", "X=100", "Y="100", "X=300", "Y="100")
```

```
DD_Create ("Ellipse", "ShapeName=O1", "X=100", "Y="100", "Diametr=50")
```

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=1", "X=300", "Y="300", "X=400", "Y="300")
```

- **модель  $P^E$** , выводящая на исполняемый код программы, реализующей образец прецедента:

```
det_number_i1; connection_type_i1; Di1; Pi1; Pi2; Pi3; $
```

```
det_number_i2; connection_type_i2; Pi4; Pi5; Pi6. $
```

```
det_number_j1; connection_type_j1; Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; $
```

```
det_number_j2; connection_type_j2; Pj4; Pj5; Pj6.
```

- **интегральная модель прецедента  $P^S$**  в виде его схемы, интегрирующей все специализированные модели прецедента в единое целое для узла трубопровода из двух деталей приведена на рисунке 3.4

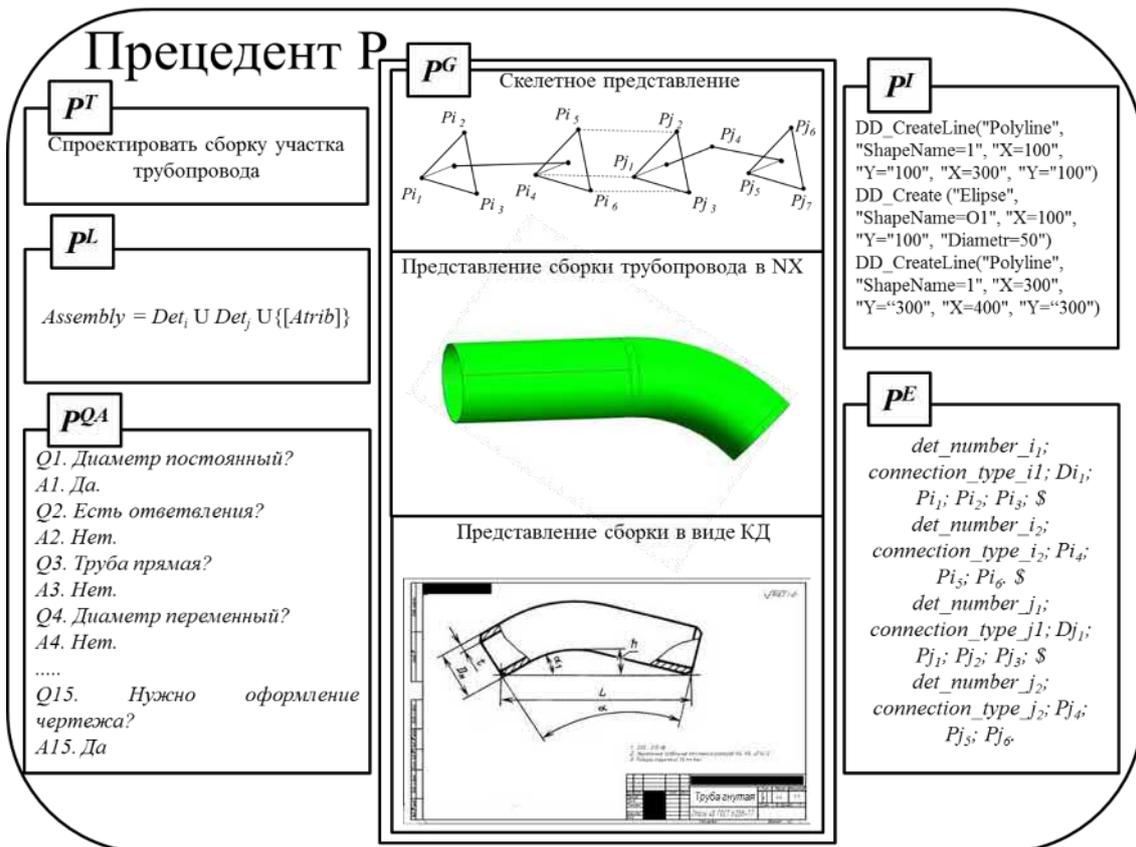


Рис. 3.4 Интегральная схема образца прецедента сборки узла трубопровода

В качестве следующего примера модели прецедента рассмотрим проектирование СТО для сборки узла трубопровода сваркой, что будет являться постановкой задачи  $Z(P_i)$ . Далее также представим модель прецедента проектирования СТО в виде набора следующих специализированных моделей:

- **текстовая модель  $P^T$**  в виде запроса на проектирование СТО для сборки трубопроводов, являющегося основными исходными данными: *"спроектировать приспособление для сборки трубопровода 12345.7564.010.000. Фиксаторы расположить на расстоянии 50 мм от сварного шва"*.

- **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 3.3.

$$STO = Osn \ \& \ Logem_i \ \& \ Fiksator_j \ \& \ Krepejk \ \& \ Atrib$$

%раскрытие ложемента  $Logem$  %  
 $Logement = Stenka \& LogemPr \& Rubilnik \& krepej$   
 % раскрытия основания %  
 $Osn = G(a, d, h)$

Таблица 3.3

Библиотека элементов СТО

№ п\п	Наименование	Обозначение	Представление	Примечание
1.	Osnovanie	Основание	Комплексный элемент	
2.	Logement	Ложемент	Комплексный элемент	
3.	Prijim	Прижим	Комплексный элемент	
4.	Fiksator	Фиксатор	Комплексный элемент	
5.	Upor	Упор	Комплексный элемент	
6.	Atrib	Атрибуты	Комплексный элемент	
7.	Risk	Риска	$Line=(P1,P2)$	
8.	a	длина	const	
9.	b	ширина	const	
10.	h	высота	const	
11.	R	радиус	const	

- графическая модель прецедента  $P^G$  приведена на рисунке 3.5.

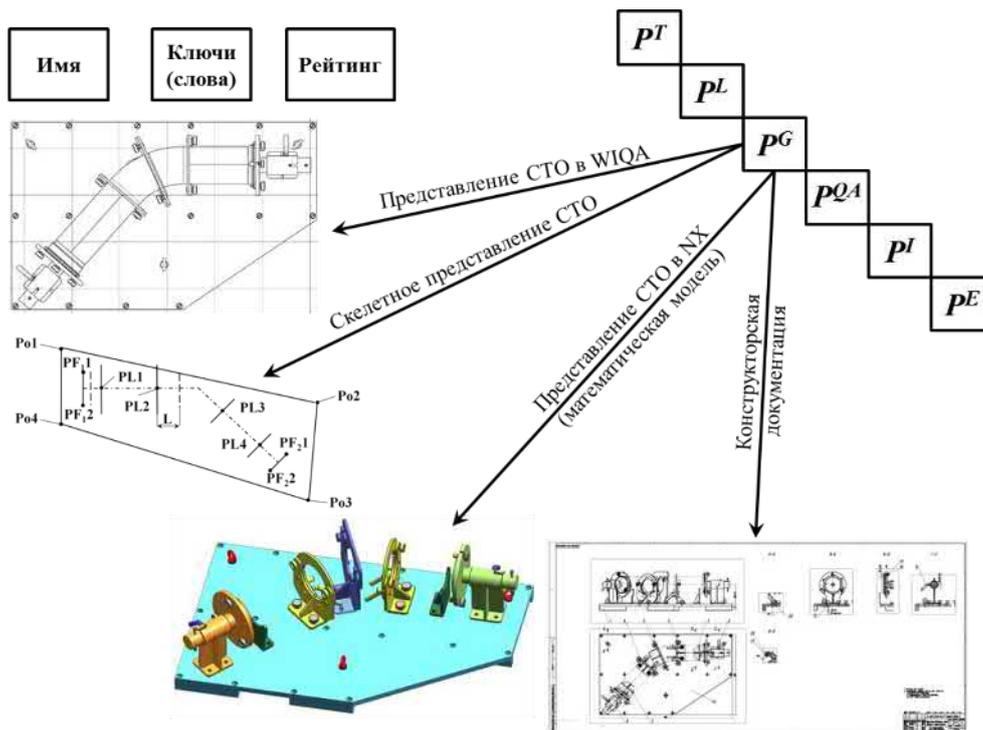


Рис. 3.5 Варианты материализации СТО

- **вопросно-ответная модель прецедента  $P^{QA}$** , соответствующая задаче  $Z(P_i)$ ; с учетом разработанной онтологии  $TO$  описанной выше для задачи  $Z(P_i)$ :

- Q1. Какой вид  $TO$  используется?*  
*A1. СТО для сборки трубопроводов.*  
*Q2. Труба, гнутая в одной плоскости?*

- A2. Да.  
 Q3. Труба, гнутая в двух плоскостях?  
 A3. Нет.  
 Q4. Диаметр переменный?  
 A4. Нет.

- .....  
 Q20. Нужен чертеж?  
 A20. Да

- модель  $P^I$ , представляющая вложенное в прецедент поведение в форме исходного кода его программы;

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

```
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=1", "X=100", "Y=200", "X=100", "Y=100")
DD_CreateLine("Polyline", "ShapeName=2", "X=100", "Y=100", "X=200", "Y=100")
DD_Create ("Ellipse", "ShapeName=O1", "X=125", "Y=225", "Diametr=6,5")
DD_Create ("Ellipse", "ShapeName=O2", "X=375", "Y=225", "Diametr=6,5")
```

- модель  $P^E$ , реализующая образец прецедента:

- $STO\_number$  \$  
 $Po1, Po2, Po3, Po4$  \$  
 $PF1, PF2; PF3, PF4,$  \$  
 $PL1; PL2; PL3; PL4.$

- интегральная модель прецедента  $P^S$  приведена на рисунке 3.6.

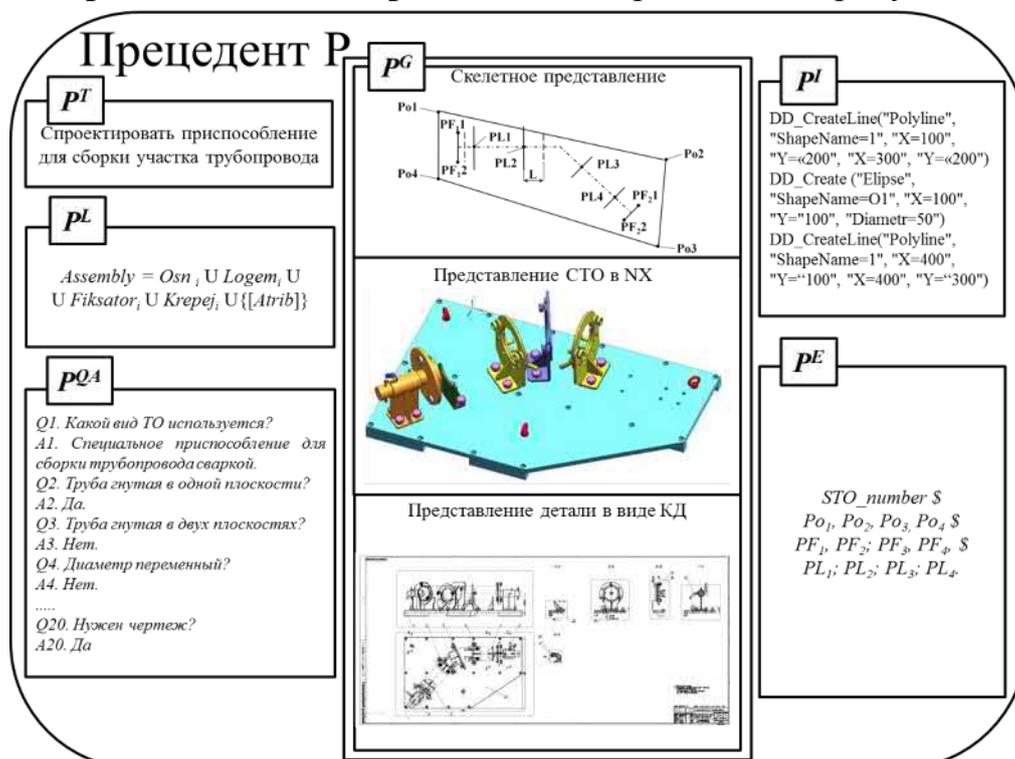


Рис. 3.6 Интегральная схема образца прецедента на этапе проектирования СТО для сборки узла трубопровода

Аналогично рассмотрим разработку УП для сварочного робота.

- **текстовая модели  $P^T$**  в виде запроса на разработку УП для сварочного робота: "Разработать УП для сборки трубопровода 12345.7654.011.000, фиксацию производить по границе сварного шва".

- **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 логики предикатов.

$$UP = Pm \& Pw$$

%раскрытие точек перемещения  $Pm$  %

$$Pm = Pm1 \& Pm2 \& \dots \& PmN$$

%раскрытие точек сварки  $Pw$  %

$$Pw = Pw1 \& Pw2 \& \dots \& PwK$$

Таблица 3.4

#### Библиотека элементов УП

№ п\п	Наименование	Обозначение	Представление	Примечание
1.	$Pm$	Точка перемещения	(x,y,z)	
2.	$Pw$	Точка сварки	(x,y,z)	

- **графическая модель прецедента  $P^G$** , представляющая его материализацию в различных вариациях (рис. 3.7).

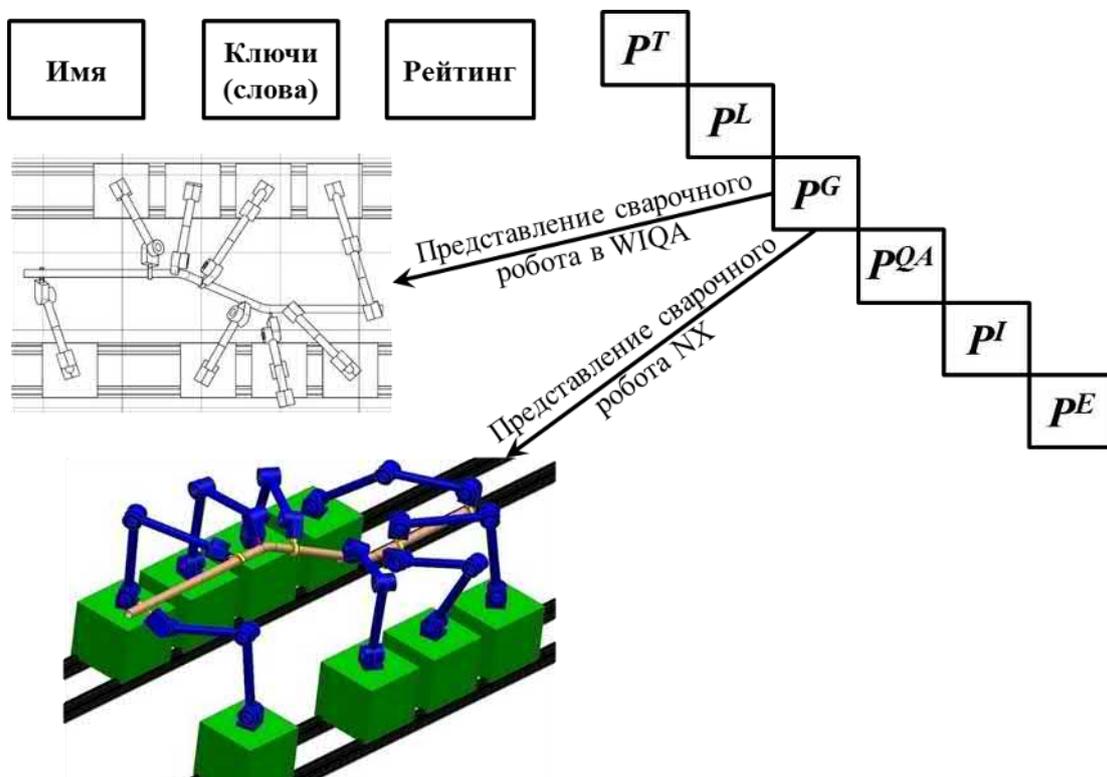


Рис. 3.7 Вариации материализации УП для сварочного робота

- **вопросно-ответная модель прецедента  $P^{QA}$** :

Q1. Какой вид ТО используется?

A1. Сварочный робот.

Q2. Труба, гнутая в одной плоскости?

A2. Нет.

Q3. Труба, гнутая в двух плоскостях?

A3. Да.

Q4. Диаметр переменный?

A4. Нет.

Q5. Какой тип технологической фиксации деталей используется?

A5. Ложементы с рубильниками.

Q6. Сколько мест фиксации?

A6. 4.

Q6. Как располагаются ложементы?

A6. На расстоянии 50 мм от торца сварного шва.

.....

Q20. Нужна сопроводительная документация?

A20. Да

- **модель  $P^I$** , представленная в вопросно-ответной среде WIQA.

*DD\_CreateLine("Polyline", "ShapeName=P1", "X=0", "Y=0", "X=100", "Y=100")*

*DD\_CreateLine("Polyline", "ShapeName=P2", "X=100", "Y=100", "X=125", "Y=150")*

*DD\_CreateLine("Polyline", "ShapeName=P3", "X=125", "Y=150", "X=150", "Y=150")*

*DD\_CreateLine("Polyline", "ShapeName=P4", "X=150", "Y=150", "X=0", "Y=0")*

- **модель  $P^E$** , выводящая на исполняемый код программы, реализующей

образец прецедента.

*\$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s*

*LIN {X 1398.722, Y -0.000, Z 994.460, A -80.571, B -8.990, C 43.257}; Pt14*

*\$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s*

*LIN {X 1256.649, Y -0.000, Z 1106.943, A -83.415, B -11.234, C 59.352}; Pt15*

*\$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s*

*LIN {X 1530.433, Y -0.000, Z 465.640, A -78.090, B 5.250, C -23.452}; Pt16*

*WeldStart*

*WeldStop*

- **интегральная модель прецедента  $P^S$**  в виде его схемы приведена на рисунке 3.8.

# Прецедент Р

**PT**

Разработать УП для точечной сварки роботом

**PL**

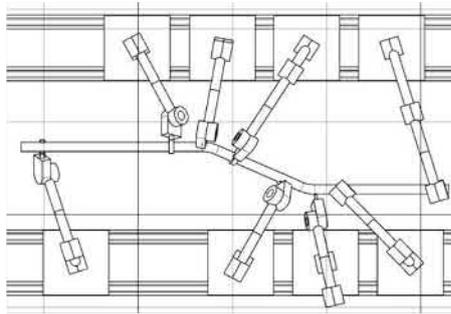
$UP = Pm \& Pw$

**PQA**

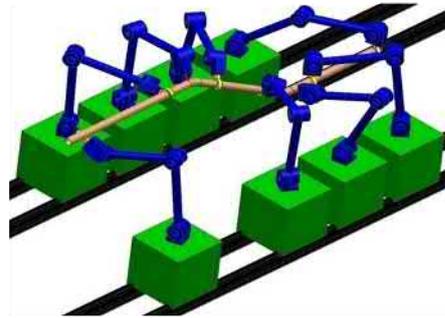
- Q1. Какой вид ТО используется?  
 A1. Сварочный робот.  
 Q2. Труба, гнутая в одной плоскости?  
 A2. Нет.  
 Q3. Труба, гнутая в двух плоскостях?  
 A3. Да.  
 Q4. Диаметр переменный?  
 A4. Нет.  
 Q5. Какой тип технологической фиксации деталей используется?  
 A5. Ложементы с рубильниками.  
 Q6. Сколько мест фиксации?  
 A6. 4.  
 Q6. Как располагаются ложементы?  
 A6. На расстоянии 50 мм от торца сварного шва.  
 .....  
 Q20. Нужна сопроводительная документация?  
 A20. Да

**PG**

Представление сварочного робота в WIQA



Представление сварочного робота в NX



**PI**

```
DD_CreateLine("Polyline",
"ShapeName=P1", "X=0",
"Y=0", "X=100", "Y=100")
DD_CreateLine("Polyline",
"ShapeName=P2", "X=100",
"Y=100", "X=125", "Y=150")
DD_CreateLine("Polyline",
"ShapeName=P3", "X=125",
"Y=150", "X=150", "Y=150")
DD_CreateLine("Polyline",
"ShapeName=P4", "X=150",
"Y=150", "X=0", "Y=0")
```

**PE**

```
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1398.722, Y -0.000, Z
994.460, A -80.571, B -8.990, C
43.257}; Pt14
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1256.649, Y -0.000, Z
1106.943, A -83.415, B -11.234,
C 59.352}; Pt15
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1530.433, Y -0.000, Z
465.640, A -78.090, B 5.250, C -
23.452}; Pt16
WeldStart
WeldStop
```

Рис. 3.8 Интегральная схема образца прецедента на этапе УП для сварочного робота

Как было отмечено ранее, в состав интегральной модели прецедента входят 6 специализированных моделей, однако данная модель является гибкой и может быть представлена только некоторыми специализированными моделями.

В качестве еще одного примера модели прецедента рассмотрим разработку ТП сборки узла трубопровода, который реализуется с помощью инструментария DocWIQA.

В качестве примера рассмотрим ниже вопросно-ответную модель ТП сборки трубопровода для задачи  $Z(P_i)$ .

Определим список вопросов и ответов:

- Q1. Какую деталь необходимо собрать?  
 A1. Трубопровод 12345.7654.011.000.  
 Q2. Требуется использование СТО о?  
 A2. Да.  
 Q3. Какое СТО необходимо?

*A3. СТО, сварочный робот.*

*Q4. Какой необходим инструмент для фиксации деталей?*

*A4. Ложементы и рубильники.*

*Q5. Какой вид сварки используется?*

*A5. Дуговая в среде защитных газов.*

.....

*Q21. Необходим контроль?*

*A21. Да*

*Q21.1. Какой метод контроля?*

*A21.1. КИМ.*

- модель  $P^E$ , выводящая на исполняемый код программы, реализующей образец прецедента.

*Z.1. Собрать трубопровод*

*Q1. Произвести предварительную обработку поверхностей под сварку.*

*Q2. Установить детали*

*Q2.1. Зафиксировать детали на ложементах рубильниками*

...

*Q18. Произвести гальванику детали.*

*Q19. Проконтролировать покрытие.*

*Q20. Осуществить окончательный контроль на КИМ.*

Подводя итог можно выделить комплексный прецедент ЖЦ узла трубопровода для стадий проектирования и подготовки его производства. Такой прецедент отражает взаимосвязь между принимаемыми техническими решениями инженерным персоналом на основе профессионального опыта на всех стадиях ЖЦ и сохранение этого опыта в виде полезных моделей прецедентов, готовых к повторному использованию, что позволяет проводить концептуальное моделирование подготовки производства и изготовления узла трубопровода на ранних стадиях его проектирования. Данный прецедент еще можно назвать прецедентом единицы ЖЦ изделия после добавления в него стадий эксплуатации, ремонта и утилизации, что позволит повысить эффективность конструкторских разработок за счет аккумуляирования и повторного использования конструкторских и технологических решений, а также наличия обратной связи при эксплуатации.

Комплексный прецедент ЖЦ узла трубопровода для стадий проектирования и подготовки производства приведен на рисунке 3.9.

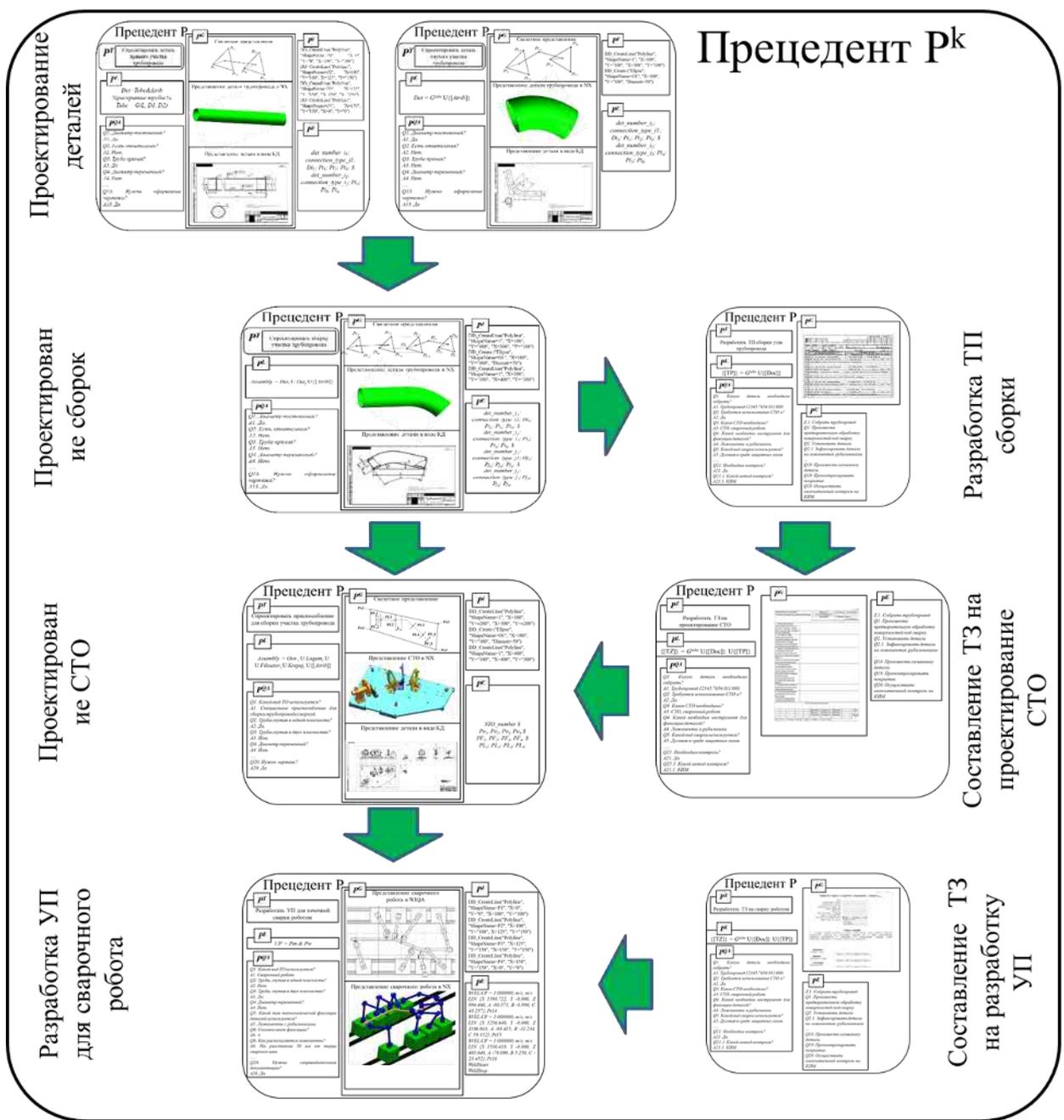


Рис. 3.9 Комплексный прецедент ЖЦ узла трубопровода

### 3.1.2. Концептуальное описание модели онтологической поддержки процесса проектирования СТО и разработки УП

Процесс проектирования и подготовки производства сборки трубопроводных систем ЛА сваркой является комплексным, междисциплинарным и содержит большое количество понятий, определений, конструкторской и технологической документации, содержащей разнообразные

технические решения, которые полезно накапливать, структурировать и повторно использовать в проектной деятельности на всех этапах ЖЦ изделия, а также большое количество разнообразной нормативной документации в виде справочников, стандартов, инструкций, которые полезно связывать с решениями, принимаемыми инженерным персоналом. Причем связь между принятыми техническими решениями и нормативной документацией в идеальном случае должна быть двусторонней, т.е. существующая нормативная документация должна постоянно расширяться и дополняться удачными техническими решениями для повторного использования и неудачными в виде «запретов» для предотвращения совершения ошибок, приводящих к браку из-за ошибок в выборе технологических операций и переходов, в том числе из-за не оптимального выбора технологических инструментов или оснащения, необходимого для выполнения ТП.

Описанные ранее прецеденты, содержащие скелетное геометрическое и списковое представления деталей, узлов, СТО, необходимого для сборки, и относящиеся к различным этапам ЖЦ объединены в комплексный прецедент и используются в составе прикладной онтологии. Основная задача такого применения прецедентов в организации логических и семантических связей между техническими решениями, принятыми на всех этапах проектирования трубопроводов и КТПП их узловой сборки, а также влияние этих решений на точность сборки деталей в узел, с учетом позиционирования в пространстве МГ самолета. Что позволяет накапливать, структурировать и повторно использовать профессиональный опыт в виде полезных моделей прецедентов.

Для организации работы с профессиональным опытом в комплекс средств онтологической поддержки включена инструментально-моделирующая среда WIQA. Общая схема работы данного комплекса средств онтологической поддержки приведена на рисунке 3.10

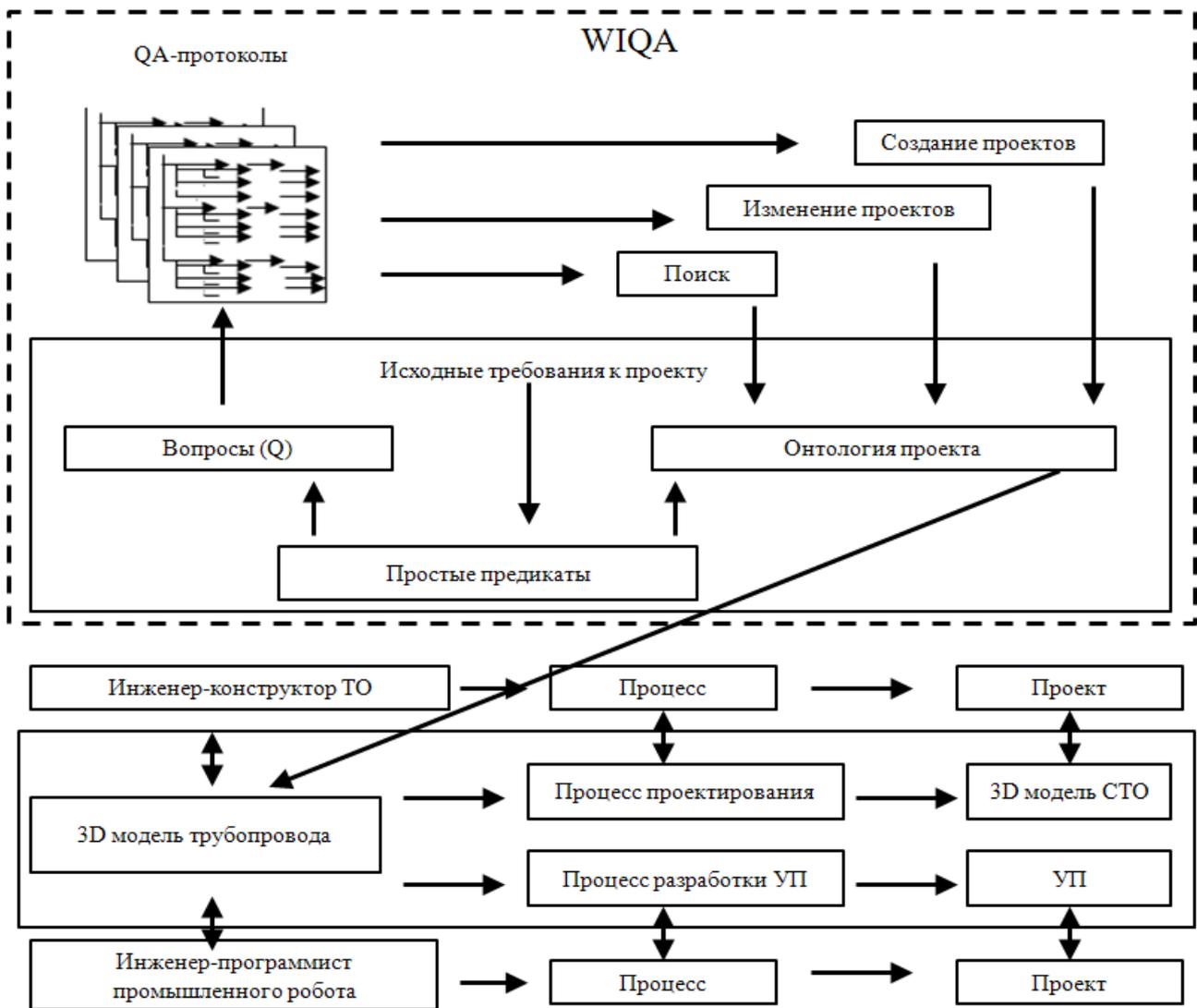


Рис. 3.10 Общая схема работы комплекса средств онтологической поддержки проектирования и узловой сборки трубопроводов

Для реализации комплекса средств и обеспечения поддержки процесса КТПП разработана концептуальная модель онтологии (рис. 3.11), в состав которой входят 3 контролируемых словаря:

- летательный аппарат – словарь, включающий в себя набор деталей и сборочных единиц ЛА. Данный словарь используется для определения требований и концептуального проектирования будущего облика СТО для изготовления трубопроводов ЛА, в том числе и с использованием роботизированной точечной сварки. В него включены секции «Подборки трубопроводов и сборки трубопроводов» и «Детали систем ЛА».

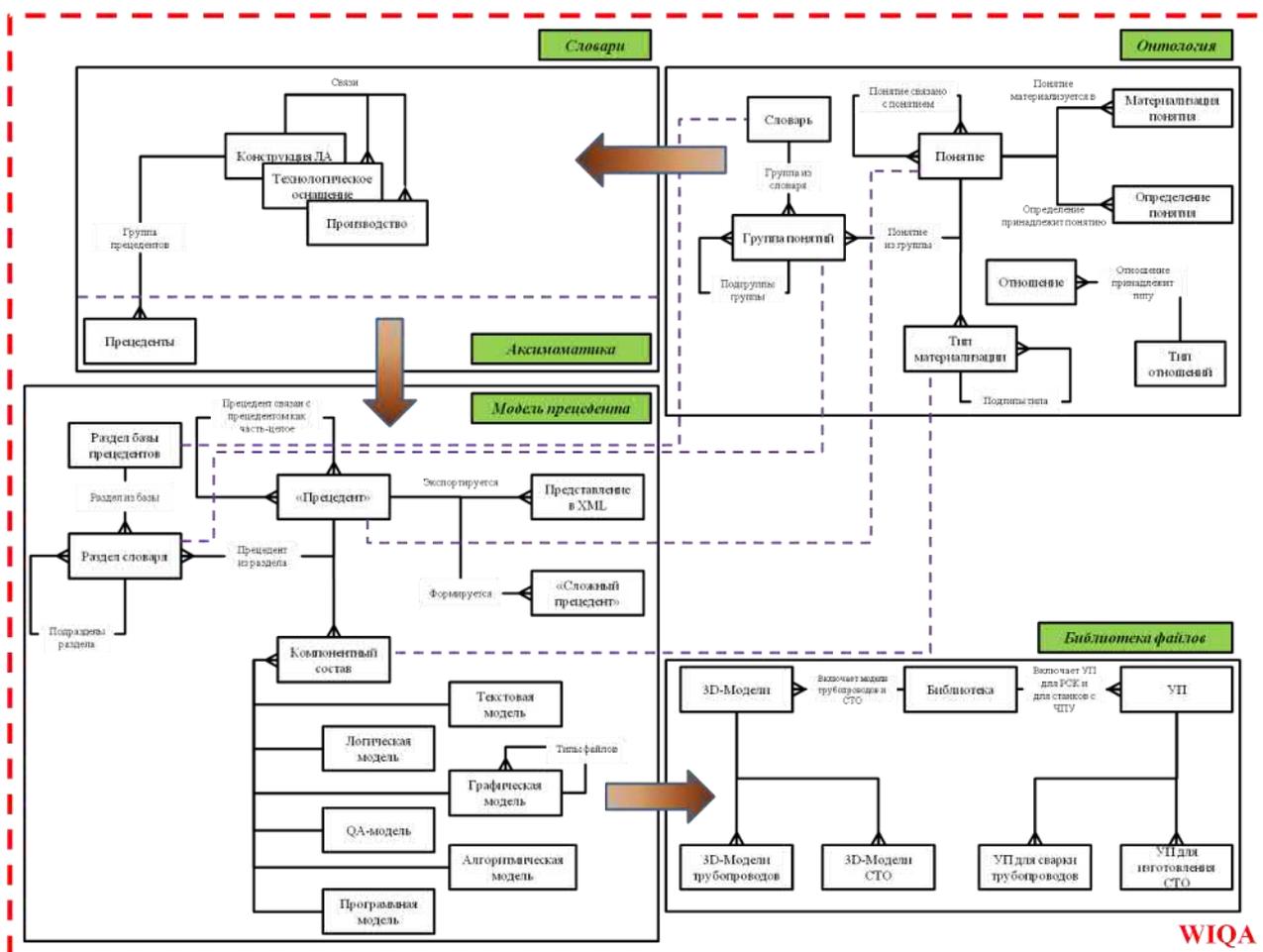


Рис. 3.11 Концептуальная схема модели онтологии

– технологическое оснащение – секция в которой находится все используемое ТО, его конструктивные особенности и нормативная документация, используемая на этапах проектирования ТО и разработки УП, а также модели СТО и файлы УП.

– производство – в данный словарь включены термины, относящиеся к изготовлению, как самих трубопроводов, так и деталей в которых они состоят. Секция "Заготовки" структурирована по маркам материала и типам заготовок.

Раздел "Аксиоматика" включает в себя модели прецедентов трубопроводов и их проекции на ЖЦ трубопровода ЛА с использованием скелетного геометрического и спискового представления для увязки ЭМД и ЭМСЕ узлов с СТО и УП для сварочного робота.

Раздел "Библиотека файлов". В комплекс средств онтологической поддержки включено структурированное хранение файлов в виде библиотеки с

выходом на дальнейшую материализация прецедентов в необходимой для конечного пользователя форме. В библиотеке хранятся ЭМ деталей и узлов трубопроводов, а также ЭМ СТО и УП для сварочного робота, а также необходимые инструменты для проектирования СТО и разработки УП в виде прикладных модулей, подключаемых к используемой на предприятии САПР.

Прецедентный подход в модели онтологии организован с использованием контекстных связей между понятиями по определенным признакам: часть-целое, наследование, ассоциация и т.д.

Важным элементом разработанной онтологии является поиск. Как уже было отмечено ранее, ЛА содержит большую номенклатуру разнообразных деталей, узлов трубопроводов и ТО, необходимого для сборки, следовательно, необходимо обеспечить наиболее релевантный поиск образцов прецедентов в базе данных предприятия. При обращении к поисковой системе пользователь должен иметь возможность получать релевантные смыслу запроса ответы, т.е. поиск должен быть семантически ориентированным [1, 10, 11].

Поэтому для организации поиска использована прикладная онтология профессионального опыта, содержащая логические и семантические связи между моделями прецедентов, а отдельные модели прецедентов, привязанные к этапам ЖЦ объединены в комплексный прецедент.

Такой подход позволяет дать пользователю ответы на вопросы, связанные с разработкой ТП сборки и проектированием оснастки по исходным ЭМ и ЭМСЕ трубопроводов систем ЛА, разработкой УП и всей необходимой текстовой документации, а также отслеживать и сохранять появление нового опыта с возможностью проецирования его на существующую нормативную документацию.

В общем виде связи между словарями в модели онтологии представлены на рисунке 3.12.

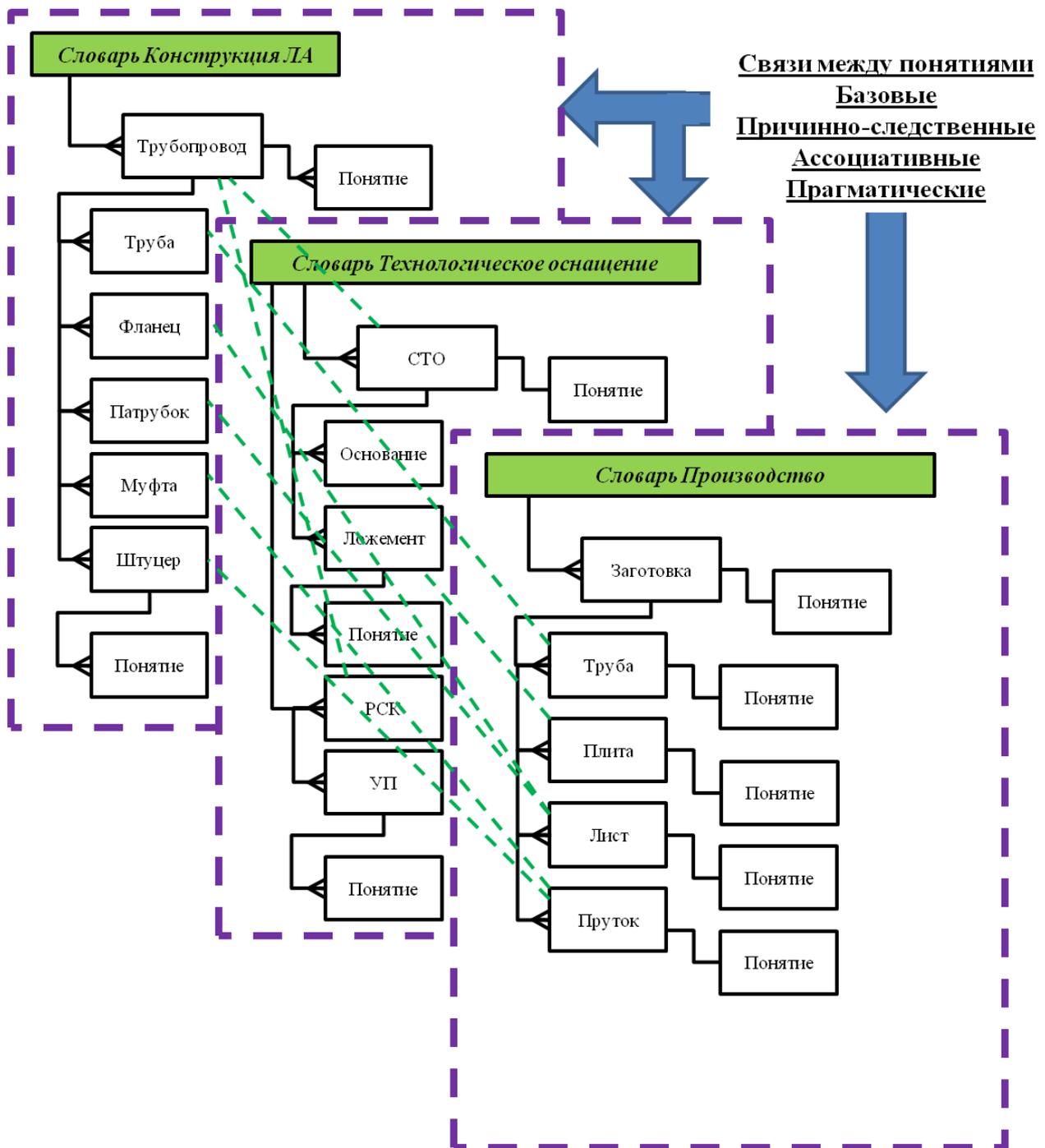


Рис. 3.12 Представление связей между словарями в модели онтологии

Исходя из большего количества конфигураций трубопроводов ЛА и средств ТО для их сборки, получаемая семантика очень разнообразна, следовательно, осуществлять поиск необходимой информации тем проще, чем уже и специфичнее классифицирован сам фрагмент трубопровода. Вследствие этого на практике необходимо произвести углубленную и детализированную классификацию трубопроводов и ТО.

Для осуществления релевантного поиска на этапе построения запроса к поисковой системе осуществляется вывод на онтологию. При этом выполняется преобразование пользовательского запроса в соединенный логическими связками наборы геометрического и спискового представления, которые будут использоваться поисковой системой.

В онтологии предметной области механизм представления семантических и логических связей между единицами профессионального опыта может осуществляться на основе таких отношений между понятиями как *Синоним*, *Основа*, *Ассоциация*, *Род-вид*, *Часть-целое*, *Это*, *Средство\_для*.

### 3.1.3. Представление СТО и УП в формальной системе определения синтаксиса БНФ

Далее перейдем к формальному описанию синтаксиса псевдокодowego языка моделирования  $L^{WIQA}$  включающим в себя библиотеки графических составляющих  $L^{BP}$  и проектные процедуры  $P$  для проектирования СТО или написания УП для РСК.

В общем представление синтаксических категорий СТО для сборки трубопроводов в БНФ нотации представлено на рисунке 3.13.

Из данной схемы видно, что на языке псевдокодowego моделирования WIQA приспособление для сборки трубопроводов (PrForTubeAssemb) представляется набором конструкционных элементов таких как: Основание (OsnAssembl), Сборки ложемент (LogemAssembl), фиксаторов (FiksAssembl) и крепежа (Krepej).

$$\begin{aligned} \text{PrForTubeAssemb} &= \text{LogemAssembl} \mid \{\text{LogemAssembl}\}, \\ \text{OsnAssembl} &\mid \{\text{OsnAssembl}\}, \text{FiksAssembl} \mid \{\text{FiksAssembl}\}, \\ &\text{Krepej} \mid \{\text{Krepej}\}; \end{aligned}$$

Сама сборка ложемент (LogemAssembl) также является набором конструктивных элементов таких как: ложемент (Logem), рубильник (Rub), стенка, основание (Osn), ребро жесткости (Rebr)

$$\text{LogemAssembl} = \text{Logem} \mid \{\text{Logem}\}, \text{Rub} \mid \{\text{Rub}\}, \text{Osn} \mid \{\text{Osn}\}, \text{Rebr} \mid \{\text{Rebr}\}$$

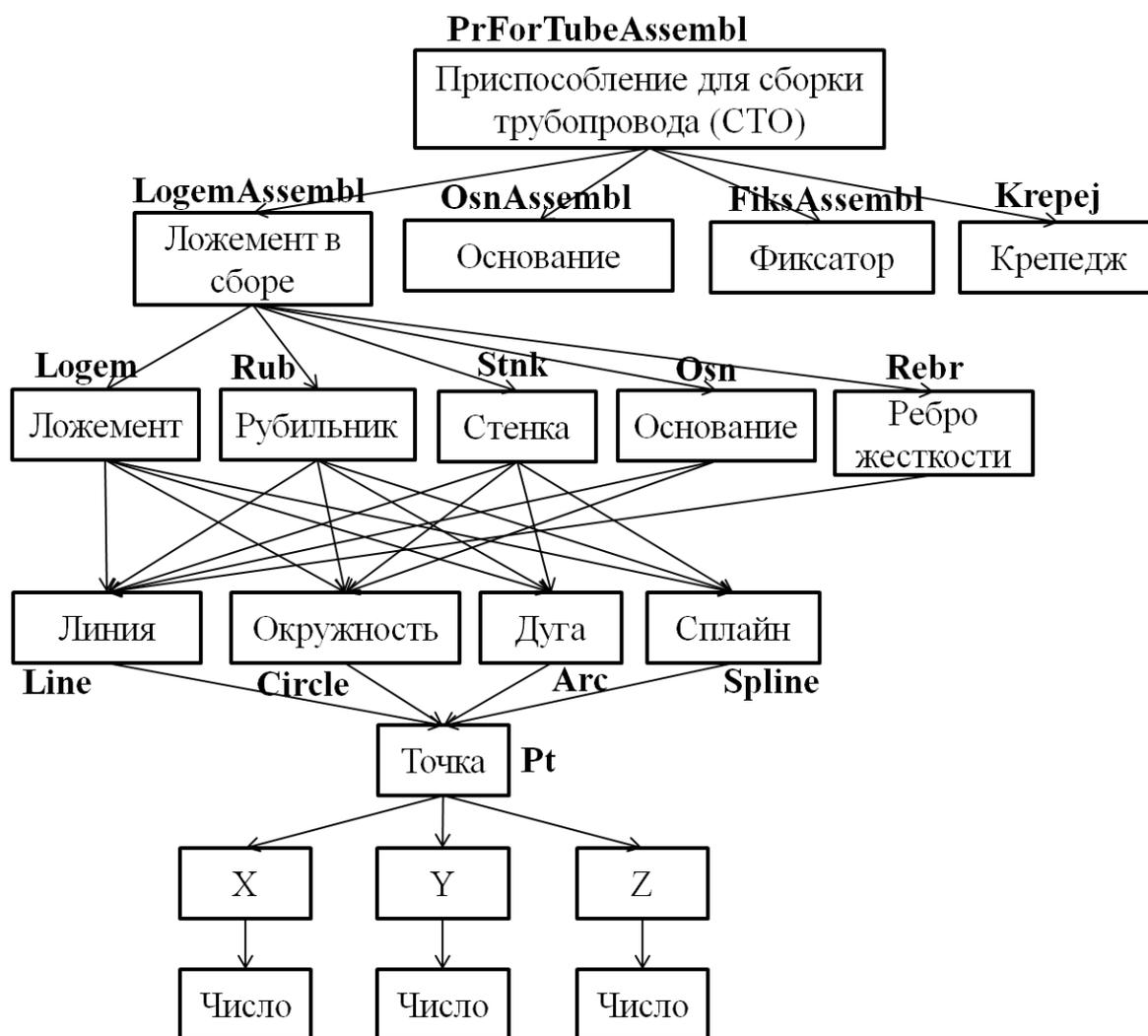


Рис. 3.13. Общее представление синтаксических категорий СТО для сборки трубопровода в РБНФ нотации

Каждый конструктивный элемент трубопровода или ТО является составным и его возможно описать с помощью набора линий (Line), окружностей (Circle) и дуг (Arc), а также набора сплайнов (Spline) если сечение трубопровода имеет сложную форму.

$\text{Logem} \mid \{\text{Logem}\} = \text{Line} \mid \{\text{Line}\}, \text{Circle} \mid \{\text{Circle}\}, \text{Arc} \mid \{\text{Arc}\}, \text{Spline} \mid \{\text{Spline}\}$

Далее рассмотрим представление примитивов из которых состоят описанные выше элементы.

$\text{Line} = \{\text{Pt}\},$   
 $\text{Circle} = \text{Pt}, \text{R},$   
 $\text{Arc} = \text{Pt}, \text{Pt}, \text{Pt} \mid \{\text{Pt}\},$   
 $\text{Spline} = \text{Pt}, \text{Pt}, \text{Pt} \mid \{\text{Pt}\}.$

где - Pt – точка с набором координат X, Y, Z

Ниже приведено обобщенное представление в БНФ нотации формального представления языка псевдокодированного моделирования для ТО, применяемого при сборке трубопроводов систем ЛА в рамках вопросно-ответной среды WIQA:

$$\begin{aligned}
 &PrForTubeAssemb = LogemAssembl \mid \{LogemAssembl\}, \\
 &OsnAssembl \mid \{OsnAssembl\}, FiksAssembl \mid \{FiksAssembl\}, Krepej \mid \{Krepej\}; \\
 &LogemAssembl = Logem \mid \{Logem\}, Rub \mid \{Rub\}, Osn \mid \{Osn\}, Rebr \mid \{Rebr\}; \\
 &OsnAssembl \mid \{OsnAssembl\} = Plita \mid \{Plita\}, Plast \mid \{Plast\}, Krepej \mid \{Krepej\}; \\
 &FiksAssembl \mid \{FiksAssembl\} = Prijim \mid \{Prijim\}, Krepej \mid \{Krepej\}; \\
 &Krepej \mid \{Krepej\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}, Spline \mid \{Spline\}; \\
 &Logem \mid \{Logem\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}, Spline \mid \{Spline\}; \\
 &Rub \mid \{Rub\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}, Spline \mid \{Spline\}; \\
 &Osn \mid \{Osn\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}; \\
 &Rebr \mid \{Rebr\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}; \\
 &Plita \mid \{Plita\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}; \\
 &Plast \mid \{Plast\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}; \\
 &Prijim \mid \{Prijim\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}; \\
 &Line = Pt, Pt \mid \{Pt\}; \\
 &Circle = Pt \mid \{Pt\}, R \mid \{R\}; \\
 &Arc = Pt, Pt, Pt \mid \{Pt\}; \\
 &Spline = Pt, Pt, Pt \mid \{Pt\}; \\
 &Pt = X, Y, Z.
 \end{aligned}$$

Аналогичным образом можно представить УП для сварочного робота, траекторию движения которого так же можно описать при помощи набора простых элементов:

$$\begin{aligned}
 &UP \mid \{UP\} = Line \mid \{Line\}, Circle \mid \{Circle\}, Arc \mid \{Arc\}, Spline \mid \{Spline\}; \\
 &Line = Pt, Pt \mid \{Pt\}; \\
 &Circle = Pt \mid \{Pt\}, R \mid \{R\}; \\
 &Arc = Pt, Pt, Pt \mid \{Pt\}; \\
 &Spline = Pt, Pt, Pt \mid \{Pt\}; \\
 &Pt = X, Y, Z.
 \end{aligned}$$

### 3.2. Методическое обеспечение работы с онтологией и словарями

Использование средств WIQA позволяет сопровождать процессы моделирования СТО и разработки УП с возможностью их материального представления и аккумуляции в онтологическом словаре в виде прецедентов и технических решений готовых для повторного использования и накопления профессионального опыта. Для достижения этого автором разрабатывается

методика по работе с онтологией и словарями представленная в виде блок-схемы на рисунке 3.14.

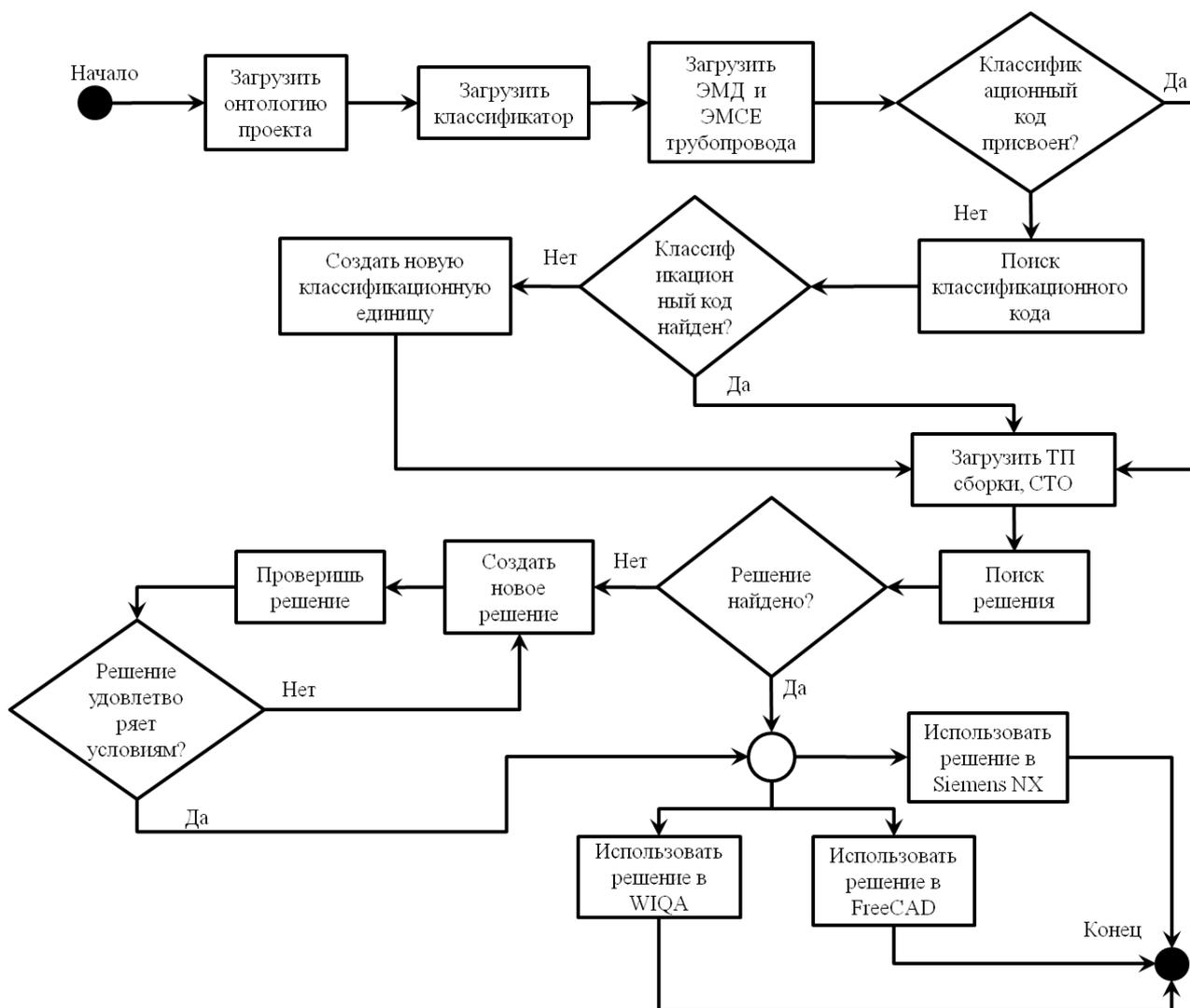


Рис. 3.14 Методика работы с онтологией и словарями

В начале процесса проектирования или разработки УП для сварочного робота инженер, в первую очередь, обращается к уже имеющейся базе профессионального опыта, содержащей технические решения для каждого конкретного узла трубопровода по его скелетному геометрическому представлению, выраженному классификационным кодом и списковым представлением. Если классификационный код не был назначен ранее, то система проверяет его наличие и, в случае его отсутствия, предлагает назначить классификационный код для облегчения поиска технических решений. Если найденное техническое решение удовлетворяет требованиям инженера, то работа

с онтологиями завершается и рейтинг данного технического решения повышается.

В том случае, когда техническое решение не найдено в базе, то создается новое техническое решение и сохраняется в базу. Наполнение базы техническими решениями производится по уже имеющимся прецедентам, появившимся в ходе ЖЦ самолета.

### **3.2.1. Методики поддержки документирования**

ЖЦ трубопроводов систем ЛА на стадии производства включает в себя оформление разнообразной документации, сопровождающей производственные процессы. К такой документации относятся ТП изготовления и сборки трубопроводов, ТЗ на проектирование СТО и разработку УП, КД на СТО, УП, контрольных карт и т.д.

Документирование является одной из базовых функций инструментально-моделирующей среды WIQA, для осуществления которой любые документы отображаются на семантическую память, причем единицы отображения доступны для их использования в псевдокодовом программировании, что позволяет любой успешный результат экспериментирования встраивать в проекты ЭКД на СТО, проекты ТП или в файлы УП и оперативно переносить в соответствующие формы документов, принятые на предприятии.

На этапах разработки ТП и ТЗ полезным будет применение концептуального экспериментирования для отработки выбранных вариантов технических решений и получения новых с помощью проведения концептуального экспериментирования [47, 70].

Концептуальный эксперимент – это мысленный эксперимент, содержание и процесс которого оперативно отображается на семантическую память, а результаты отображения используются по ходу экспериментирования с полезными целями.

Как было отмечено выше, основной материализацией принятых решений инженера-технолога в виде документов на этапах КТПП трубопроводов являются ТП сборки и ТЗ на проектирование СТО или на разработку УП для сварочного робота. Так же существует большое количество других документов в ЖЦ самолета, например, руководство по эксплуатации, руководство по ремонту,

Рассмотрим данный подход подробнее на примере формы ТЗ на проектирование СТО (рис. 3.15). Она содержит название и номер ТЗ, кода цеха, код изделия, номер ВПП, фамилии участников процесса (разработчик, проверяющий, утверждающий и т. д.), а также основные графы, в которых отражается материализация требований к проектируемому СТО.

ф.0208

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ на <u>Приспособление для сборки трубопровода</u>					Номер ТЗ	Код цеха	Код изделия	
					125/476-XXXX-2016			
					Номер ВПП	Очередь	Код по классификатору	
						1		
1. Обозначение чертежа обрабатываемой детали или перечень сборочных единиц (агрегатов, деталей), материал и его термообработка		①						
2. состояние поставки обрабатываемой детали, сборочной единицы, агрегата. (Перечислить, по каким операциям деталь обработана, отклонение размеров чертежа)		②						
3. Указать, что предполагается обрабатывать или какие размеры чертежа обеспечить при сборке сборочной единицы, агрегата. (Указать точность изготовления или контроля поверхности)		③						
4. Указать на каком оборудовании и каким инструментом или по какой оснастке предполагается выполнить данную операцию, режимы резания. (Для сборочной оснастки краткий технологический процесс)		④						
5. Базы фиксации сборочной единицы или деталей, способ крепления инструмента		⑤						
6. Технические требования к конструкции оснастки или инструмента. (Указать для инструмента материал режущей части)		⑥						
Эскиз оснастки, инструмента								
					Разработал	Должность	Фамилия	Лист
					Проверил	Должность	Фамилия	1
					Согласовал	Должность	Фамилия	Листов
								X
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Утвердил	Нач. отдела		

Рис. 3.15 Пример ТЗ на проектирование СТО

Основные графы документа:

Графа 1 – Обозначение чертежа обрабатываемой детали или перечень сборочных единиц (агрегатов, деталей), материал и его термообработка;

Графа 2 – Состояние поставки обрабатываемой детали, сборочной единицы, агрегата. (Перечислить, по каким операциям деталь обработана, отклонение размеров чертежа);

Графа 3 – Указать, что предполагается обрабатывать или какие размеры чертежа обеспечить при сборке сборочной единицы, агрегата. (Указать точность изготовления или контроля поверхности);

Графа 4 – Указать на каком оборудовании и каким инструментом или по какой оснастке предполагается выполнить данную операцию, режимы резания. (Для сборочной оснастки краткий ТП);

Графа 5 – Базы фиксации сборочной единицы или деталей, способ крепления инструмента;

Графа 6 – Технические требования к конструкции оснастки или инструмента.

Алгоритм поддержки разработки ТЗ представлен на рисунке 3.16.

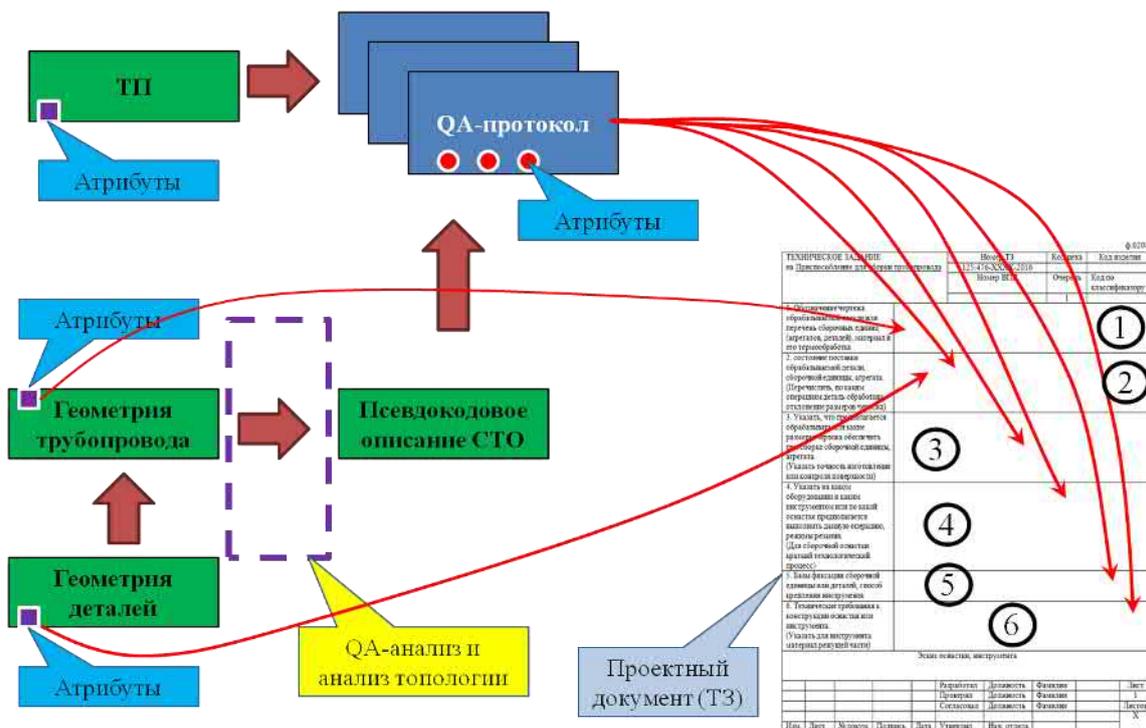


Рис. 3.16 Процесс формирования ТЗ на проектирование СТО в WIQA

Как было отмечено выше исходными данными для разработки ТЗ на проектирование являются геометрия деталей сборки части трубопровода, технические требования и ТП сборки.

Графа название заполняется инженером-технологом вручную.

Графы номер ТЗ и номер ведомости подготовки производства (ВПП) заполняются автоматически с использованием сквозной нумерации для всего предприятия, препятствующей возникновению дублирующих номеров.

Графа код цеха заполняется автоматически, исходя из маршрута изготовления в ТП.

Графа код изделия заполняется из атрибутов сборочной единицы трубопровода, с которой идет работа.

Далее на основе базы опыта инженеру-технологу предлагаются варианты технических решений на основании результатов анализа сборки и деталей трубопровода, в виде скелетного геометрического представления в диалоговом режиме в форме вопросов-ответов. Выбранные варианты решений проходят проверку в виде концептуально-алгоритмического программирования и моделирования процесса сборки с учетом конструкторских допусков, проходят семантическую проверку и отражаются в графах 1-6.

Сформированное ТЗ загружается в БД для повторного использования и проверки выбранных решений после изготовления опытного образца и, в случае необходимости, производится корректировка ТЗ с последующей доработкой или выпуском СТО. Накопление профессионального опыта технических решений позволит уменьшить количество доработок СТО и сократить количество случаев, в которых необходим полный перезапуск проектирования и изготовления ТО за счет повторного использования удачных решений и проверки на ошибки.

После изготовления и контроля опытного образца сборки трубопровода производится оценка принятых решений и формируется рейтинг успешности для

каждого решения. Последующие решения, которые система будет предлагать инженеру-технологу, будут основаны на рейтинге успешности.

Оценка успешности – это многокритериальная величина, состоящая из основных параметров, таких как точность сборки, трудоемкость и удобство использования СТО, а также стоимость под заданную программу выпуска изделий.

Рассмотрим (программируемую на псевдокоде) методику работы инженера-технолога с использованием онтологии и других средств инструментария WIQA.

Исходными данными для начала работы является КД и нормативная документация разработчика ЛА (ТУ, директивные ТП (ДТП) и т. д.) и предприятия-изготовителя (производственные инструкции (ПИ), технологические инструкции (ТИ), СТП и т. д.).

На основании классификационного кода для сборок трубопровода САПР предлагает инженеру-технологу технические решения (вид наиболее подходящего ТО, оптимальный порядок сборки, места и способы фиксации деталей и т.д.) с рейтингом успешности применения. Технолог делает выбор из предлагаемых решений или в случае отсутствия решения создает новое. Новое решение сохраняется в БД предприятия. После чего формируется ТП, производится симуляция сборки и проверка ТП на правильность. В случае нахождения ошибок производятся корректировка ТП и повторная проверка.

В зависимости от выбранного ТО формируется один из вариантов ТЗ для инженера-конструктора ТО, инженера по сборке УСвП или инженера-программиста роботизированного комплекса, в зависимости от того на каком этапе ЖЦ находится процесс КТПП в данный момент. WIQA на основании накопленного опыта на этом этапе предлагает варианты для реализации пунктов ТП в виде использованных ранее технических решений с рейтингом успешности применения. Технолог делает выбор из предлагаемых решений или в случае отсутствия готового решения создает новое. Новое решение сохраняется в БД

предприятия. После чего формируется ТЗ, производится симуляция с материализацией использования ТО для сборки трубопроводов, анализируется точность сборки. Если не обеспечивается требуемая точность сборки, то производится корректировка ТП или ТЗ.

Диаграммная модель принятия решения инженера-технолога при разработке ТП и ТЗ представлена на рисунке 3.17.

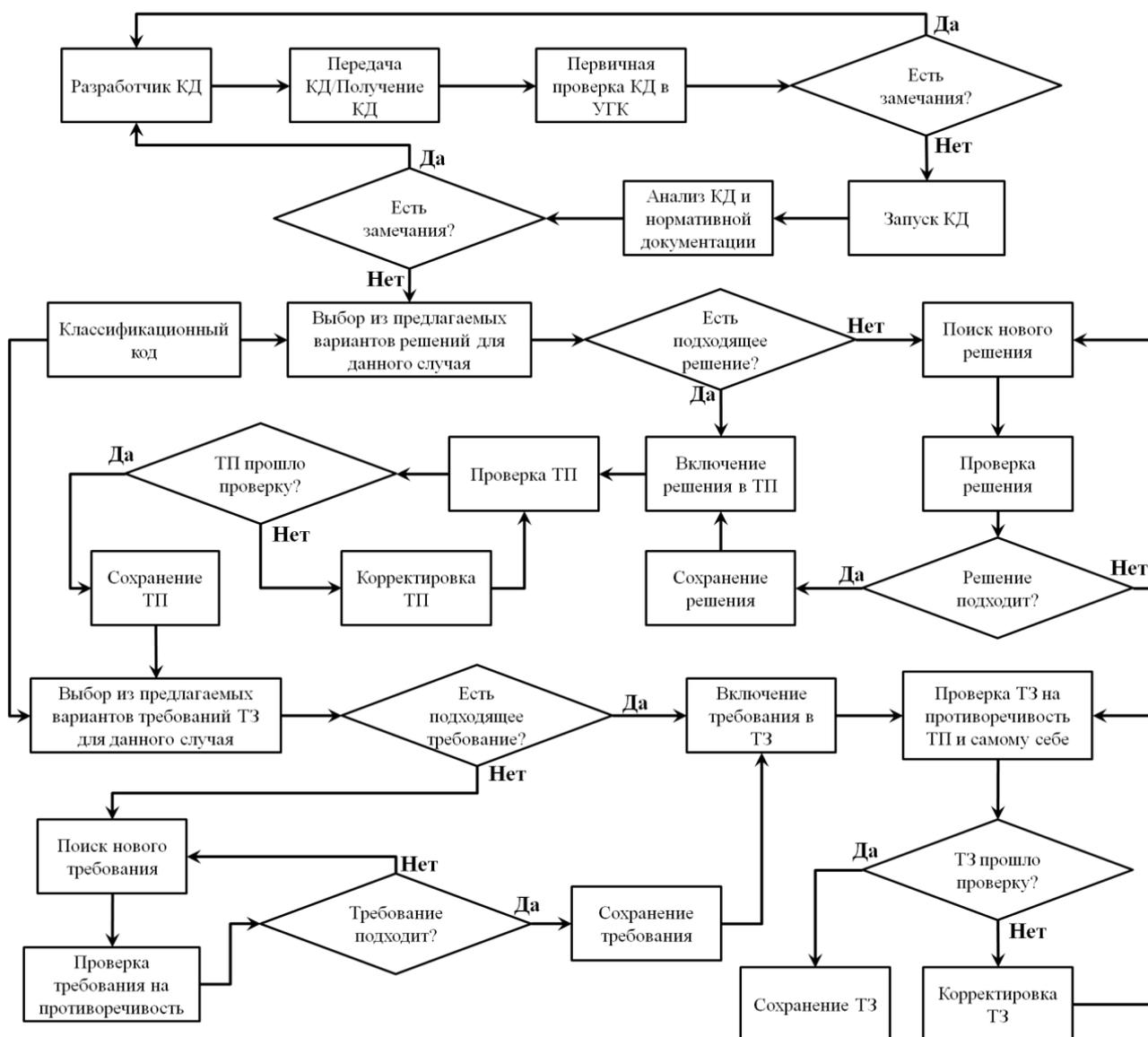


Рис. 3.17 Диаграммная модель алгоритма работы с использованием системы накопления опыта на стадии формирования ТП и ТЗ

На основании классификатора деталей и сборок трубопроводов, скелетного и спискового представления, а также накопленного опыта в системе WIQA выдаются рекомендации по выбору пунктов ТП и ТЗ на СТО, инженер

выбирает решения из предлагаемых вариантов фиксаторов, основания, ложементов и т. д. После чего производится симуляция проектирования и изготовления СТО, симуляция сборки трубопровода с последующей материализацией. Затем проводится проверка принятых решений на противоречивость, выполнимость, и, если решения удовлетворяют требованиям, то они заносятся в ТП и ТЗ. Если же решения не удовлетворяют требованиям, то производится поиск решения, пока не будут выполнены требования по точности сборки. Пример формирования ТЗ на проектирование СТО представлен на рисунке 3.18.

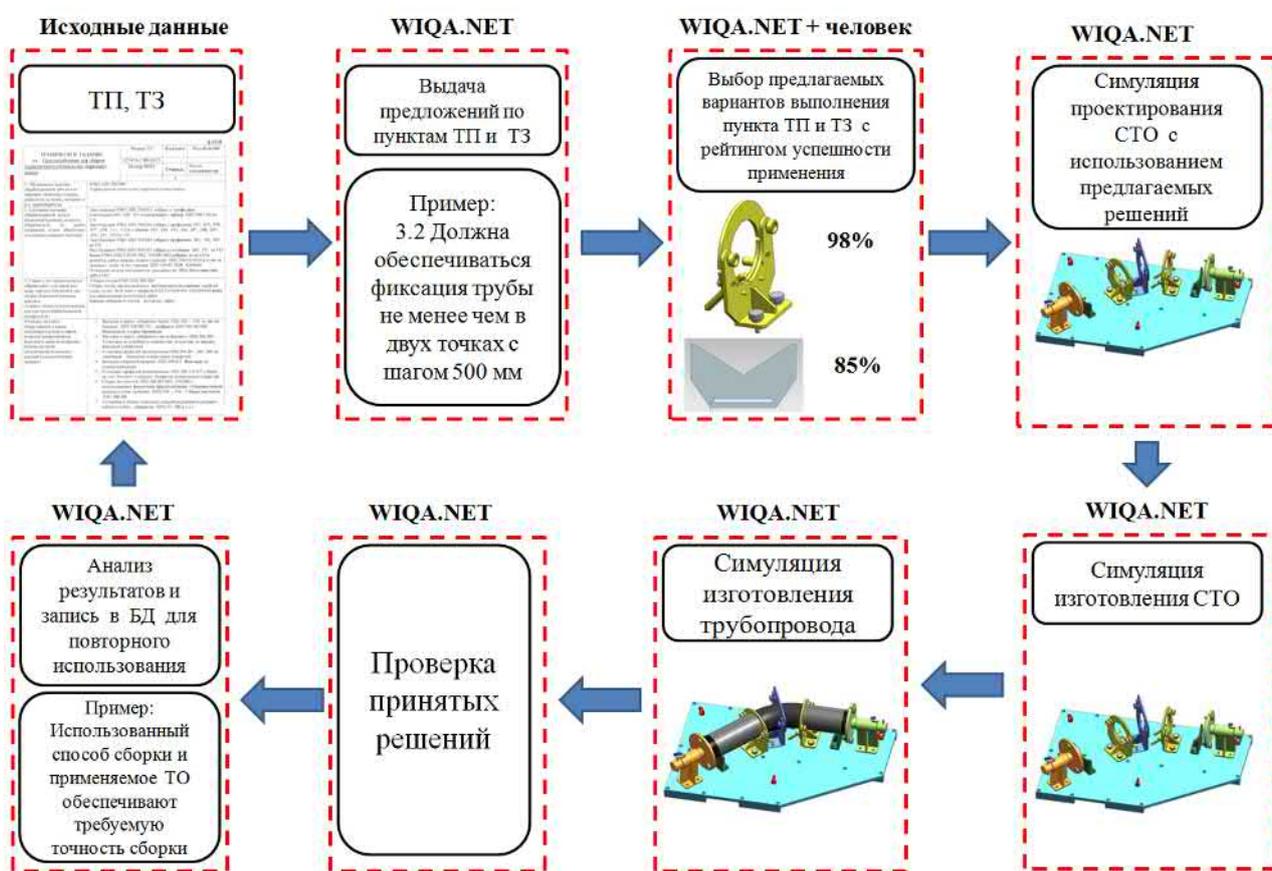


Рис. 3.18 Пример формирования ТП и ТЗ при использовании СТО

На основании классификатора деталей и сборок трубопроводов, а также накопленного опыта в системе WIQA выдаются рекомендации по выбору пунктов ТП и ТЗ на УП, инженер выбирает решение из предлагаемых вариантов фиксаторов для сварочного робота, выбора точек сварки, положения манипуляторов в пространстве и т. д. После чего производится симуляция

сборки трубопровода с последующей материализацией. Затем проводится проверка принятых решений на противоречивость и выполнимость, и, если решения удовлетворяют требованиям, то они заносятся в ТП и ТЗ. Если же решения не удовлетворяют требованиям, то производится поиск решения, пока не будут выполнены требования по точности сборки.

Пример формирования ТЗ на разработку УП для сварочного робота представлен на рисунке 3.19.

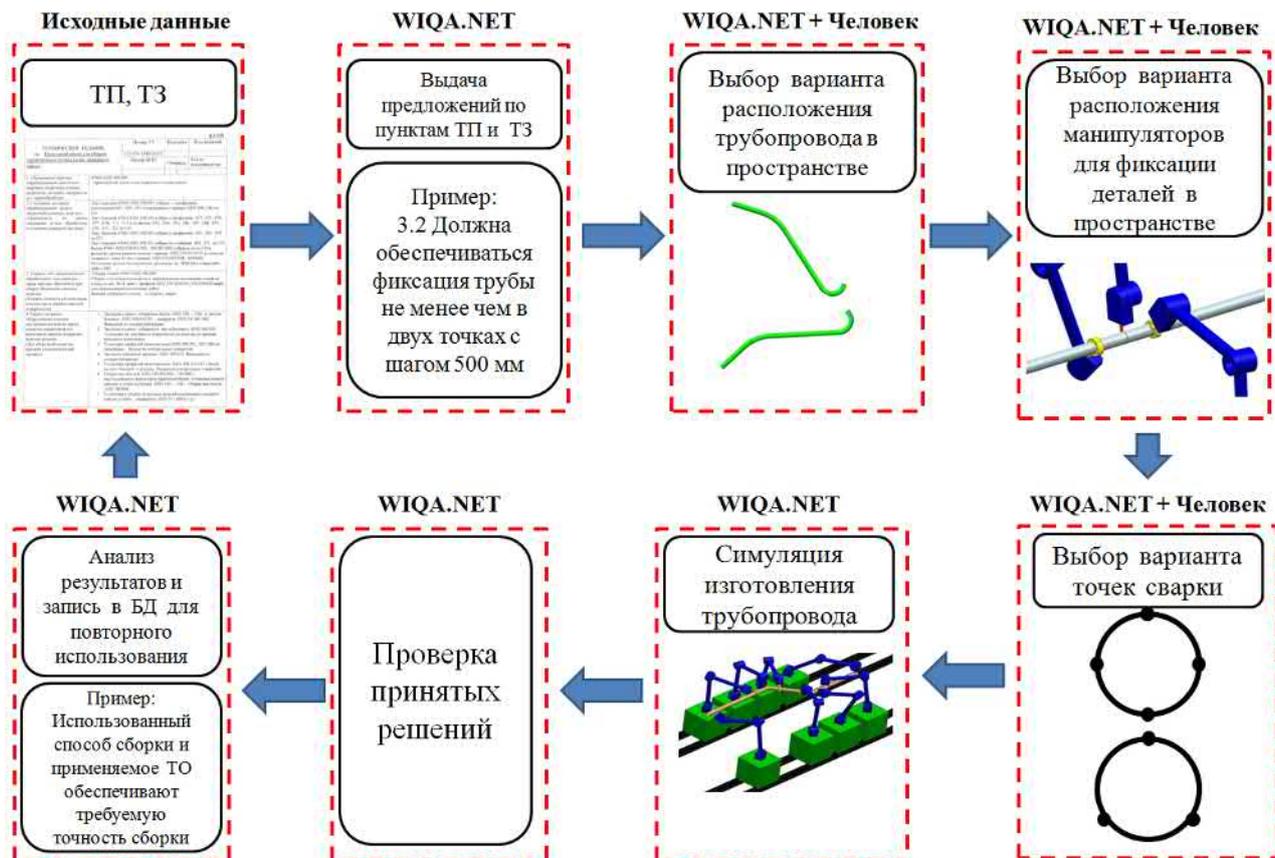


Рис. 3.19 Пример формирования ТП и ТЗ при использовании робота

После проведения симуляции процесса сборки и получения положительных результатов ТП и ТЗ передаются для дальнейшей работы инженеру-конструктору или инженеру-программисту.

Далее перейдем к рассмотрению методик поддержки процессов проектирования СТО для сборки узлов трубопроводов из отдельных деталей.

### 3.2.2. Методики поддержки проектирования

Процесс проектирования СТО является творческим и сильно зависит от человеческого фактора. На него влияют такие факторы как квалификация инженера-конструктора, предыдущий опыт работы, состояние здоровья и т. д.

Для уменьшения негативных факторов, связанных с человеческим фактором, полезным будет накопление опыта примененных технических решений и создание базы стандартных и типовых технических решений на основе твердотельных математических моделей в САПР.

Инженер-конструктор ТО на основе рекомендаций WIQA и БД ранее использованных решений выбирает из предлагаемых вариантов фиксаторов, основания, ложементов и т. д. После чего производится симуляция проектирования и изготовления СТО, симуляция сборки трубопровода с последующей материализацией. Затем проводится проверка принятых решений на противоречивость, выполнимость, и, если решения удовлетворяют требованиям, то они повторно используются при разработке КД для СТО. Если же решения не удовлетворяют требованиям, то производится поиск решения или разработка новых, пока не будут выполнены требования по точности сборки.

После чего инженер приступает к материализации принятых решений в виде КД (ЭМД, ЭМСЕ и, при необходимости, чертежей) на СТО. Материализация решений сохраняется в БД предприятия для последующего повторного использования.

Для уменьшения сроков разработки ТО так же возможно использование параллельного инжиниринга [71].

После изготовления и контроля опытного образца сборки трубопровода производится оценка принятых решений и формируется рейтинг успешности для каждого решения. Последующие решения, которые система будет предлагать инженеру-конструктору, будут основаны на рейтинге успешности.

Методика поддержки процесса проектирования СТО с использованием WIQA приведена на рисунке 3.20.

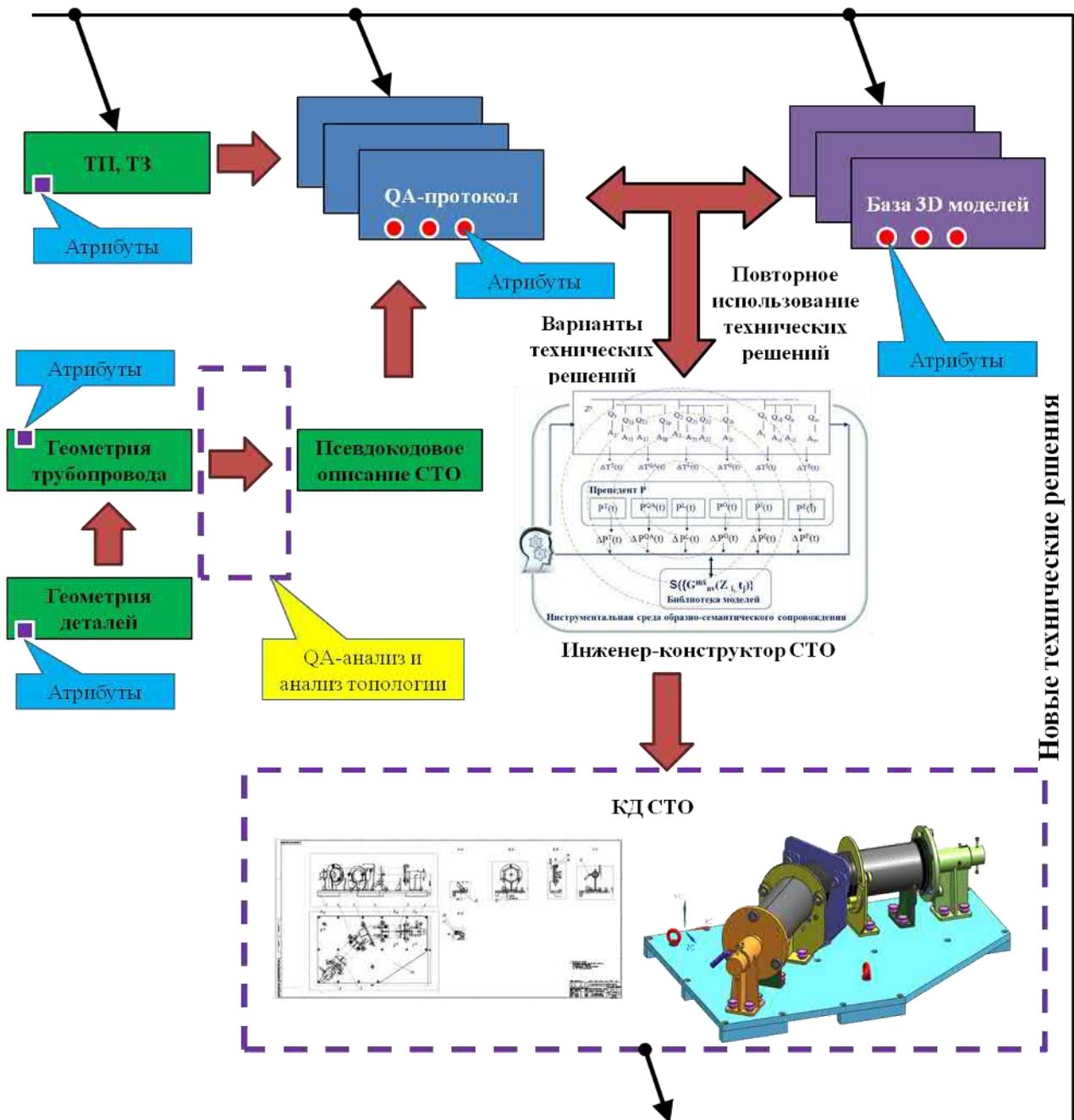


Рис. 3.20 Процесс проектирования СТО с поддержкой WIQA

### 3.2.3. Методики поддержки разработки числовых управляющих программ

Одной из проблем, стоящих на пути роботизации, является высокая трудоемкость программирования робота с ручным обучением точек программной траектории сварки. С увеличением числа роботов и номенклатуры

выпускаемых трубопроводов затраты на программирование могут стать недопустимо большими. Для уменьшения трудоемкости программирования часто используются системы автономного программирования для роботов.

На производстве инициирующим документом для разработки УП является техническое задание на разработку программы, пример формы которого приведен на рисунке 3.21.

Лист \_\_\_\_ Листов \_\_\_\_

**Техническое задание на разработку (корректировку) программ № \_\_\_\_**

Цех:	_____
Обозначение детали:	_____
Наименование детали:	_____
Извещение на запуск КД:	_____
Серия внедрения:	_____
Материал:	_____
Вид заготовки и размеры:	_____
Станок и система ЧПУ:	_____
Источник программирования:	<input checked="" type="checkbox"/> ЭМД; <input type="checkbox"/> Чертеж; <input type="checkbox"/> ЭМТ.
Время <u>Т.шт</u> на деталь:	универсальные _____
	слесарные _____
	программные _____

**ЭСКИЗЫ И ОПИСАНИЕ**

(Условия поставки заготовки (состояние поверхностей): базы, характер обработки поверхностей, припуски под последующие операции или по ВПШО; контролируемые параметры; рекомендации по применению СТО; промежуточные операции; особые требования; информация о состоянии детали после обработки).

<b>Разработал:</b> Технолог цеха	_____
	(подпись, дата, расшифровка подписи)
<b>Проверил:</b> Начальник ТБ цеха	_____
	(подпись, дата, расшифровка подписи)
<b>Согласовано:</b> Начальник РТБ	_____
	(подпись, дата, расшифровка подписи)

Рис. 3.21 Форма ТЗ на разработку УП

Методика формирования ТЗ на разработку УП в данном случае будет аналогична методике на разработку ТП.

Для дальнейшего уменьшения трудоемкости программирования сварочного робота может быть использование прототипирования на уровне CNC-программ с повторным применением фрагментов кода.

Условно УП для сварочного робота можно условно разделить на следующие типовые фрагменты:

- захват детали;
- ориентация деталей в пространстве;
- подвод инструмента в рабочую зону;
- сварка;
- вывод инструмента из рабочей зоны;
- освобождение трубы.

Представленные фрагменты кода сохраняются в базе данных предприятия и, тем самым, происходит накопление опыта решений, принятых инженерами-программистами (рис. 3.22).

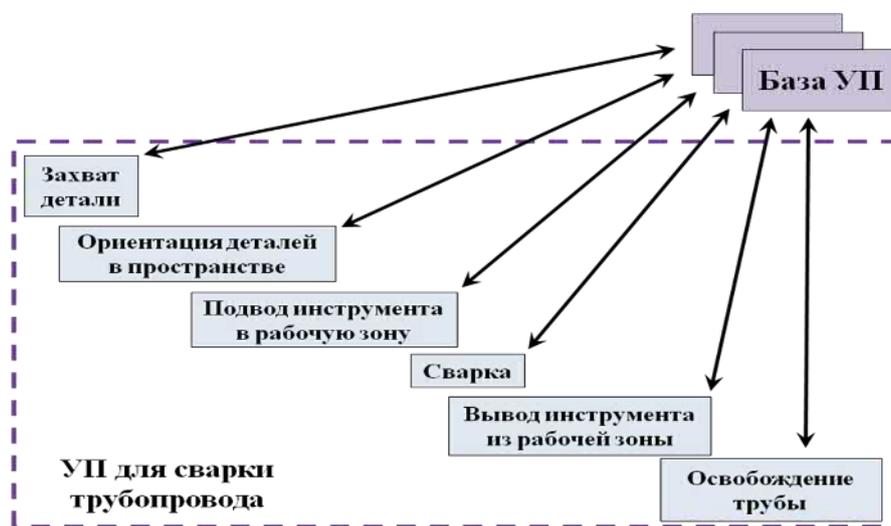


Рис. 3.22 Процесс формирования базы УП для РСК

Рассмотрим алгоритм работы инженера-программиста сварочного робота с поддержкой WIQA.

Процесс разработки УП так же является творческим и является зависимым от человеческого фактора и для повышения уровня автоматизации полезным будет накопление опыта примененных удачных технических решений в виде фрагментов кода УП и сохранение их в БД предприятия для повторного использования, а также концептуального проектирования.

Инженер-программист выбирает решение из предлагаемых вариантов фиксаторов для сварочного робота, выбора точек сварки, положения манипуляторов в пространстве и т. д. После чего производится симуляция

сборки трубопровода с последующей материализацией. Затем проводится проверка принятых решений на противоречивость и выполнимость, и, если решения удовлетворяют требованиям, то они заносятся в ТП и ТЗ. Если же решения не удовлетворяют требованиям, то производится поиск решения, пока не будут выполнены требования по точности сборки. Принятые технические решения в виде кода УП записываются в БД для повторного использования кода и, так же, происходит формирования типовых фрагментов кода. К типовым фрагментам, которые могут использоваться в каждой УП для сварочного робота, можно отнести подвод и вывод сварочного инструмента в рабочую зону, подвод манипуляторов для захвата фрагментов трубопровода, создание сварочного шва и т. д. Процесс разработки УП для сварочного робота с поддержкой WIQA представлен на рисунке 3.23.

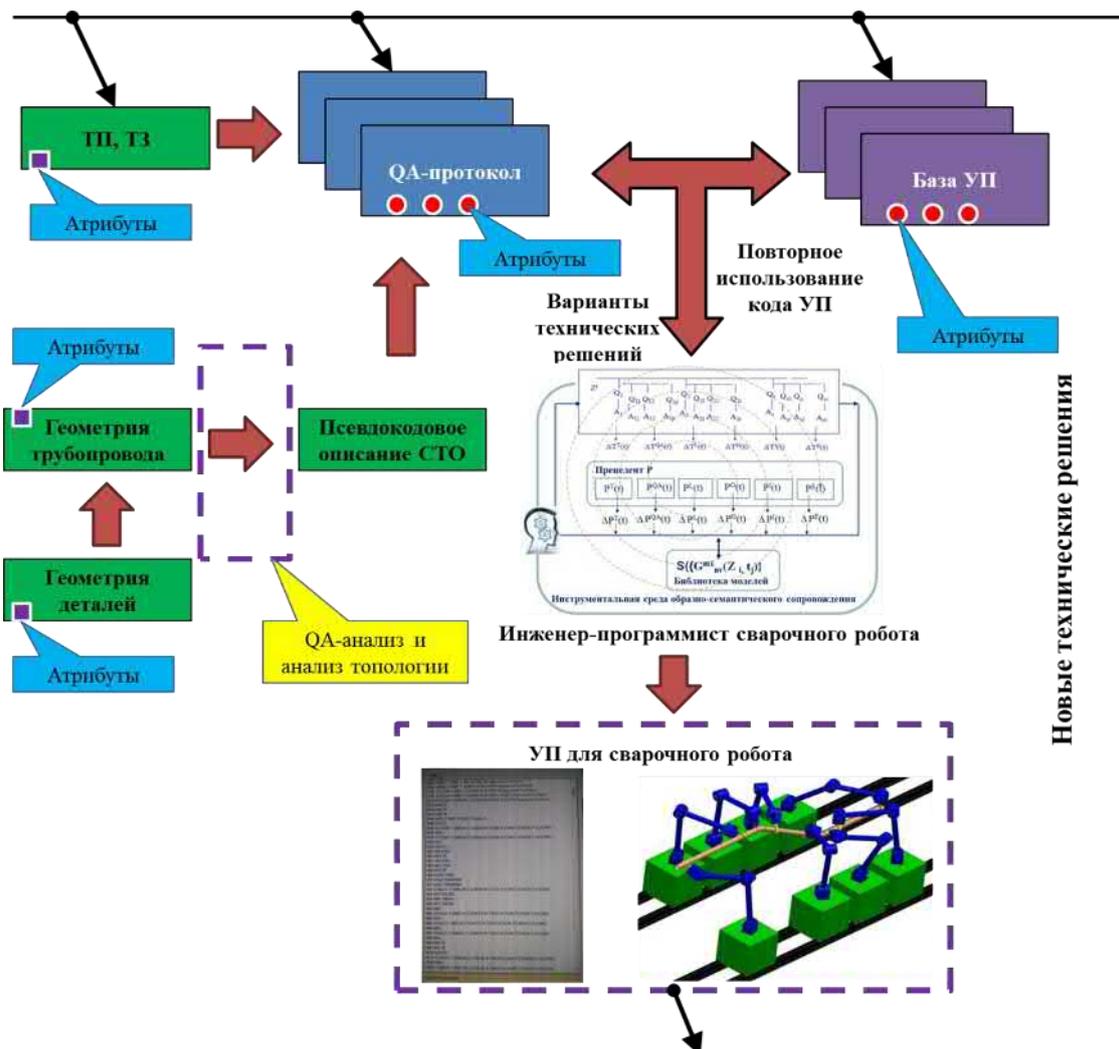


Рис. 3.23 Процесс разработки УП для робота с поддержкой WIQA

### 3.3. Метод согласования систем координат деталей и узлов трубопроводов систем летательного аппарата

Как было рассмотрено ранее, самолет является сложным изделием с большой номенклатурой деталей, сборок и подборок. В современном среднемагистральном самолете количество оригинальных деталей может достигать до 300 000. ЭМ всех деталей, как было отмечено в главе 1, хранятся в специальной базе данных, для управления которой используется система управления данными об изделии или система управления ЖЦ изделий и каждой конкретной детали отведено определенное положение в пространстве СМГ.

Такое положение детали можно описать координатами  $X, Y, Z$  в рамках МГ самолета и разумеется ее абсолютная СК. Для каждой  $i$ -ой детали трубопровода определим ее собственную СК, связанную с МГ следующим линейным преобразованием:

$$\begin{aligned} X_i &= X_0 + A_i \\ Y_i &= Y_0 + B_i \\ Z_i &= Z_0 + C_i \end{aligned} \quad (3.1)$$

где  $X_0, Y_0, Z_0$  – координаты  $i$ -ой детали в абсолютной СК самолета;

$X_i, Y_i, Z_i$  – координаты начала  $i$ -ой детали;

$A_i, B_i, C_i$  – величины линейных смещений начала координат абсолютной системы и начала координат  $i$ -ой детали.

Такая связь СК для одной из деталей трубопровода с абсолютной СК самолета приведена на рисунке 3.24, где  $T_{oi}(A_i, B_i, C_i)$  матрица размерностью  $3 \times 1$  представляет собой вектор положения начала детали трубопровода относительно абсолютной СК.

Кратко рассмотрим задание СК для деталей. Точкой начала СК выбирается центр одного из торцев детали. Ось  $X$  направляется от точки начала СК до центра следующего торца детали. Остальные оси задаются с учетом минимальных углов вращений относительно  $OY$  и  $OZ$  абсолютной СК.

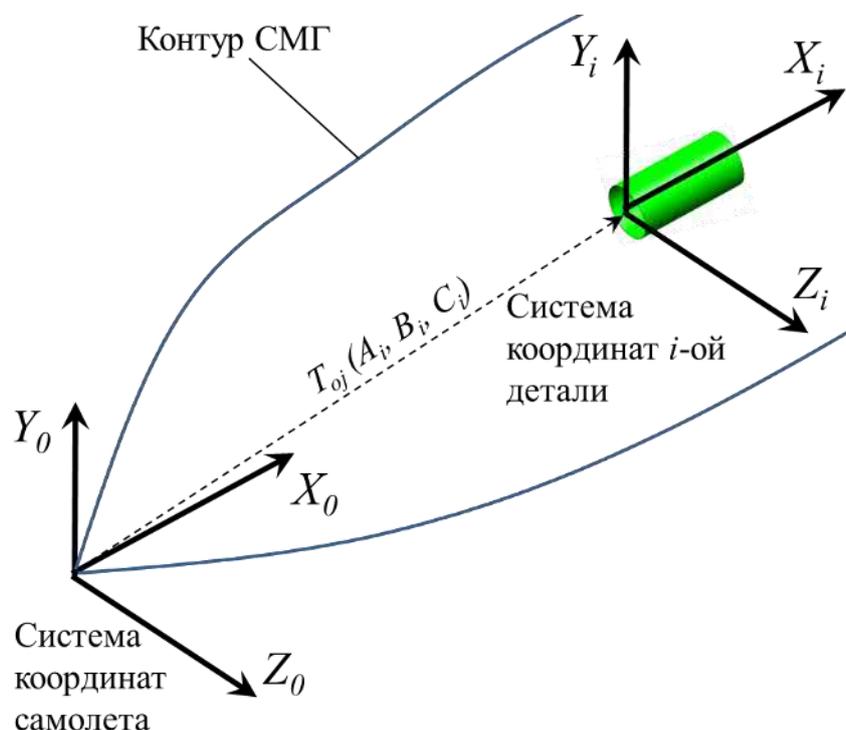


Рис. 3.24 Связь СК  $i$ -ой детали с абсолютной СК самолета

Так как деталь на рисунке 3.24 связана с деталями сборки узла на ее концах, то в этой СК можно представить координаты соединения, например, с СК  $j$ -ой детали:

$$\begin{aligned} X_j &= X_i + A_j \\ Y_j &= Y_i + B_j \\ Z_j &= Z_i + C_j \end{aligned} \quad (3.2)$$

где  $X_j, Y_j, Z_j$  – координаты начала  $j$ -ой детали относительно  $i$ -ой детали;  
 $A_j, B_j, C_j$  – величины линейных смещений начала координат  $j$ -ой детали относительно  $i$ -ой детали.

Или в матричной форме выражение 3.2 можно записать в виде  $T_{ij}(A_j, B_j, C_j)$ .

Зависимость СК  $j$ -ой детали относительно  $i$ -ой детали приведена на рисунке 3.25.

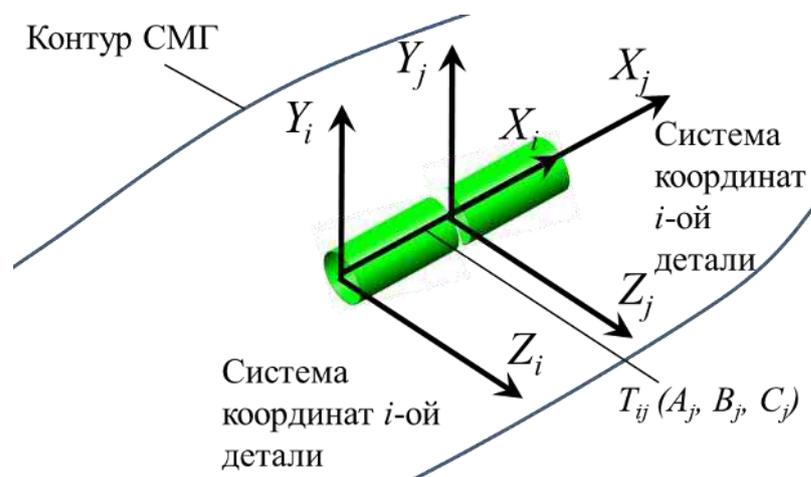


Рис. 3.25 Зависимость СК  $j$ -ой детали относительно  $i$ -ой детали

А значит в производственном цикле трубопроводов в СК, сохраняющих отношение  $\{T_{oi}\}$  можно выполнить геометрическое согласование деталей и узлов с производственным оборудованием, в частности с традиционной ТО для сборки трубопроводов, использующей для позиционирования деталей ложементы, прижимы и фиксаторы.

Исходя из анализа конструкции оснастки можно сделать вывод, что для ложементов, изготавливаемых из листа, т.е. «плоских» ложементов ось  $X_i^L$  СК должна располагаться перпендикулярно плоскости ложемента и по отношению к детали трубопровода должна быть перпендикулярной к трассе трубопровода. Для упрощения рассмотрим частный случай ложемента для  $i$ -ой детали трубопровода, когда труба прямая и ось  $X_i^L$  ложемента будет располагаться перпендикулярно к оси трубы.

Аналогичным образом можно записать выражения связи СК для ложемента, на котором фиксируется деталь трубопровода перед сваркой:

$$\begin{aligned} X_i^L &= X_i + A_i^L \\ Y_i^L &= Y_i + B_i^L \\ Z_i^L &= Z_i + C_i^L \end{aligned} \quad (3.3)$$

где  $X_i^L, Y_i^L, Z_i^L$  – начало СК ложемента относительно  $i$ -ой детали;

$A_i^L, B_i^L, C_i^L$  – величины линейных смещений начала координат ложемента относительно  $i$ -ой детали.

Или в матричной форме  $T_i^L(A_i^L, B_i^L, C_i^L)$ .

Зависимость СК  $i$ -ой детали и соответствующего ложеента приведена на рисунке 3.26.

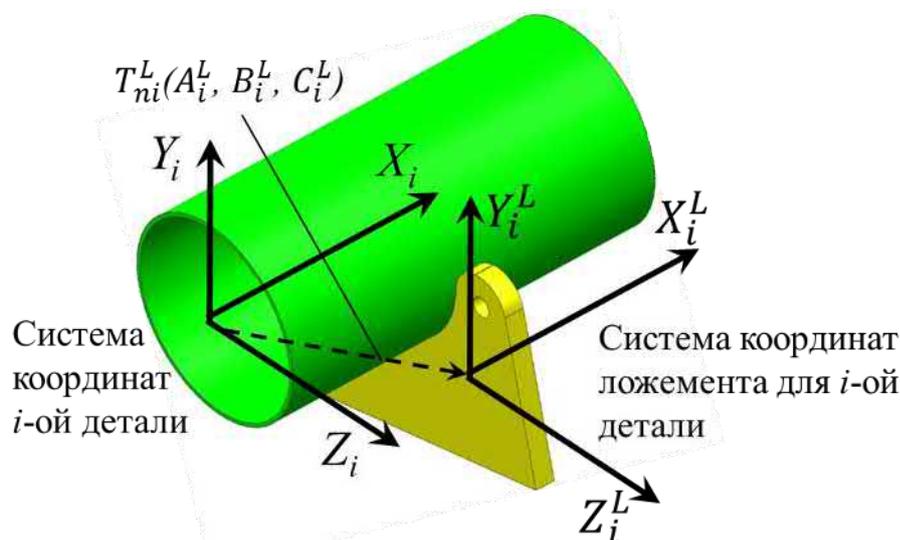


Рис. 3.26 Зависимость СК  $i$ -ой детали и соответствующего ложеента

Рассмотренные преобразования СК деталей и ложементов для краткости были приведены без учета поворота СК. Далее рассмотрим преобразования СК с учетом линейного перемещения и поворота вокруг своей оси.

Учет углов поворота СК целесообразно производить с помощью углов Эйлера. Для нашего случая будем использовать следующую последовательность поворотов (рис. 3.27):

- 1) поворот на угол  $\psi$  вокруг оси  $OX$ ;
- 2) поворот на угол  $\theta$  вокруг оси  $OY$ ;
- 3) поворот на угол  $\varphi$  вокруг оси  $OZ$ .

Матрица поворота для выбранной последовательности будет иметь вид:

$$M(\varphi, \theta, \psi) = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \theta & \cos \varphi \sin \psi \sin \theta - \sin \varphi \cos \psi & \cos \varphi \sin \theta \cos \psi - \sin \varphi \sin \psi \\ \sin \varphi \cos \theta & \sin \varphi \sin \psi \sin \theta + \cos \varphi \cos \psi & \sin \varphi \sin \theta \cos \psi - \cos \varphi \sin \psi \\ -\sin \varphi & \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

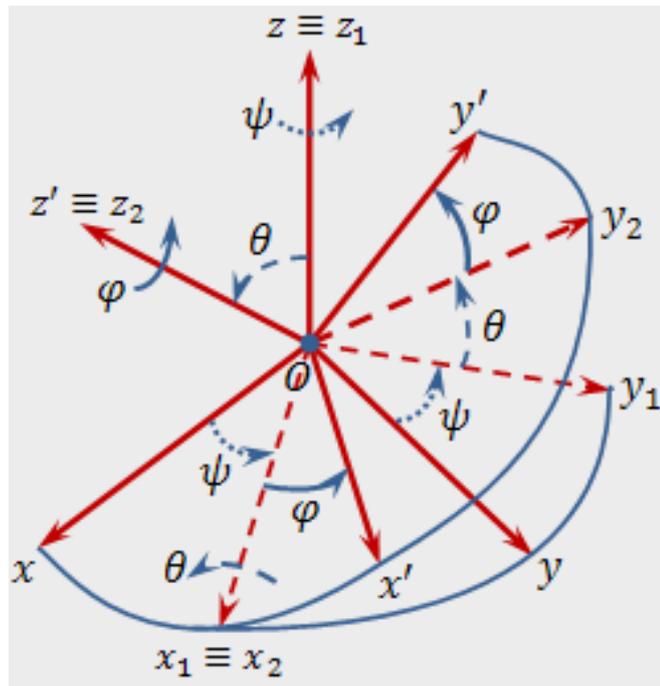


Рис. 3.27 Вращение СК через углы Эйлера

Тогда матрицу перехода из базовой СК в СК детали трубопровода, оснастки или сварочного робота с учетом линейных и угловых смещений в общем виде можно представить:

$$R = \begin{bmatrix} M & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

где  $M$  – матрица поворота размерностью  $3 \times 3$ , приведенная в формуле 3.4. Данная матрица задает поворот базовой СК относительно СК объекта с помощью направляющих косинусов.

Результирующая матрица преобразования, связывающая СК с учетом поворота в развернутом виде будет иметь имеет вид:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \theta & \cos \varphi \sin \psi \sin \theta - \sin \varphi \cos \psi & \cos \varphi \sin \theta \cos \psi - \sin \varphi \sin \psi & A \\ \sin \varphi \cos \theta & \sin \varphi \sin \psi \sin \theta + \cos \varphi \cos \psi & \sin \varphi \sin \theta \cos \psi - \cos \varphi \sin \psi & B \\ -\sin \varphi & \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

где  $A, B, C$  – величины линейного смещения центра новой оси координат.

Приведенные матрицы поворота можно использовать так же для преобразований СК деталей и ложементов в случае наличия поворота вокруг оси или осей.

Кроме согласования СК детали и оснастки так же требуется производить согласование с СК робота. Матрицу перехода для сварочного робота с учетом поворота СК можно записать в виде:

$$R_{ni}^R = \begin{bmatrix} M_i^R & T_i^R \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

где  $M_i^R$  – матрица поворота для СК сварочного робота относительно СК оснастки;

$T_i^R$  – матрица перехода для СК сварочного робота относительно СК оснастки.

Теперь с учетом расположения робота относительно оснастки можно записать пересчет точек сварки из СК оснастки в СК робота.

$$W_n^{Rij} = R_{ni}^R \times W_n^{ij} \quad (3.8)$$

где  $W_n^{ij}$  – точка сварки  $i$ -ой и  $j$ -ой деталей в СК оснастки;

$W_n^{Rij}$  – точка сварки в СК робота.

Здесь матрицы  $W_n^{ij}$  и  $W_n^{Rij}$  имеют вид:

$$\begin{bmatrix} X_1^{ij} & \dots & X_k^{ij} & A^{ij} \\ Y_1^{ij} & \dots & Y_k^{ij} & B^{ij} \\ Z_1^{ij} & \dots & Z_k^{ij} & C^{ij} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Переход от СК оснастки (ложемента) к СК сварочного робота и точкам сварки, которые задаются траекторией движения инструмента, приведен на рисунке 3.28.

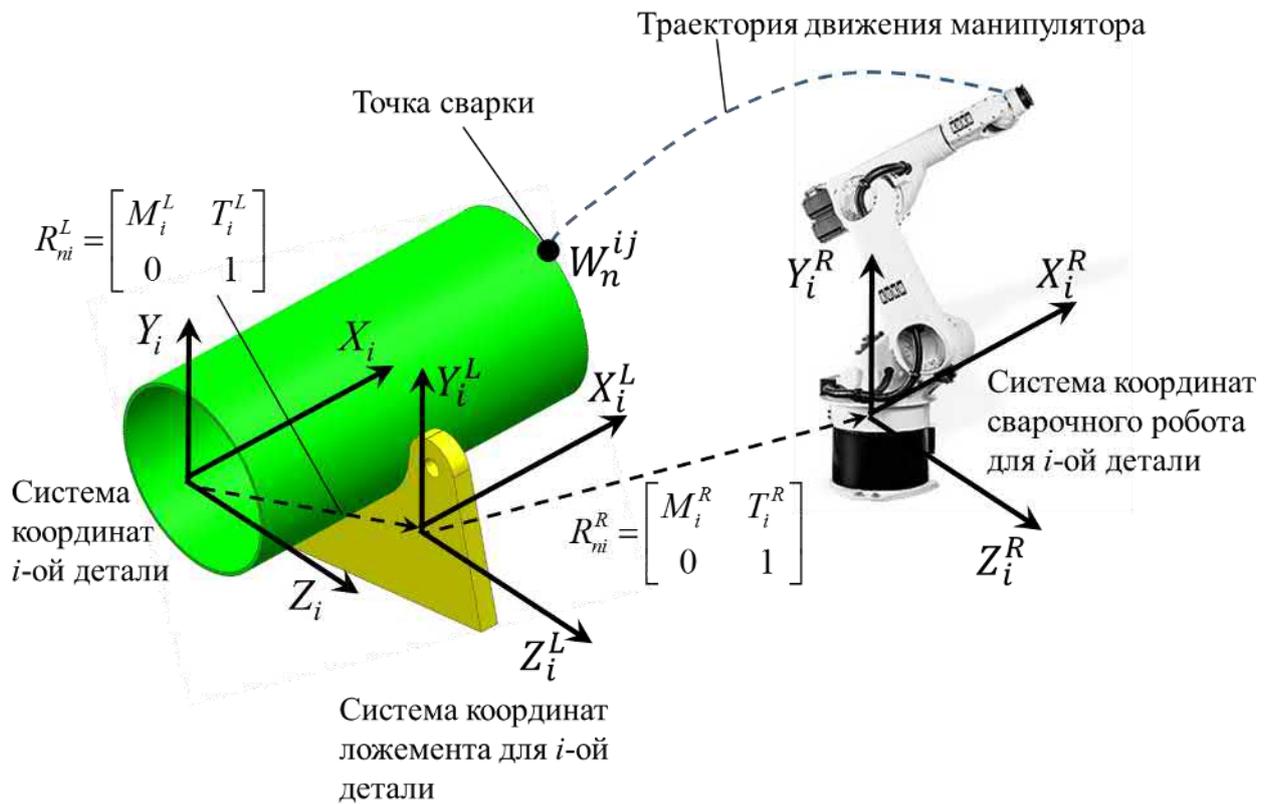


Рис. 3.28 Зависимость СК оснастки, сварочного робота и точки сварки

Из рисунка 3.28 видно, что при отклонении положения СК оснастки и сварочного робота будут смещаться точки сварки, что может привести к возникновению погрешностей, т.к. запрограммированная траектория движения манипулятора выполняется в СК сварочного робота.

Поэтому в производственном процессе, после установки оснастки и при настройке сварочного робота необходимо ввести поправочные коэффициенты для точек сварки ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) или произвести их пересчет по формуле:

$$W_{nk}^{Rij} = R_{kij}^R \times W_n^{Rij} \quad (3.10)$$

где  $W_{nk}^{Rij}$  - точка сварки  $i$ -ой и  $j$ -ой деталей в СК сварочного робота после корректировки;

$R_{kij}^R = \begin{bmatrix} M_{kij}^R & T_{kij}^R \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$  - матрица перехода, учитывающая погрешность

позиционирования оснастки относительно сварочного робота.

Общая схема увязки СК, отражающая взаимосвязь деталей, узлов, оснастки, сварочного робота и точек сварки на различных этапах ЖЦ ЛА приведена на рисунке 3.29.

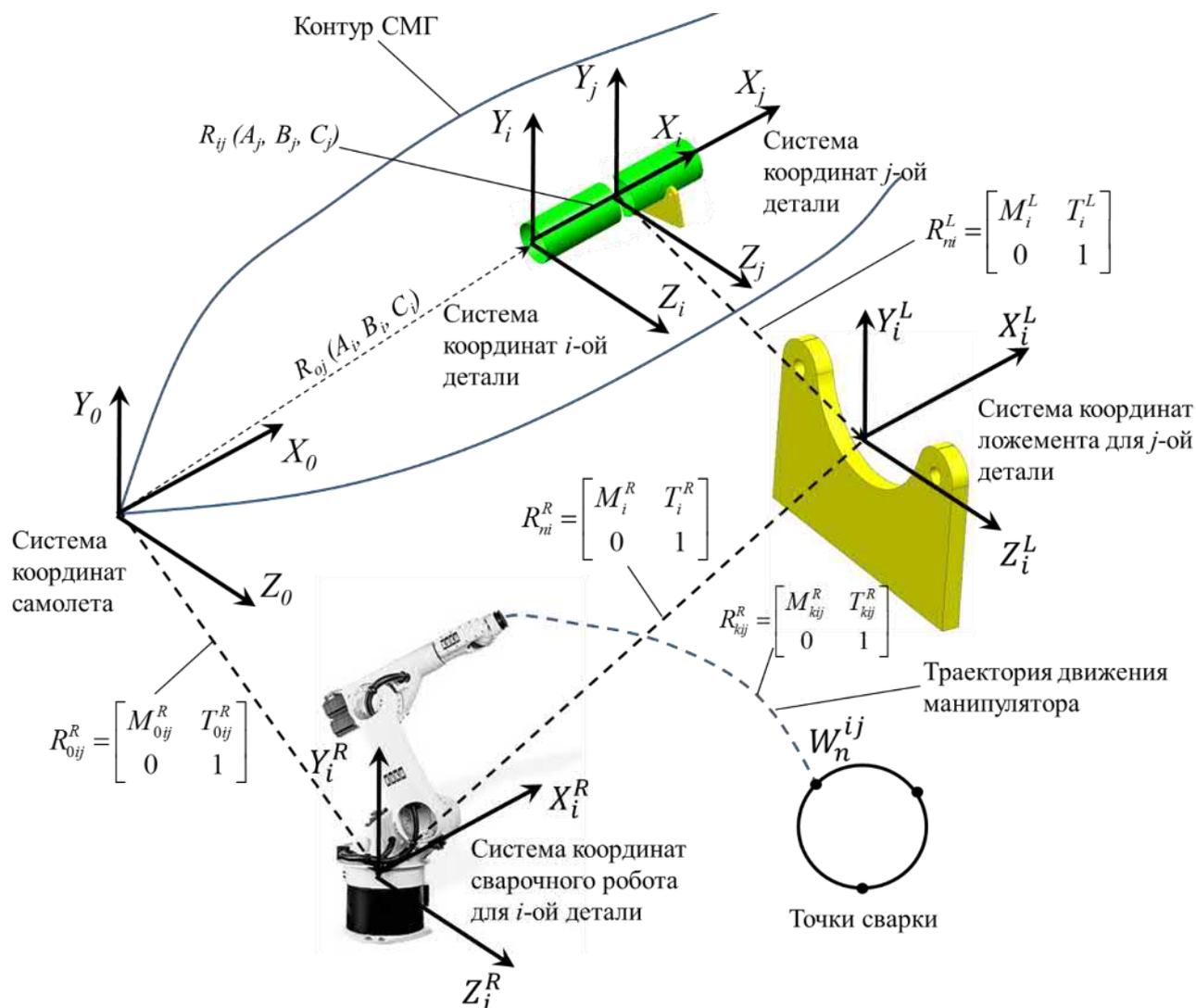


Рис. 3.29 Общая схема увязки СК

Приведенная выше связь СК позволяет при помощи матричных вычислений производить согласование между деталями, оснасткой, промышленным роботом, точками сварки с переходом выхода на координаты в СМГ самолета и возможностью производить корректировки траектории движения сварочного робота из-за отклонений взаимного расположения сварочного робота и оснастки.

## Выводы по третьей главе

1. Разработанный метод прецедентно-ориентированной интеграции геометрических моделей позволил перейти к комплексному информационно-онтологическому сопровождению основных этапов ЖЦ проектирования и сборки узлов трубопроводов ЛА, включая обеспечение корректности позиционирования деталей и сборок узлов трубопроводов.

2. Разработанная прикладная онтология части ЖЦ трубопроводов систем ЛА, ориентирована на стадии проектирования деталей, узлов и этап КТПП их узловой сборки, в том числе и с использованием сварочного робота, что положительно скажется на уровне автоматизации процесса подготовки производство на этапах разработки СТО, ТП и КП для сварочного робота.

3. Разработаны методики поддержки процессов КТПП на этапах создания документов, этапах проектирования СТО и разработки УП для сварочного робота с использованием инструментально-моделирующей среды WIQA, что позволяет инженерам на своих рабочих местах получать доступ к онтологии профессионального опыта, а также производить концептуальное экспериментирование и моделирование принятых технических решений на предмет ошибок и аккумулировать профессиональный опыт в виде единиц прецедентов профессионального опыта.

4. Проведение концептуального экспериментирования создания технологической документации, проектирования оснастки и разработки УП позволяет выбирать оптимальные решения, с производственной точки зрения, из базы профессионального опыта, непрерывно пополнять базу опыта и выдавать рекомендации и замечания задействованному персоналу в процессе технологической подготовки производства до материализации КД в металле и до отработки технологии на первом образце, что положительно скажется на сроках освоения новых изделий и затратах на подготовку производства.

5. Разработан метод согласования СК для деталей, узлов и СТО, в том числе и с учетом роботизированной сварки для различных этапов ЖЦ трубопровода ЛА. Данная методика позволяет производить привязку к МГ и учитывать накопление погрешностей на разных этапах ЖЦ и влияние данных погрешностей на возможность установки трубопровода в каркас планера, что позволяет обеспечить требуемые характеристики позиционирования деталей при сборке, а так же позволяет производить корректировку погрешностей, возникающих при позиционировании СТО относительно положения сварочного промышленного робота при выполнении технологических операций.

## **Глава 4. Комплекс средств онтологической поддержки процесса конструкторско-технологической подготовки сборки трубопроводов**

### **4.1. Компонентный состав методического обеспечения**

Ключевое место в компонентном составе для работы с прецедентами при проектировании сборки узлов трубопроводных систем ЛА занимает комплекс онтологической поддержки, организованный на базе инструментально-моделирующей среды WIQA.

В состав данного комплекса включены следующие компоненты: с

- САПР Siemens NX в которой осуществляется проектирование деталей, узлов трубопроводов и СТО;
- Система FreeCAD, в рамках которой и осуществляются операции по разработке УП для сварочного робота;
- вопросно-ответной моделирующей среды WIQA, позволяющей работать с прецедентами.

Этапы ЖЦ распределены по конкретным подразделениям, которые так же могут находиться друг от друга на большем расстоянии или, даже в других городах, в случае разделения КБ разработчика ЛА и завода изготовителя, а также большего числа предприятий кооперантов. Поэтому рационально выделить ниже следующие компоненты системы, схема которой обобщенно представлена на рисунке 4.1 и ее архитектуру на рисунке 4.2:

1. Разработка деталей и узлов трубопровода с присвоением геометрического и спискового описания
2. Формирование ТП сборки трубопровода;
3. Сохранение ТП в базе данных;
4. Разработка ТЗ на УП.
5. Сохранение ТЗ в базе.
6. Создание УП инженерами-программистами отраслевых отделов и её сохранение в базе данных.
7. Нормирование ТП сотрудниками БТЗ цеха изготовителя.

8. Формирование заявки на сварку трубопровода сотрудниками ПДБ.
9. Контроль трубопровода на контрольно-измерительной машине (КИМ) и сохранение результатов контроля в базе данных

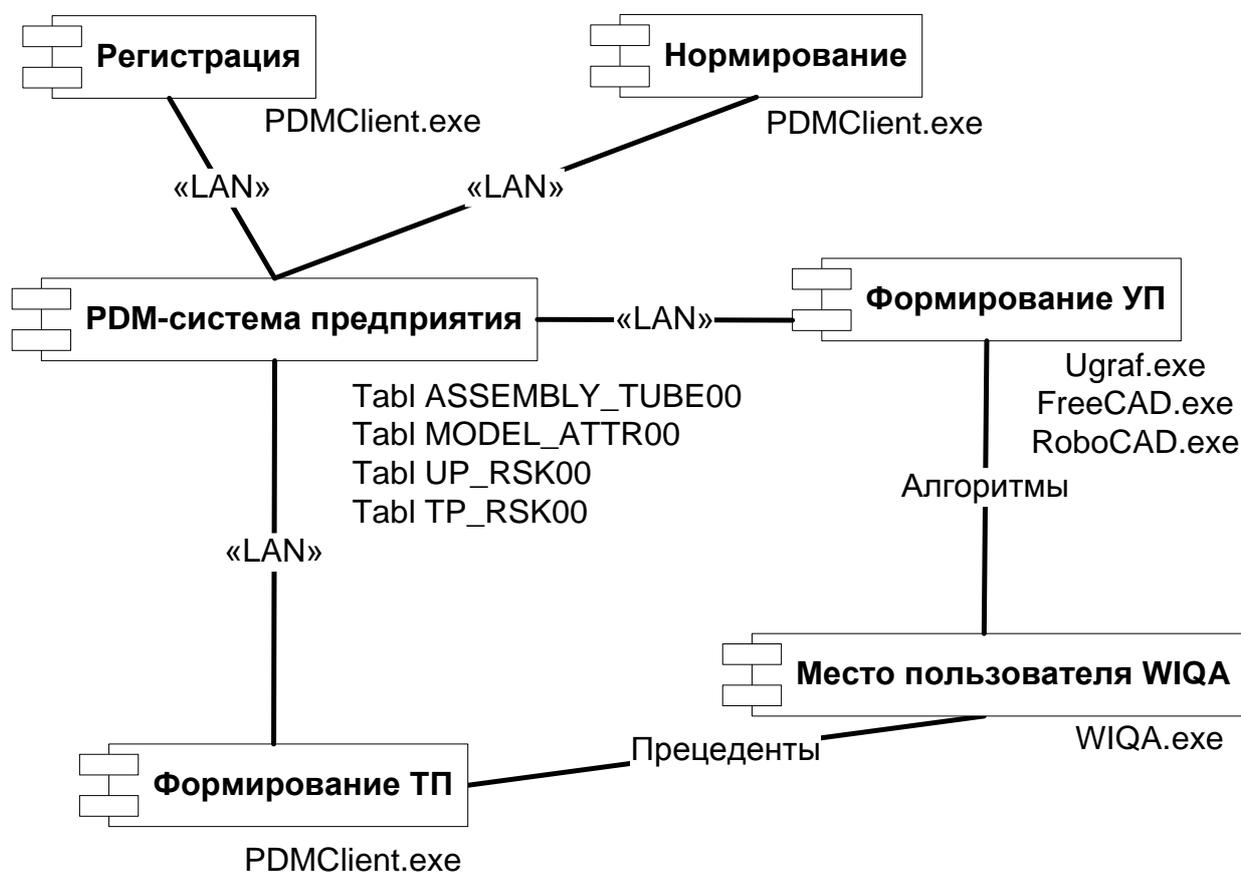


Рис. 4.1 Компонентный состав системы в рамках ИС завода

На каждое рабочее место устанавливается клиент инструментально-моделирующей среды WIQA на базе которой организована работа с прикладной онтологией и базой профессионального опыта.

Далее пользователь входит в среду базы данных, где хранится ТП. Проектирование прецедентов ТП начинается с формирования на узлах сети, находящихся на рабочих местах в отраслевых отделах и ТБ цеха изготовителя. После чего на основе прецедентов деталей и узлов трубопроводов создается прецедент ТЗ на проектирование СТО.

Затем инженер-конструктор СТО создает прецедент оснастки, на основании входной информации в виде ЭЖД и ТП.

Далее инженер-программист сварочного робота, руководствуясь ЭМСЕ трубопровода и ТП, создает прецедент УП, после чего формирует УП, а также файлы для контроля.

При необходимости ТП распечатывается на принтере. БТЗ нормирует ТП сборки. ПДБ дает заявку на изготовление трубопровода. Изготовленный трубопровод проходит проверку на КИМ.

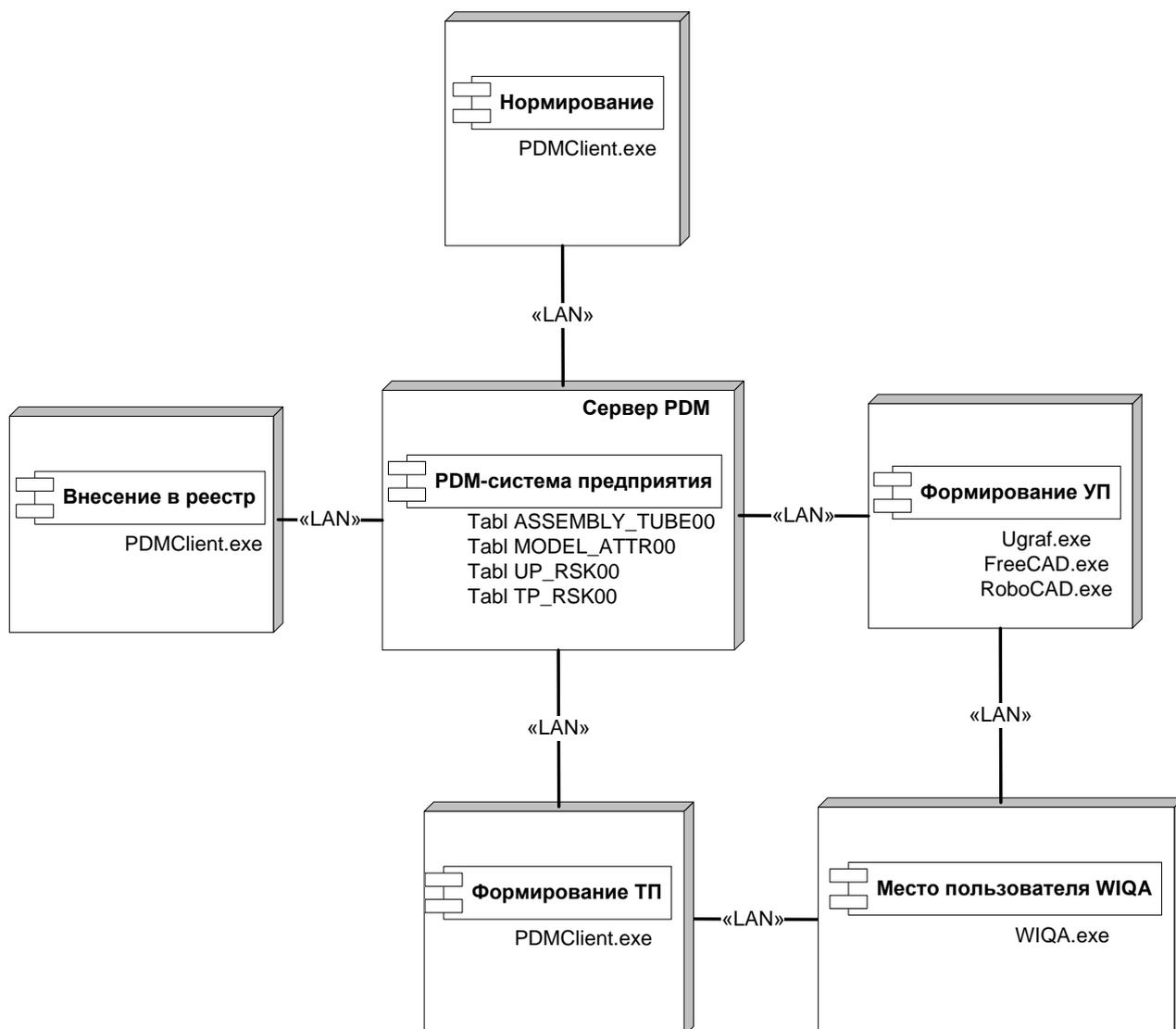


Рис. 4.2 Архитектура проектируемой системы в рамках ИС завода

Рассмотрим диаграмму последовательности (рис. 4.3) на которой отражены взаимосвязи и места взаимодействий тех или иных компонентов системы, в рамках процесса КТПП на этапах проектирования СТО и разработки УП для роботизированной точечной сварки.

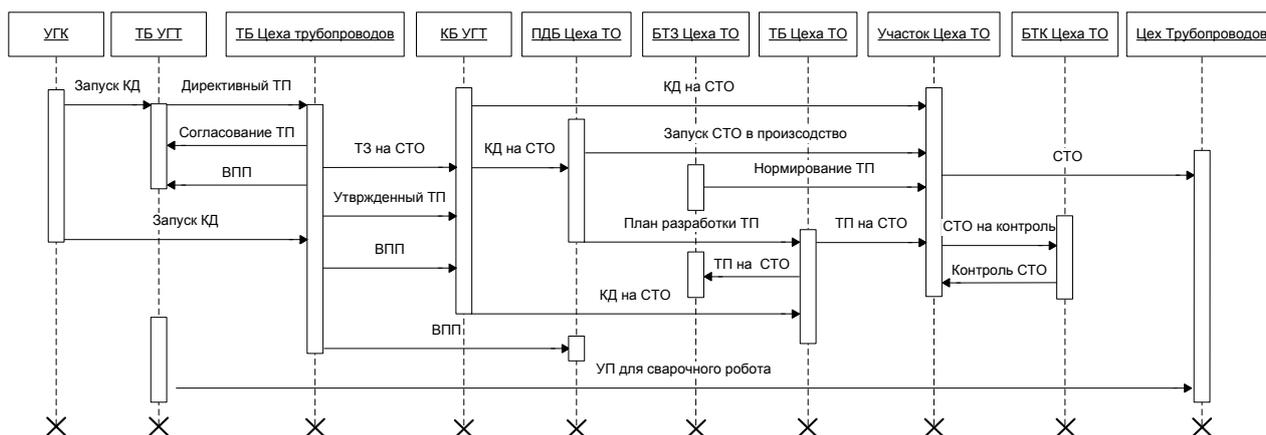


Рис. 4.3 Диаграмма последовательности действий в ЖЦ КТПП

Далее сформируем диаграмму вариантов использования онтологических словарей. Выделим два основных варианта работы:

1. Работа непосредственно в классификаторе деталей, сборок узлов трубопроводов и СТО. В данном случае проектировщик сразу может определить, к какому классу относится его узел трубопровода и подобрать оптимальный вариант СТО, необходимого для сборки узла трубопровода с требуемой точностью по ЭКД.

2. Работа с онтологическим словарем признаков. В данном случае работа по формированию прецедентов начинается с нуля, либо создаются новые прецеденты из фрагментов уже имеющихся прецедентов в базе профессионального опыта. Алгоритмы работы по созданию новых прецедентов были описаны ранее в главе 3.

Из диаграммы вариантов использования онтологических словарей, представленной на рисунке 4.4. видно, что взаимодействие человека с комплексом средств онтологической поддержки происходит на всем временном отрезке работы элементов комплекса в автоматизированном режиме, однако, снижается трудоемкость получения конечного результата за счет удобства доступа к базе профессионального опыта в реальном времени, а так же появляются новые возможности, связанные с концептуальным моделированием действий проектировщика, что в свою очередь положительно влияет на снижения количества технических ошибок.

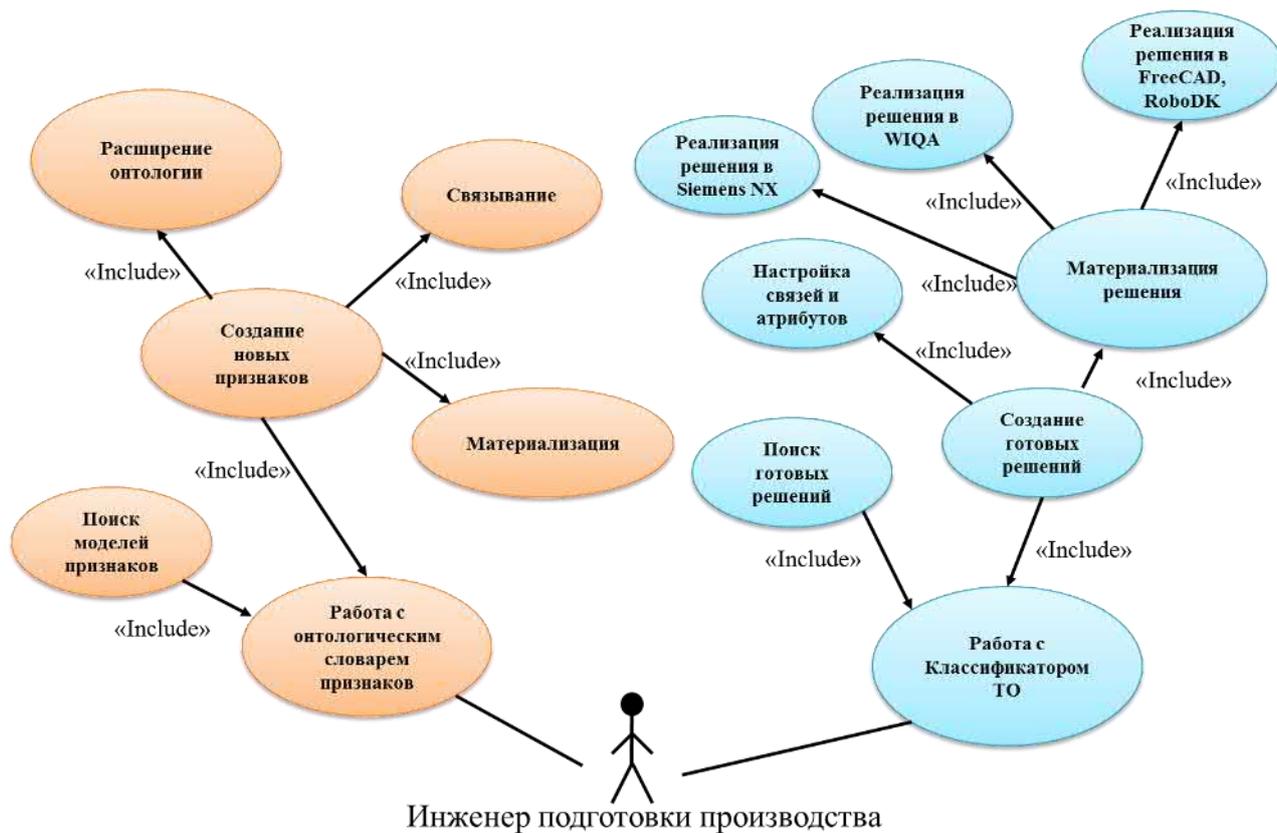


Рис. 4.4 Диаграмма вариантов использования онтологических словарей

## 4.2. Разработка рекомендаций по созданию классификационной структуры трубопроводов, оснастки и УП для сварочного робота для сборки трубопроводов

При классификации определяющим является признак «Геометрический», как наиболее стабильный и объективный при описании деталей и сборок трубопроводов, а также оказывающий основное влияние на разработку СТО, ТП или УП для сварочного робота.

В случае добавления нового типа или вида деталей и сборок трубопроводов классификатор может расширяться и дополняться в реальном времени.

Далее рассмотрим технологические приемы и структурные взаимосвязи построения СТО для сборки трубопроводов, а также представим практическую реализацию элементов комплекса средств онтологической поддержки процессов КТПП для сборки деталей трубопроводов систем ЛА в узлы сваркой.

На рис. 4.5 представлен один из прецедентов СТО в среде WIQA.

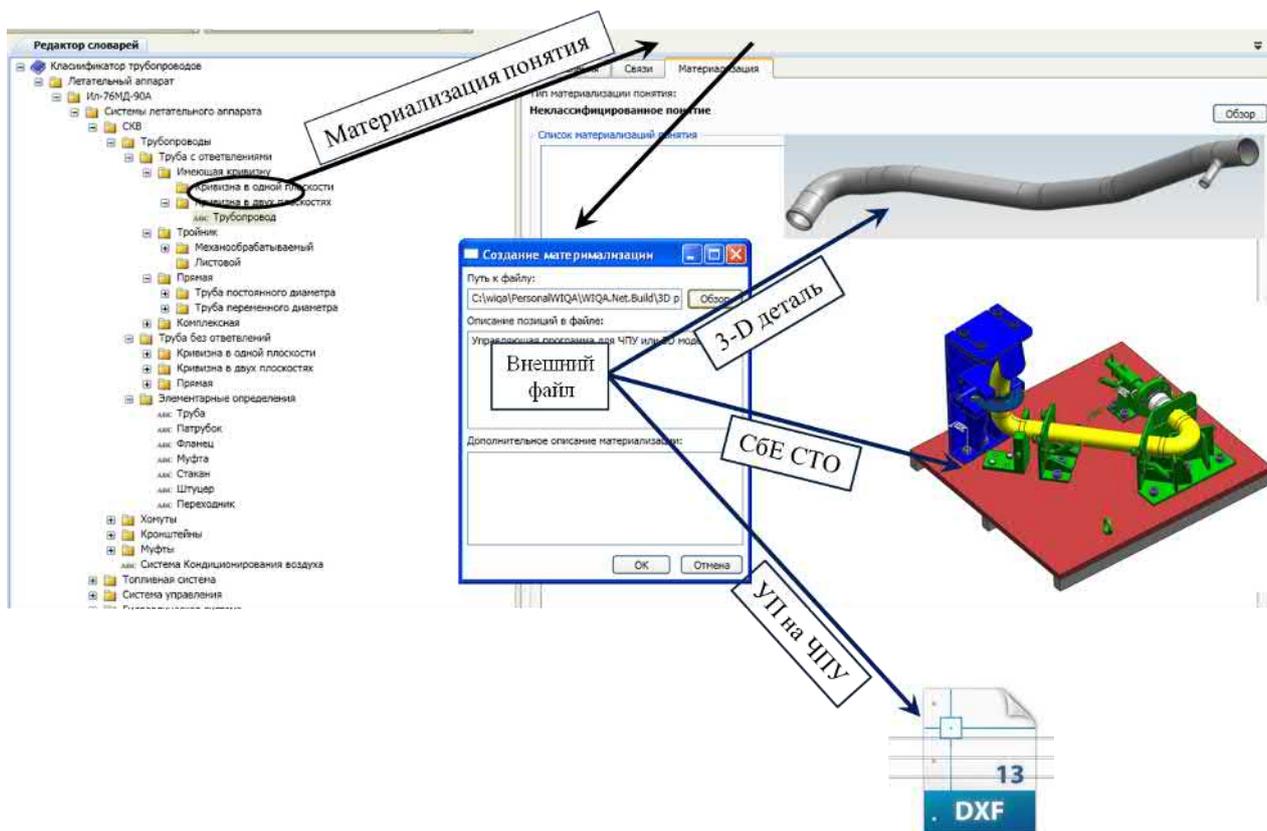


Рис. 4.5 Представление прецедента СТО в WIQA

Инструментарий вопросно-ответной среды WIQA позволяет производить материализацию принятых технических решений в виде эскизов прообраза будущей оснастки.

Данный подход позволяет получить первичный концептуальный прообраз будущей оснастки, который может быть с успехом использован инженерами отраслевых отделов и уже на стадии предварительного проектирования можно заложить все необходимые требования к оснастке в виде ТЗ, тем самым повысив степень ее эргономичности и рациональности, т.к. конструктор получит четкие указания о том, какая именно оснастка требуется цеху для сборки заданного узла трубопровода.

На рисунке 4.6 представлена материализация прецедента составного ложементов из нескольких элементов для фиксации детали трубопровода в вопросно-ответной среде WIQA.

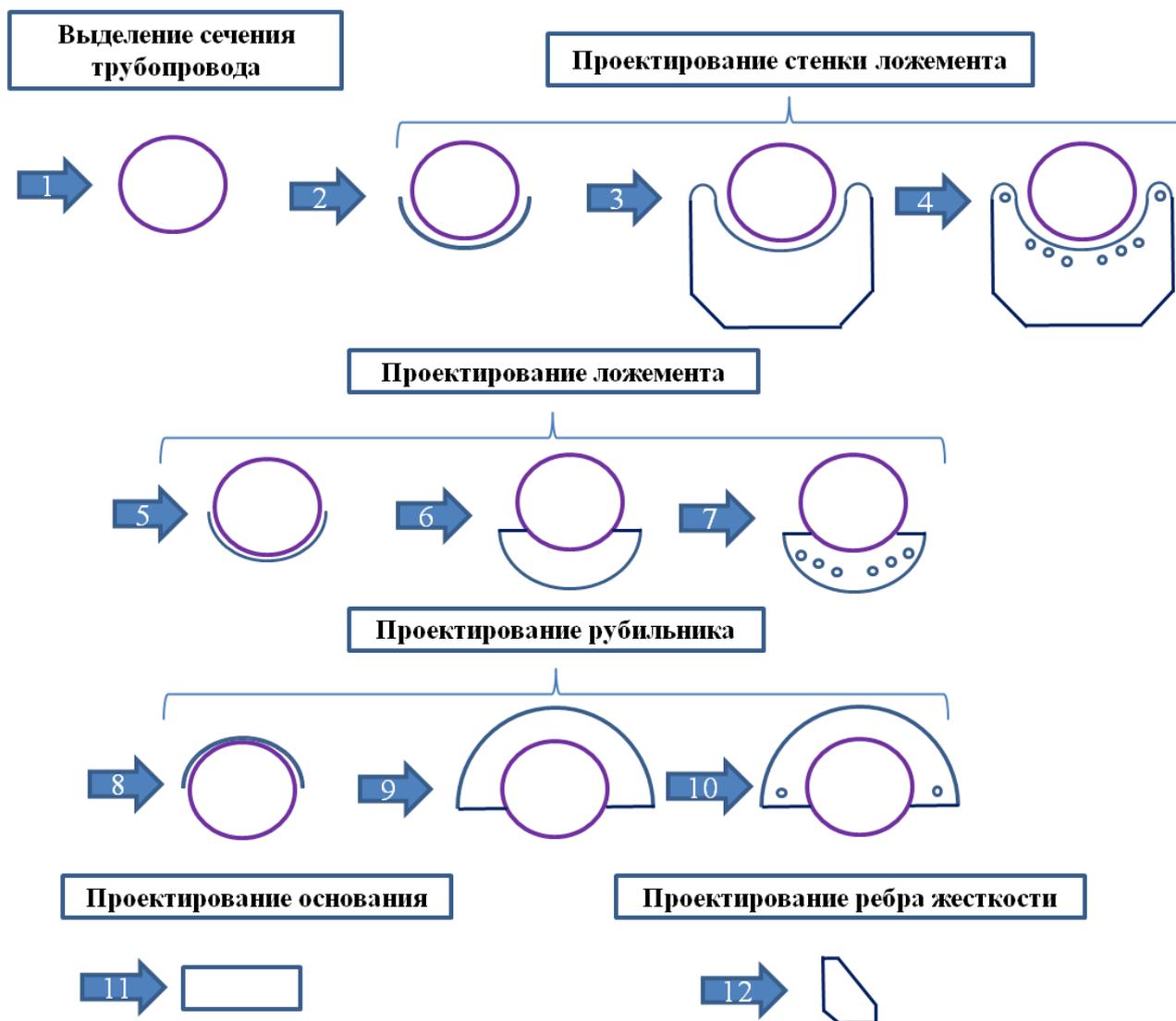


Рис. 4.6 Материализация процесса проектирования ложеента в WIQA

Аналогичным способом представляется прецедент УП для сварочного робота в WIQA. При разработке УП особое внимание уделяется расположению сварочного инструмента относительно точек сварки, а также возможность его подвода и вывода в рабочую зону при используемой ТО. На данной операции основную роль играет геометрия собираемого узла трубопровода, а также геометрия СТО.

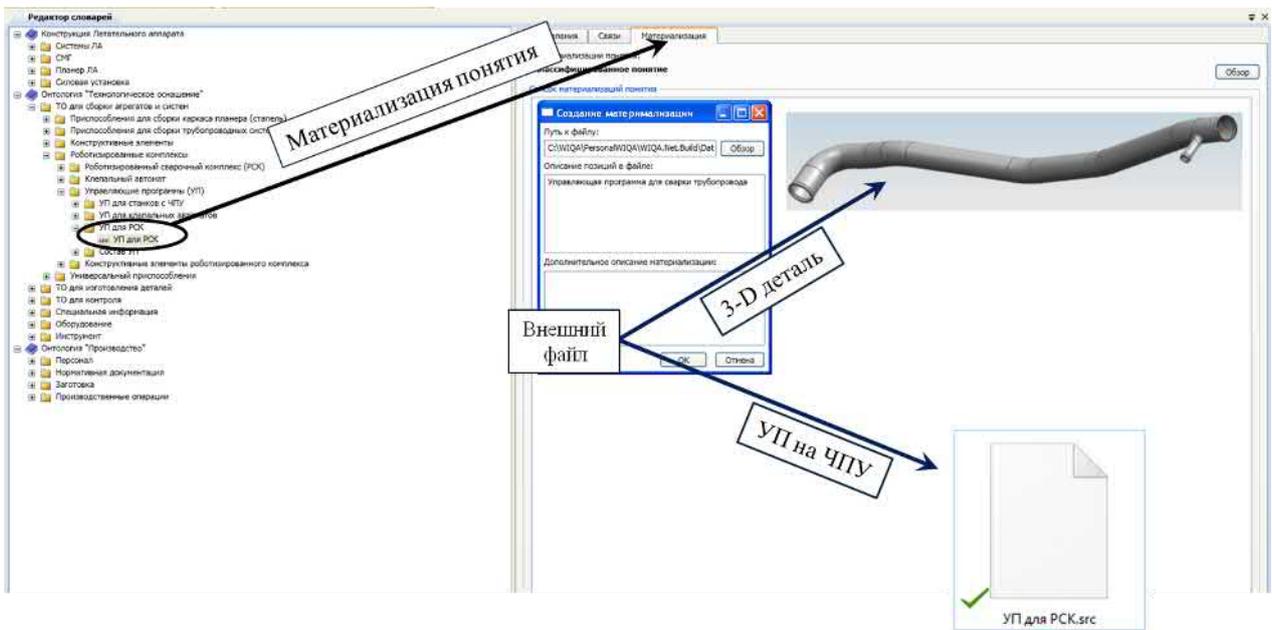


Рис. 4.7 Представление прецедента УП для сварки трубопровода в WIQA

Далее на рисунке 4.8 представляется материализация процесса разработки УП для сварки роботом в WIQA. В отличие от проектирования СТО при разработке УП не создается КД на ТО, а инженером задается траектория движения манипулятора для точечной сварки в виде набора команд последовательного перемещения сварочного инструмента.

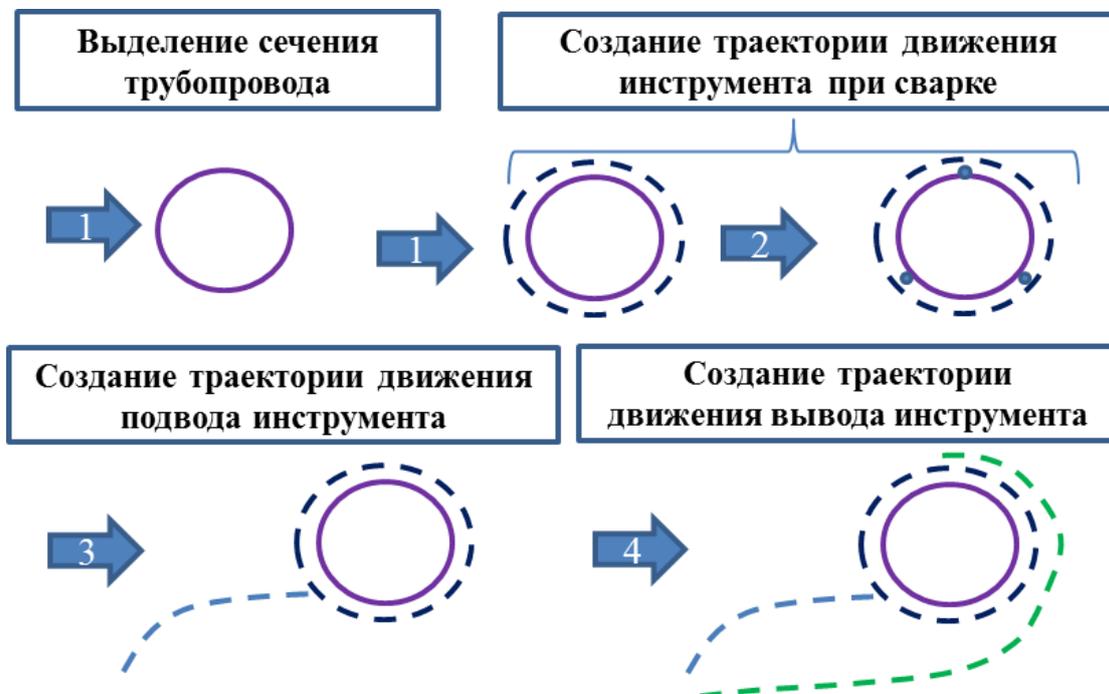


Рис. 4.8 Материализация процесса разработки УП для сварки в WIQA

Далее рассмотрим использование разработанного классификатора для процессов ЖЦ трубопровода ЛА на этапе КТПП и узловой сборки.

Основное использование классификатора состоит в поиске по классификационному коду деталей и сборок узлов трубопроводов, а также СТО.

При классификации оснастки в основном используются функциональный и конструктивный признаки, признак "Наименование" и др. Определение кода классификационной характеристики производится по геометрическим параметрам собираемого узла трубопровода, представленного в виде скелетной геометрической модели и спискового описания.

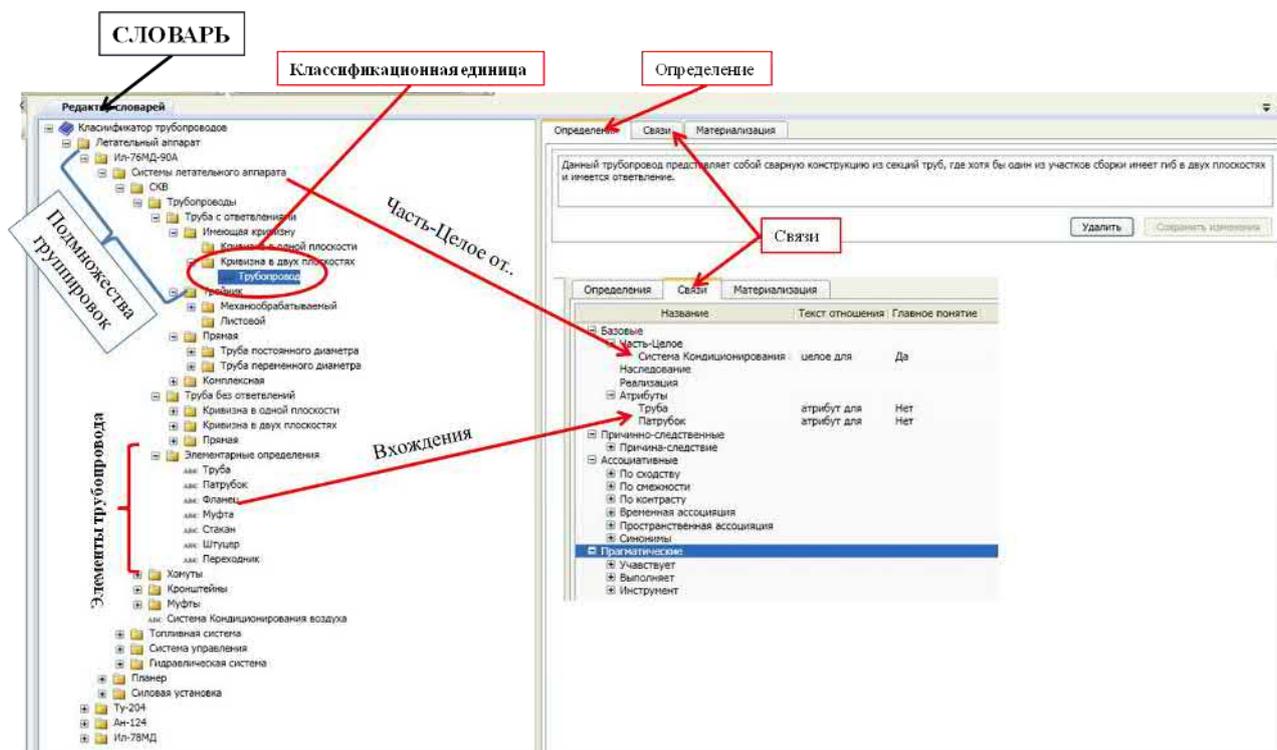


Рис. 4.9 Секции онтологии в WIQA

Далее рассмотрим добавление дополнительных атрибутов В ЭМ на примере детали типа «Труба прямая» и сборочной единицы «Трубопровод прямой». Для всех остальных типов деталей и сборочных единиц дополнительные атрибуты будут формироваться аналогичным образом.

Для начала производится анализ геометрических параметров рассматриваемой детали, выбирается соответствие по классификатору деталей трубопроводов в приложении 6 и записывается атрибут «KLASSIF\_ID» со значением «0010000000000000» и атрибут, содержащий тех. индекс для краткости записи и более простого чтения человеком «ТЕН\_ID» со значением «ДТ01».

Затем формируется списковое представление детали по описанному ранее алгоритму и записывается в атрибут «SPISK\_ID» со значением «47601.6543.210.001.002; 21541.0021; 21546.1254; 14556.4451 \$ 21541.0021; 21546.1254; 14556.4451»

Пример заполнения атрибутов для детали типа «Труба прямая» приведен на рисунке 4.10.

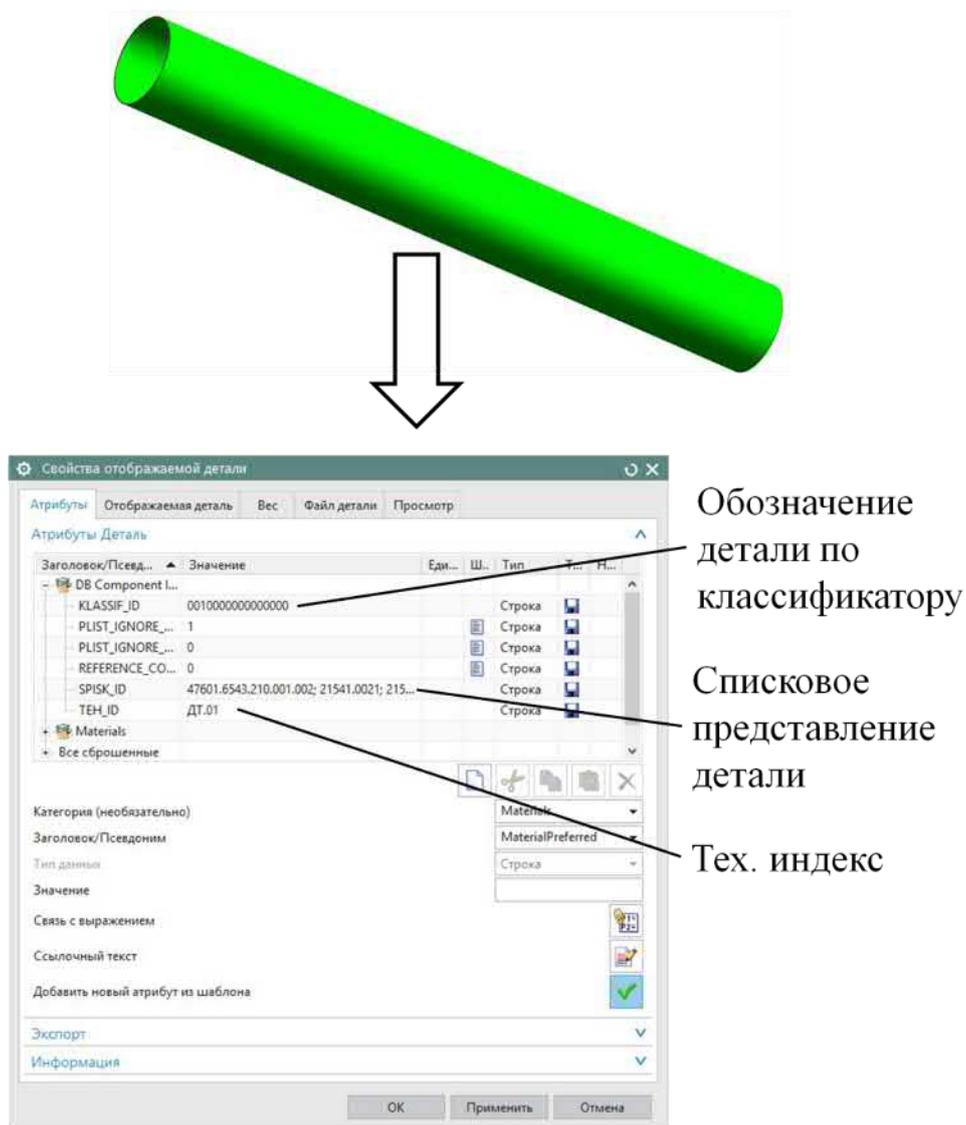


Рис. 4.10 Новые атрибуты для детали типа «Труба прямая»

Для сборочной единицы классификационный атрибут формируется после анализа всех входящих в данную единицу деталей. Пусть сборка типа «Трубопровод прямой» состоит из деталей типа «Труба прямая» и «Фланец», тогда атрибут «KLASSIF\_ID» будет иметь значение «0110000000100000», атрибут «ТЕН\_ID» - значение «ТПП01ДТ01ДТ09» а атрибут «SPISK\_ID» - значение «47601.6543.210.001.002; 21541.0021; 21546.1254; 14556.4451 \$

21541.0021; 21546.1254; 14556.4451 R 47601.6543.210.001.004; 20548.5640;  
2547.3654; 14556.4451 \$ 21541.0021; 26544.1254; 12456.9785»

Пример заполнения атрибутов для сборки типа «Трубопровод прямой» приведен на рисунке 4.11.

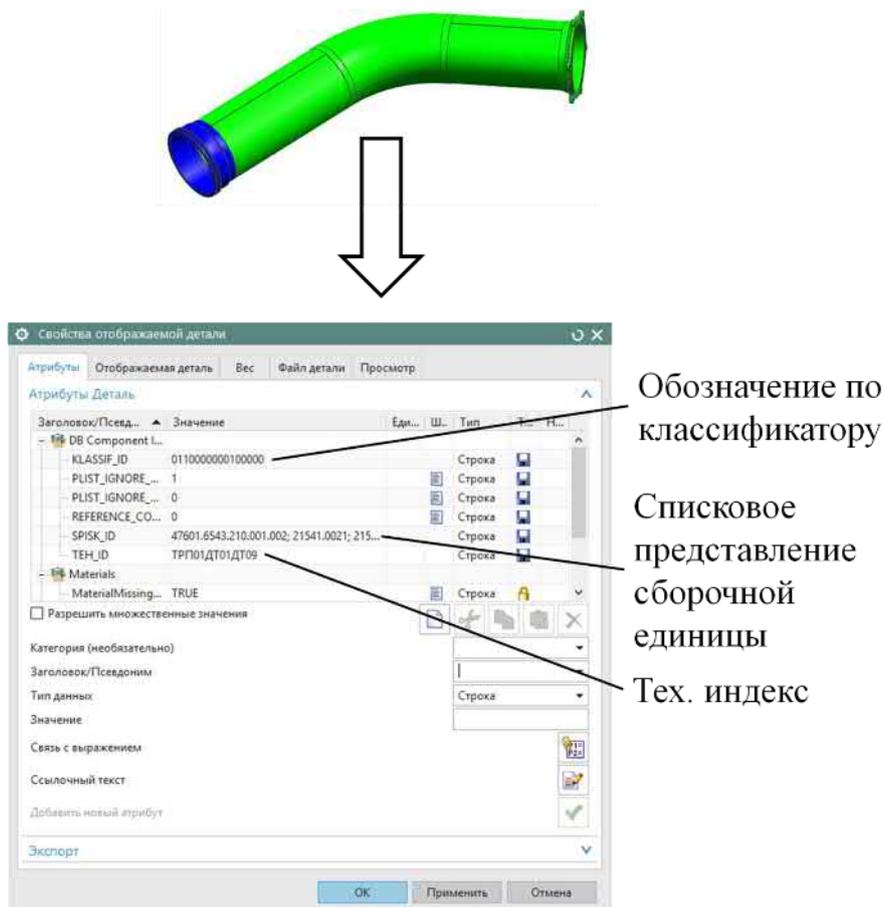


Рис. 4.11 Добавленные атрибут для сборки типа «Трубопровод прямой»

Добавленные атрибутные расширения используются в качестве ключей для поиска и структурирования моделей прецедентов в онтологии.

### 4.3. Разработка рекомендаций по согласованию систем координат

Ранее были рассмотрены теоретические основы по согласованию СК с использованием СМГ самолета.

Далее рассмотрим несколько вариантов инструментальной реализации такого согласования с помощью ТО и существующих измерительных инструментов.

В качестве первого варианта рассмотрим использованием различного контрольно-измерительного оборудования для непосредственного контроля геометрии деталей и узлов. В этом случае при помощи КИМ контролируется

геометрия сопрягаемых деталей и результаты измерений сопоставляются с имеющейся ЭМ. При сборке деталей нивелировка погрешности позиционирования собираемых деталей относительно друг друга производится с помощью лазерного трекера. Для этого на деталях устанавливают реперные узлы или специальные реперные точки.

Приведенный выше способ является самым точным, но имеет ряд ограничений, связанных с возможностями имеющихся на предприятии оборудованием. Установка дополнительных реперных узлов или реперных точек приводит к необходимости выполнения дополнительных технологических операций, что, в совокупности с применением специализированного оснащения, позволяющего регулировать расположение деталей относительно друг друга приводит к увеличению стоимости.

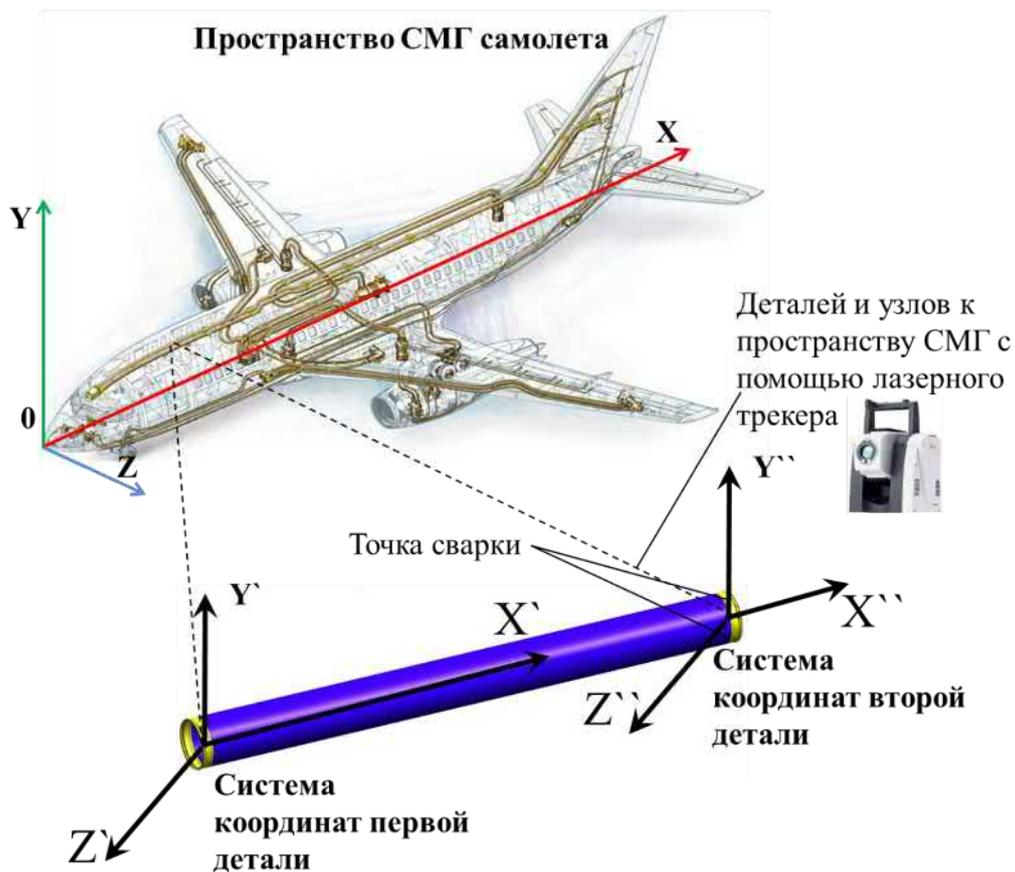


Рис. 4.12 Схема увязки деталей и узлов с пространством СМГ самолета

Вторым способом увязки собираемых деталей в узлы является увязка с помощью ТО, применяемого для сборки. В этом случае при проектировании СТО в конструкции предусматриваются различные фиксаторы и ограничители, которые увязаны с ЭМ и изготавливаются с высокой точностью. При

использовании такого СТО фланцы трубопровода фиксируются по внутреннему диаметру на опорной поверхности и зажимается по внешней поверхности фиксаторами с точностью, входящей в допуск на сборку. Пример такой фиксации приведен на рисунке 4.13.

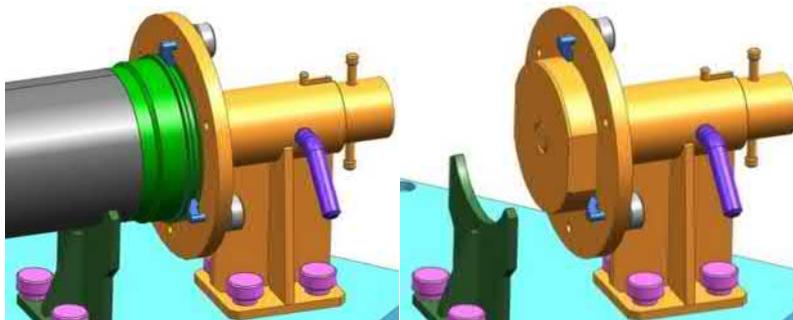


Рис. 4.13 Фиксация фланца трубопровода

Для повышения точности такого способа на основании оснастки устанавливают реперные узлы для связи с геометрическим пространством ЛА.

В этом случае точность увязки будет зависеть от погрешности размещения фиксаторов относительно реперных узлов.

Увязка СК узла трубопровода с пространством СМГ самолета при помощи реперных узлов на СТО представлено на рисунке 4.14.



Рис. 4.14 Схема увязки СТО с пространством СМГ самолета

Далее рассмотрим применение увязки СТО с промышленным роботом, но для начала рассмотрим существующие способы программирования траектории движения манипулятора.

В практике программирования промышленных роботов применяют два основных способа разработки УП:

- онлайн-программирование, когда программа пишется на рабочем месте при непосредственном взаимодействии программиста или оператора с роботом
- офлайн-программирование, когда УП разрабатывается с использованием специального программного обеспечения на рабочем месте инженера-программиста, а затем загружается в сварочного робота.

При онлайн-программировании все необходимое ТО на момент разработки УП уже должно быть изготовлено.

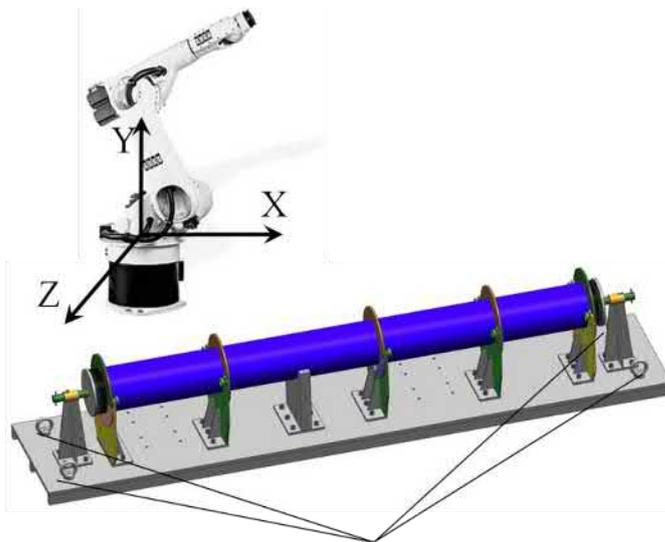
Рассмотрим алгоритм работы при онлайн-программировании роботизированного сварочного комплекса при сборке трубопроводов:

1. Первым этапом производится установка ТО для фиксации деталей трубопроводов в рабочую зону сварочного робота. При этом должно выполняться условие доступности точек сварки для сварочного робота, иначе ТО придется перепозиционировать, что приведет к увеличению погрешности задания координат и для устранения этой погрешности возникнет необходимость в более частых корректировках УП.

2. Вторым этапом устанавливаются детали трубопровода в ТО и фиксируются.

3. Третьим этапом производится согласование СК робота и ТО. Для этого при помощи лазерного трекера или измерительного щупа снимаются координаты реперных точек на ТО, т.е. задается позиционирование оснастки относительно робота.

4. Четвертым этапом оператор сварочного робота последовательно подводит манипулятор к каждой точке сварки и сохраняет координаты его положения (рис. 4.15).



Считываются координаты реперных точек с помощью лазерного трекера

Рис. 4.15 Считывание координат реперных точек оснастки

5. Пятым этапом производится проверка УП и при необходимости вносятся корректировки. Затем УП сохраняется в БД предприятия для повторного использования.



Рис. 4.16 Ручное задание точек сварки

Основное преимущество такого способа программирования заключается в простоте подхода к программированию сварочного робота. Не нужно знать специализированные языки программирования промышленных роботов и использовать дорогостоящее программное обеспечение, а достаточно показать роботу последовательность положений манипулятора.

Отсюда следует и основной недостаток данного способа, который заключается в значительных затратах времени на программирование при большой номенклатуре свариваемых трубопроводов и большой трудоемкости внесения корректировок в УП при изменении КД на детали и сборки трубопроводов или отработке ТП. Кроме этого, сварочный робот во время обучения не может быть задействован в работе.

Далее рассмотрим офлайн-программирование.

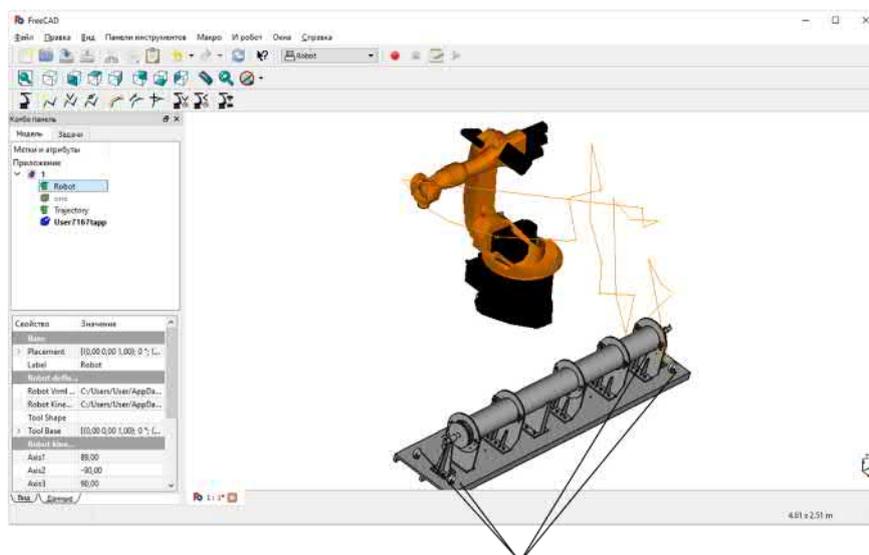
Данный способ создания УП для сварочного робота может быть осуществлен без изготовления ТО и деталей трубопровода, а только с помощью математических трехмерных моделей деталей трубопровода и СТО на рабочем месте инженера-программиста.

В качестве примера офлайн-программирования рассмотрим разработку УП с помощью бесплатного программного обеспечения с открытым исходным кодом - FreeCAD.

Алгоритм работы при офлайн-программировании:

1. Запуск FreeCAD.
2. Загрузка кинематической модели робота.
3. Загрузка ТО с деталями трубопровода.
4. Позиционирование ТО с деталями относительно робота. На данном этапе задается позиционирование оснастки относительно робота.
5. Задание точек сварки и траектории движения инженером разработчиком УП.
6. Проверка УП, внесение, при необходимости, корректировок движения и сохранение УП в базе данных предприятия.
7. Отработка УП на первом образце и внесение, при необходимости, корректировок.

Пример рабочего окна программы с загруженной кинематической моделью робота, ТО с деталями и траекторией движения приведен на рисунке 4.17.



Задаются координаты реперных точек

Рис. 4.17 Рабочее окно программы

Конечный код УП для обоих способов программирования будет идентичен

и его фрагмент приведен ниже:

```

&ACCESS RVP
&REL 1
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\ExpertVorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF Trajectory( )
;----- definitions -----
EXT BAS (BAS_COMMAND: IN, REAL: IN); set base to World
BAS (#INITMOV, 0); Initialicing the defaults for Vel and so on
;----- main part -----
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 16.231, Y -929.858, Z 1162.000, a 168.000, B 0.000, C 180.000}; Pt
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 240.702, Y -898.311, Z 1162.000, A -178.000, B 0.000, C 180.000}; Pt1
...
WeldStart
WeldStop
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1121.685, Y -0.000, Z 372.192, A -84.845, B 11.951, C -66.460}; Pt17
...
;----- end -----
END

```

Как было сказано ранее при программировании промышленных роботов возникает проблема согласования СК между роботом, оснасткой и деталями трубопровода для обеспечения требуемой точности свариваемого трубопровода из-за возникновения погрешностей позиционирования СТО относительно СК робота, а также погрешностями установки детали в оснастке.

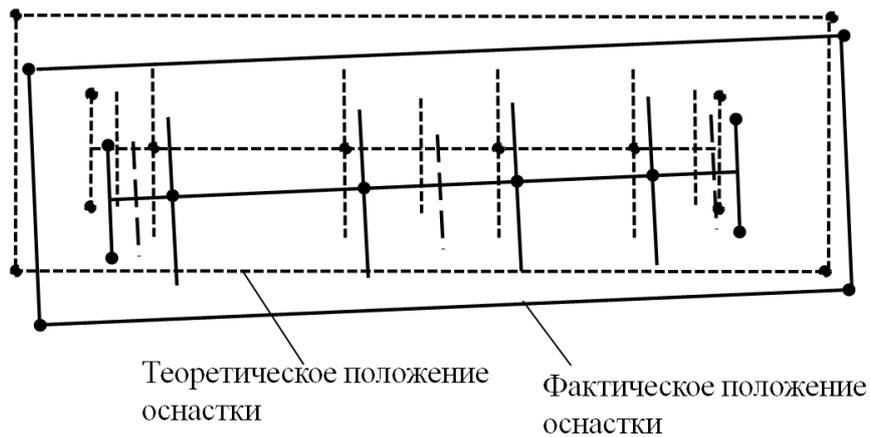


Рис. 4.18 Смещение положения оснастки при установке

В таком случае особую значимость приобретает возможность корректировки траектории движения манипулятора, для осуществления которой необходимо ввести поправочные коэффициенты.

Для этого определим основные виды погрешностей позиционирования:

- 1) линейные отклонения, выраженные в продольном и поперечном смещении СТО;
- 2) угловые отклонения между положением СТО относительно СК сварочного робота.

После нахождения поправок будет производиться пересчет координат в УП для сварки по формулам:

$$\begin{aligned}
 X_{II} &= X_p + \Delta X \\
 Y_{II} &= Y_p + \Delta Y \\
 Z_{II} &= Z_p + \Delta Z
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

где  $X_{II}$ ,  $Y_{II}$ ,  $Z_{II}$  – новые координаты с учетом поправок;

$X_p$ ,  $Y_p$ ,  $Z_p$  – расчетные координаты;

$\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  – поправочные коэффициенты, содержащие линейные и угловые смещения.

Рассмотрим реализацию данного способа на практике с использованием системы обратной связи на основе лазерного трекера.

Для его реализации на основании оснастки устанавливаются реперные точки (не менее 3-х) и при помощи беспроводного контактного щупа и лазерного трекера определяется местоположение робота относительно фрагмента трубопровода, но предварительно определив место положение лазерного трекера

относительно сварочного манипулятора так же по реперным точкам, установленным на нем.

Примеры беспроводного контактного щупа, лазерного трекера и реперного знака приведены на рисунке 4.19.



а) б) в)  
Рис. 4.19 а) беспроводной контактный щуп б) лазерный трекер в) реперный знак

Конструктивная реализация реперных точек может быть различной для разных предприятий или подразделений в зависимости от требуемой точности, рабочей среды и прочих параметров.

Приведенный реперный знак устанавливается на раму приспособления.

После определения взаимного расположения робота и детали трубопровода, вводятся поправочные коэффициенты в УП.

Схема работы лазерного трекера со сварочным роботом приведена на рисунке 4.20.

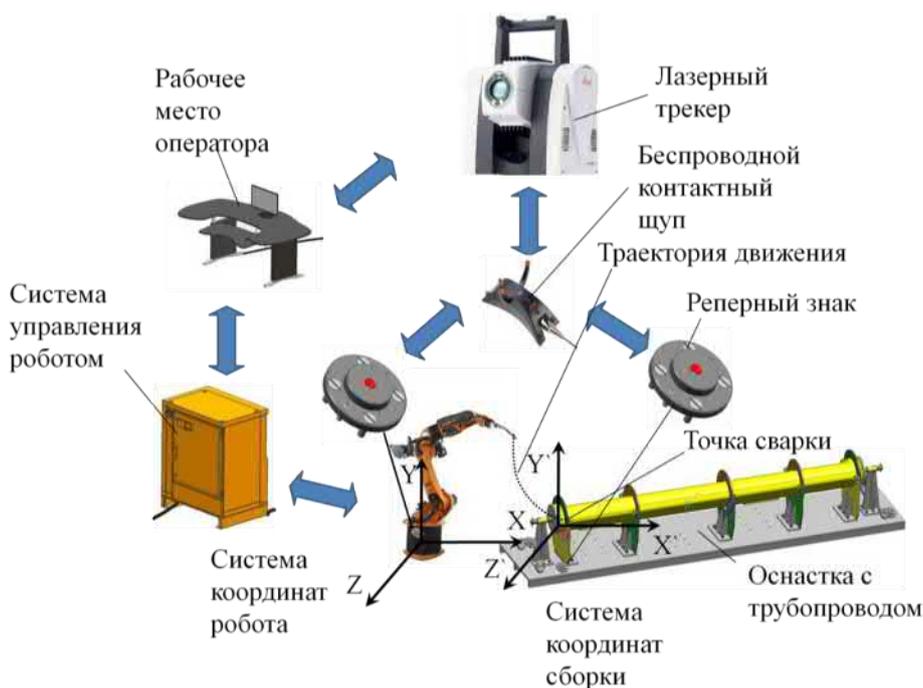


Рис. 4.20 Схема увязки робота с ТО и с трубопроводом с помощью лазерного трекера

В качестве эксперимента рассмотрим пересчет УП для сварки с учетом поправочных коэффициентов.

Для начала считаем с ЭМ расчетные координаты положения оснастки относительно робота, расположенные в реперных точках. Чертеж и ЭМ с координатами точек приведена на рисунках 4.21 и 4.22.

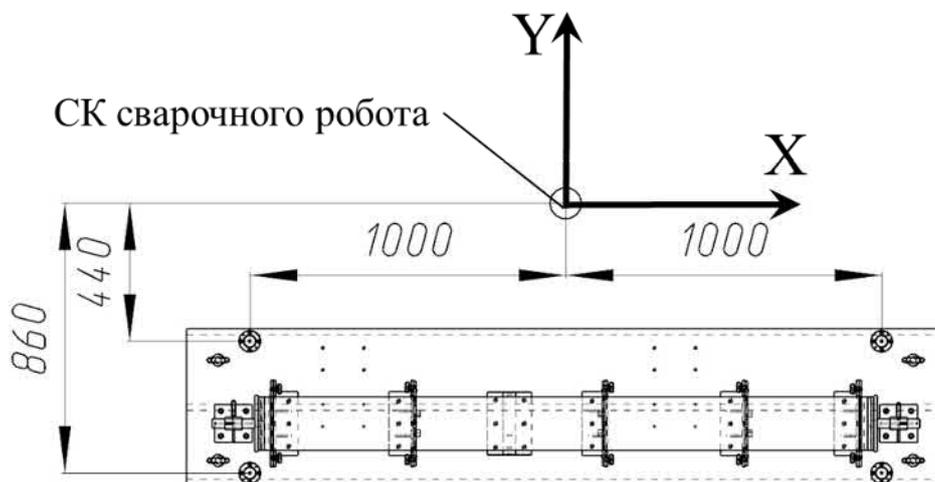


Рис. 4.21 Связь реперных точек с СК сварочного робота

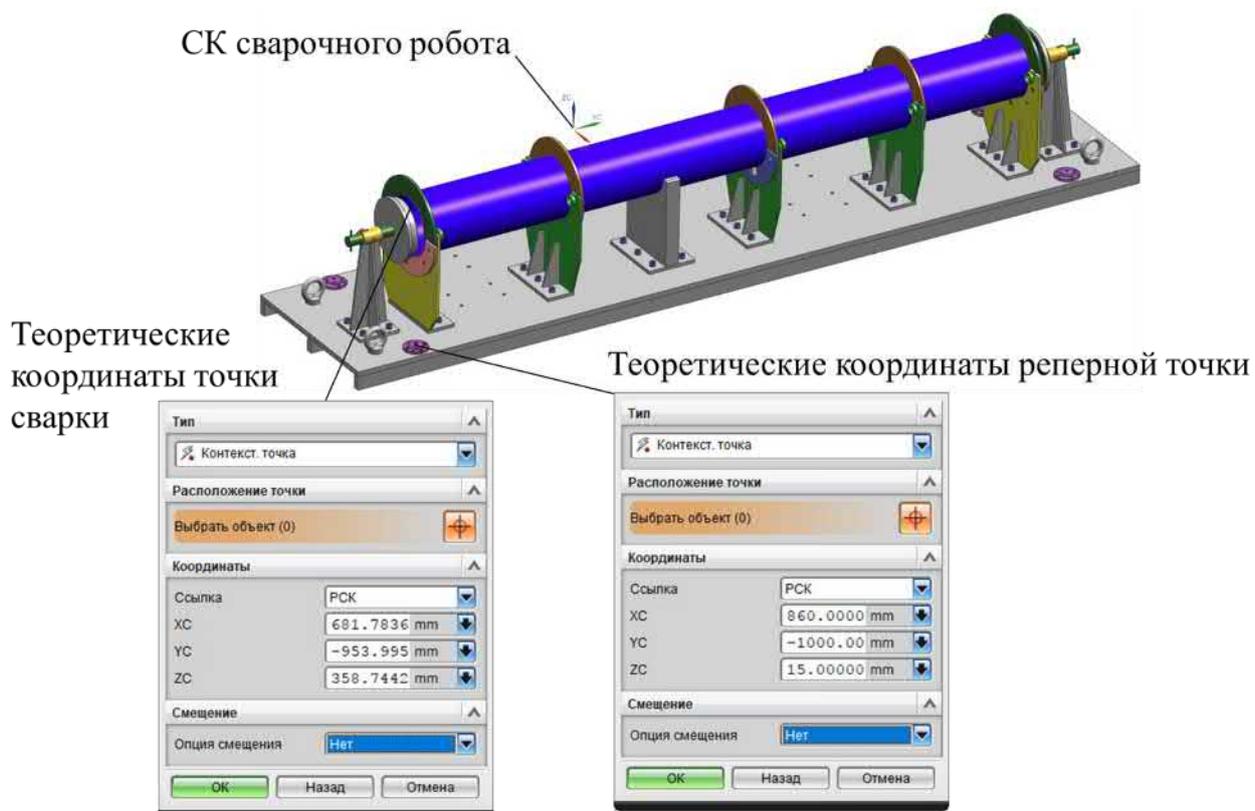


Рис. 4.22 Расчетные координаты реперных точек и точек сварки

Запишем координаты реперных точек, расположенных на основании. Для расчетов достаточно 3-х точек, но на практике, как правило, их количество выбирают не менее 4 для увеличения точности позиционирования.

$$\begin{aligned}
Po_1^P &= \{X_{P1} = 440; Y_{P1} = -1000; Z_{P1} = 15\} \\
Po_2^P &= \{X_{P2} = 860; Y_{P2} = -1000; Z_{P2} = 15\} \\
Po_3^P &= \{X_{P3} = 860; Y_{P3} = 1000; Z_{P3} = 15\} \\
Po_4^P &= \{X_{P4} = 440; Y_{P4} = 1000; Z_{P4} = 15\}
\end{aligned}
\tag{4.1}$$

Найдем коэффициенты для уравнения вида  $AX+BY+CZ+D=0$

Для этого запишем матрицу с координатами:

$$\begin{bmatrix} 440 & 860 & 440 \\ -1000 & -1000 & 1000 \\ 15 & 15 & 15 \end{bmatrix}
\tag{4.2}$$

По методу Крамера найдем коэффициенты уравнения:  $A=0$ ,  $B=0$ ,  $C= 42$ ,  $D=630$ .

Далее считаем координаты с установленной оснастки с помощью лазерного трекера:

$$\begin{aligned}
Po_1 &= \{X_{П1} = 439,980267151; Y_{П1} = -1000,025105969; Z_{П1} = 14,992031640\} \\
Po_2 &= \{X_{П2} = 859,980267133; Y_{П2} = -1000,025105964; Z_{П2} = 14,987633410\} \\
Po_3 &= \{X_{П3} = 859,980266937; Y_{П3} = 999,974893948; Z_{П3} = 14,968434789\} \\
Po_4 &= \{X_{П4} = 439,980266955; Y_{П4} = 999,974893944; Z_{П4} = 14,972833018\}
\end{aligned}
\tag{4.3}$$

Запишем координаты в матрицу:

$$\begin{bmatrix} 439,980267151 & 859,980267133 & 859,980266937 \\ -1000,025105969 & -1000,025105964 & 999,974893948 \\ 14,992031640 & 14,987633410 & 14,968434789 \end{bmatrix}
\tag{4.4}$$

По методу Крамера найдем коэффициенты уравнения плоскости:  $A=8,7965$ ,  $B=8,0826$ ,  $C= 842\ 000$ ,  $D=12\ 619\ 000$ .

Зная уравнения плоскостей и подставив значения углов в уравнение 3.4 запишем матрицу преобразований СК с учетом погрешностей позиционирования для рассматриваемого случая:

$$R_k^R = \begin{bmatrix} 1 & 3,28987 \cdot 10^{-11} & 0,00001 & -0,01989 \\ 0 & 1 & -0,00001 & -0,02525 \\ 0 & 0,00001 & 1 & -0,01296 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}
\tag{4.5}$$

Запишем расчетные координаты трех точек первого сварочного стыка:

$$W_n^{ij} = \begin{bmatrix} 681,7836 & 776,6282 & 623,423 \\ -953,9959 & -953,9959 & -953,9959 \\ 358,7442 & 239,6268 & 248,6469 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Далее проведем пересчет координат точек сварки с учетом матрицы преобразований для первого стыка:

$$W_{kn}^{ij} = R_k^R \times W_n^{ij} = \begin{bmatrix} 681,7660 & 776,6098 & 623,4047 \\ -954,023 & -953,0224 & -953,9959 \\ 358,7262 & 239,6088 & 248,6469 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

Имея старые координаты точек сварки и новые вычислим величины поправочных коэффициентов  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  для трех точек сварки первого стыка:

$$\Delta W = W_n^{ij} - W_{kn}^{ij} = \begin{bmatrix} -0,0176 & -0,0184 & -0,0183 \\ -0,0271 & -0,0265 & -0,0265 \\ -0,0179 & -0,0179 & -0,0179 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

После нахождения матрицы преобразований СК аналогичным способом можно произвести пересчет или корректировку всех необходимых точек сварки.

#### **4.4. Разработка методических рекомендаций на проектирование технологической оснастки в CAD - системе**

Как уже было отмечено ранее, в процессах, связанных с разработкой оснастки активно применяются различные САПР, а в частности в настоящее время на авиационных предприятиях широко применяется система Siemens NX, которая имеет широкий набор инструментов для работы со сложными поверхностями и большими сборками. В ней разработаны исходные ЭМ деталей и узлов трубопроводов, а также и большое количество применяемого ТО, поэтому было принято решение для данной системы разработать прикладные модули, позволяющие повысить уровень автоматизации при проектировании ТО.

Для реализации данной задачи в Siemens NX имеется возможность подключения через NX Open API внешних модулей. NX Open API — это набор инструментов и технологий, посредством которых внешнее приложение может получить доступ к возможностям Siemens NX. NX Open API позволяет программным способом по заранее заданным алгоритмам автоматизировать выполнение рутинных операций при проектировании ТО, а также при оформлении документации [54].

Построение математической модели СТО для сборки трубопроводов на данном этапе сводится к автоматизации создания сборки ложементов из нескольких деталей. Общая схема процесса разработки СТО приведена на рисунке 4.23. По представленной схеме проектируется большая часть ложементов для фиксации деталей трубопровода при выполнении технологических операций.



Рис. 4.23 Общая схема создания математической модели СТО для сборки трубопроводов

Создание математической модели СТО для сборки трубопроводов систем ЛА можно представить в виде следующей последовательности этапов разработки:

1. Анализ КД трубопровода, ТП на сборку и ТЗ на проектирование СТО. На данном этапе проектировщик проводит анализ конструкции трубопровода, технологии его сборки и требований ТЗ к проектируемому оснащению и

определяет его будущий облик. Определяет оптимальное расположение ложементов с рубильниками, фиксаторов, прижимов и т.д.

2. Задание плоскости основания, плоскостей ложементов. Задание мест расположения ложементов и их высота (плоскость основания) являются первым этапом проектирования сборочного приспособления. Ориентировочное место расположения ложементов и их высота, как правило, задаются в ТЗ на проектирование и зависят от мест расположения сварных швов собираемого трубопровода.

3. Построение ЭМ ложементов. После того, как определены места расположения ложементов относительно сварных швов проектировщик приступает к созданию ЭМ сборки ложемента, который, как правило, состоит из стенки, ложемента (деталь), рубильника, основания, ребер жесткости и крепежа. Конструкция ложементов зависит от сечения трубопровода.

4. Построение ЭМ основания. На данном этапе проектировщик создает ЭМ основания приспособления с учетом расположения ложементов, фиксаторов, тангажных узлов и т.д.

5. Расстановка крепежа. После создания ЭМ деталей проектировщик производит расстановку крепежа.

6. Нанесение служебной информации. На ЭМ деталей и сборок наносится служебная информация и технические требования.

7. Оформление КД. После создания полной ЭМ сборочного приспособления проектировщик оформляет комплект чертежей и спецификации.

8. Проверка и утверждение КД. Оформленная КД проходит проверку на технологичность и норм, контроль на соответствие ГОСТам.

9. Сдача КД в архив. Утвержденный комплект КД передается в архив предприятия. В случае использования PDM систем производится перевод КД в состояние утвержденной. После чего КД на СТО для сборки трубопроводов запускается в производство.

Ниже приведен графический пример проектирования СТО для трубопровода, гнутого в одной плоскости в Siemens NX.

Выставление плоскости основания и плоскостей ложементов приведено на рисунке 4.24.

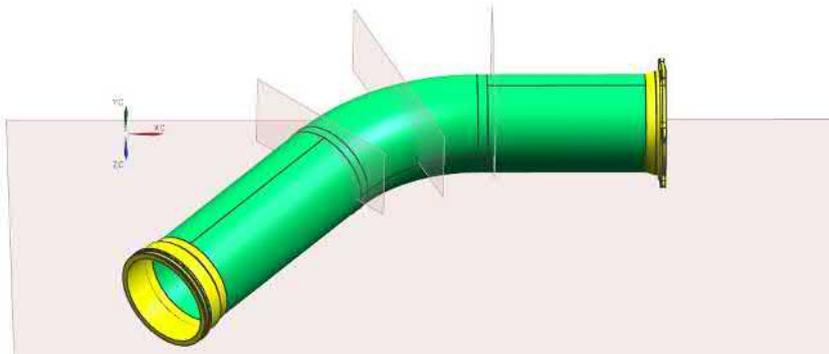


Рис. 4.24 Выставление плоскостей ложементов и основания

Создание ЭМ сборки ложемента для фиксации трубопровода показано на рисунке 4.25.

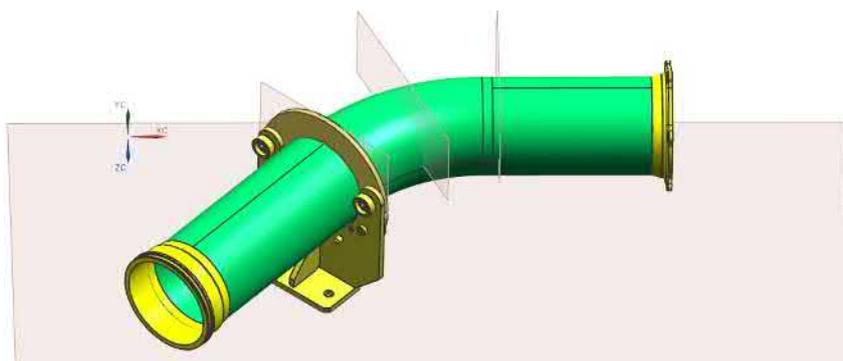


Рис. 4.25 Создание ЭМ сборки ложемента.

Создание ЭМ основания приспособления, на котором будут устанавливаться все ложементы, зажимы, фиксаторы, а также тоннажные узлы для транспортировки краном.

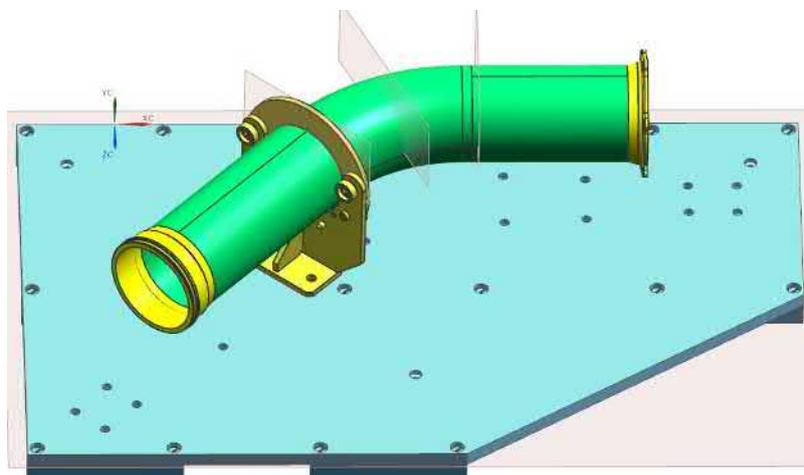


Рис. 4.26 Создание ЭМ основания приспособления

Расстановка крепежа окончательная сборка приспособления приведена на рисунке 4.27.

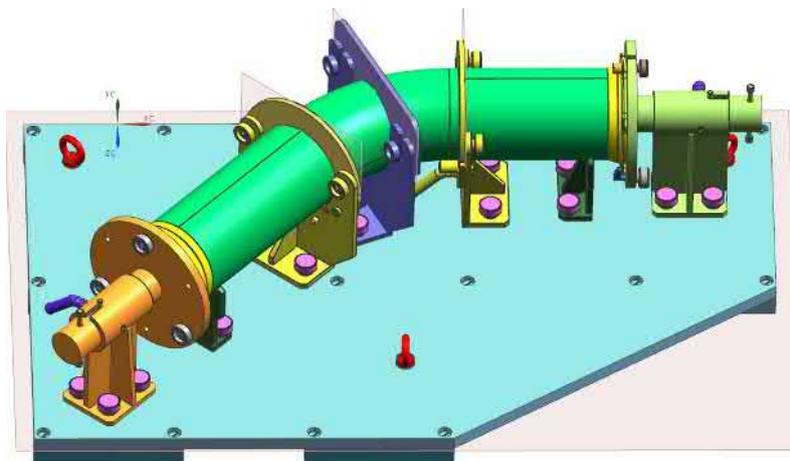


Рис. 4.27 ЭМСЕ приспособления

Заключительным этапом разработки СТО является оформление КД, пример которого приведен на рисунке 4.28.

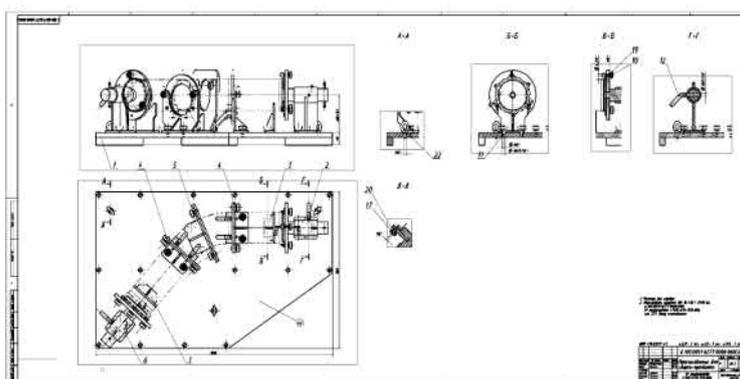


Рис. 4.28 КД на СТО

Анализ методики проектирования СТО для сборки приспособления, которая осуществляется в «ручном» режиме создал предпосылки к разработке интегрированных модулей проектирования Ложементов в систему Siemens NX, позволяющих снизить трудоемкость проектирования, и избежать ряда конструкторских ошибок за счет использования базы технических решений и накопления опыта.

#### **4.5. Разработка интерфейсных решений системы проектирования СТО для сборки трубопроводов систем ЛА**

Далее рассмотрим вербальное описание процесса проектирования сборки ложементов с помощью интегрированного в систему Siemens NX модуля, разработанного с помощью Open API.

Вначале проектировщик запускает CAD- систему Siemens NX и входит в среду моделирования.

В основной форме среды проектирования вводится номер сборки трубопровода и загружается ее технологическая модель. Параллельно проектировщик выгружает ТЗ на проектирование.

На основании ТЗ проектировщик расставляет плоскости расположения ложементов относительно сварных швов и плоскость основания СТО, исходя из требований по высоте проектируемого СТО. ЭМ стенки ложемента в Siemens NX создается программно на плоскости заданной конструктором. Плоскость основания СТО служит в качестве ограничения по высоте и направляющего вектора для определения ориентации стенки ложемента в пространстве. Плоскость основания совместно с наружным контуром сечения трубы являются набором геометрических ограничений для построения геометрии ложемента.

Далее подробнее рассмотрим состав конструктивных элементов деталей ложемента и их связь с геометрией наружного сечения трубопровода.

Эскиз стенки ложемента со всеми переменными представлен на рисунке 4.29.

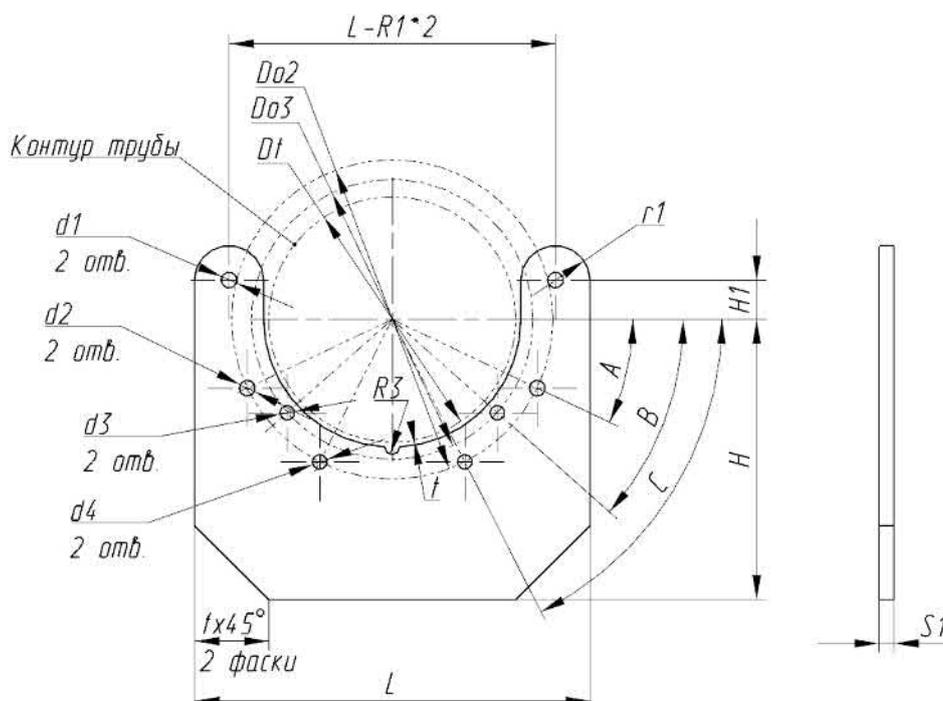


Рис. 4.29 Стенка ложемента

Для построения стенки ложемента используется параметр, отвечающий за диаметр детали трубопровода. Данный параметр считывается с ЭМ детали.

Далее строится основание. Для этого проектировщик задает переднюю грань и основание стенки ложемета. ЭМ основания ложемета в Siemens NX создается программно на грани стенки ложемета. Ограничением по ширине основания служит размер нижней грани стенки.

Основание ложемета с используемыми переменными представлено на рисунке 4.30.

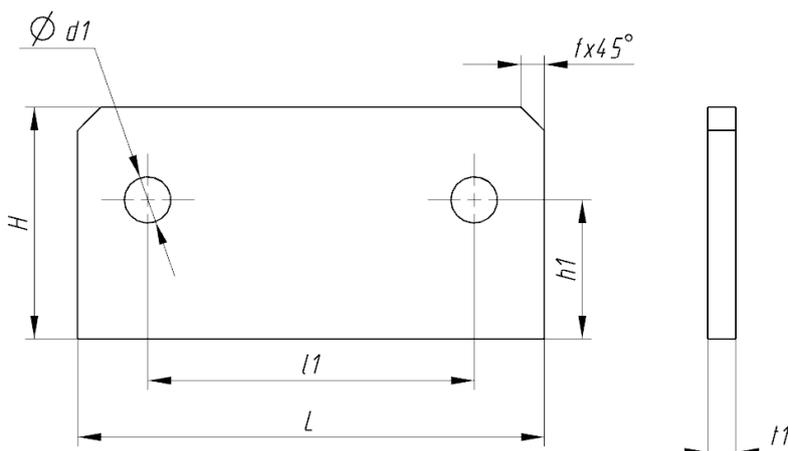


Рис. 4.30 Основание ложемета

Далее строится рубильник. Для этого проектировщик задает переднюю грань и крепежные отверстия из стенки ложемета. ЭМ рубильника ложемета в Siemens NX создается программно на грани стенки ложемета. Ограничением по ширине служит размер стенки и крепежные отверстия.

Внешний вид рубильника с переменными представлен на рисунке 4.31.

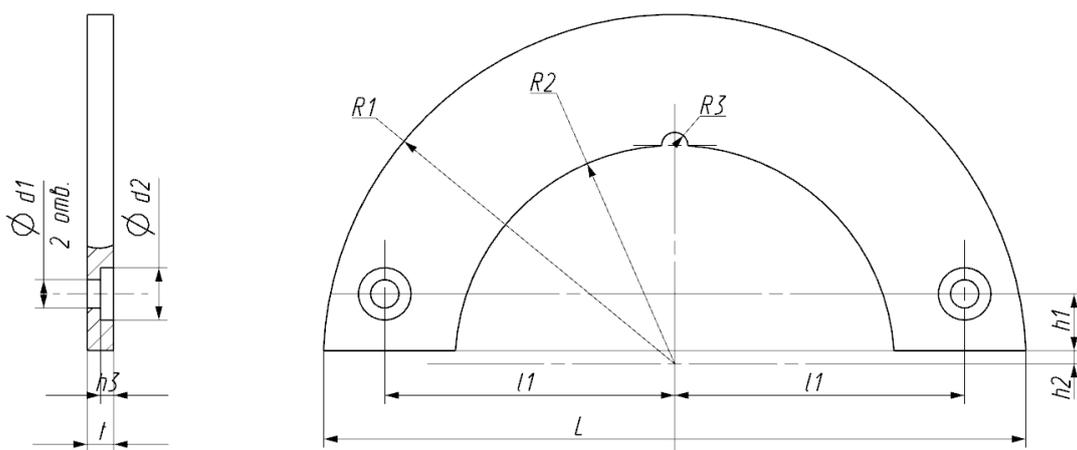


Рис. 4.31 Рубильник

Аналогичным образом производится построения детали ложемета. Проектировщик задает переднюю грань и крепежные отверстия в стенке

ложемента. Ограничением по ширине служит размер стенки и крепежные отверстия.

Ложемент с переменными представлен на рисунке 4.32.

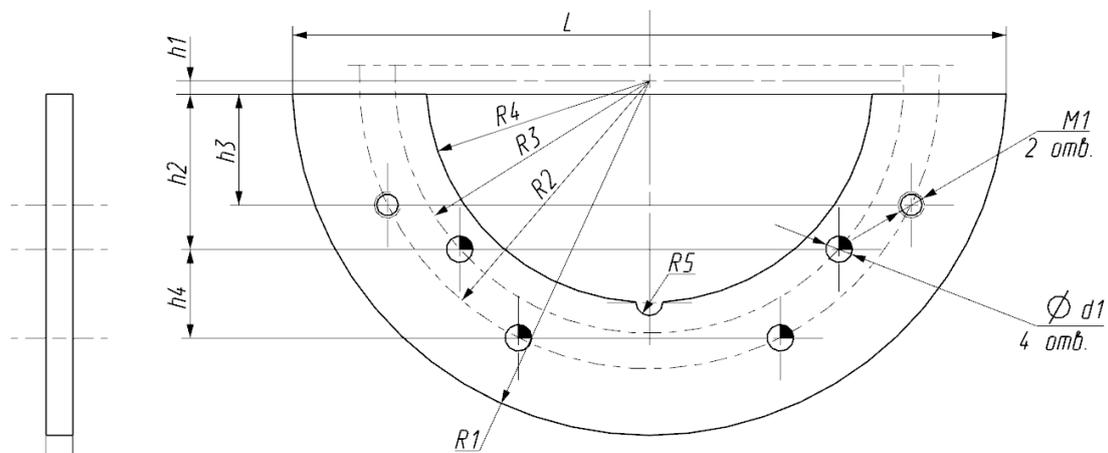


Рис. 4.32 Ложемент

Алгоритмы работы модулей построения сборного ложемента приведены на рисунке 4.33.

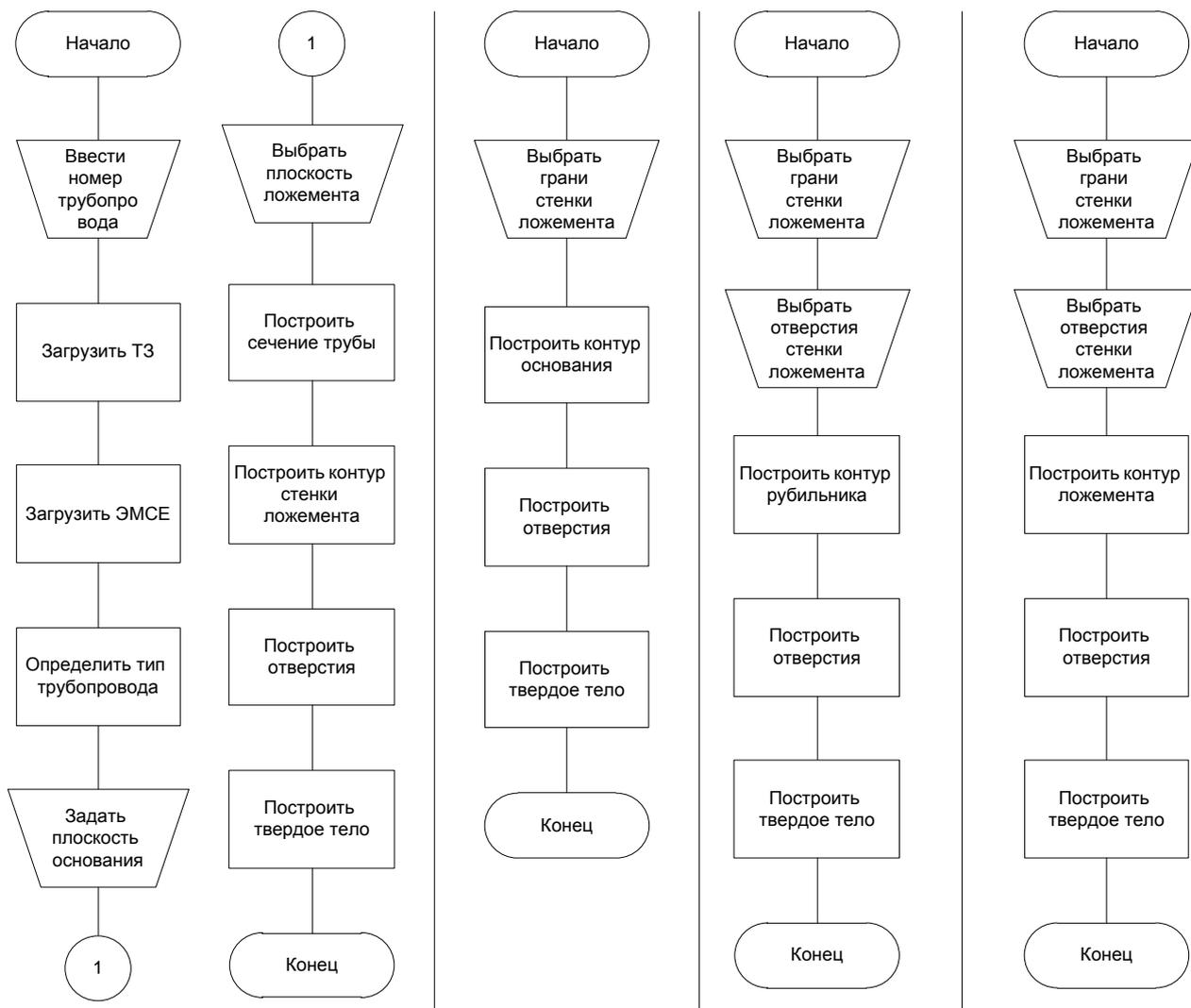


Рис. 4.33 Алгоритмы работы подмодулей проектирования ложемента

Далее рассмотрим разработку интерфейсных решений для модулей проектирования сборки ложемента.

Работа с модулем начинается с запуска CAD-системы Siemens NX и загрузки участка трубопровода для которого строится ложемент. Строятся плоскости ложемента и основания, если они не были заданы ранее (рис. 4.34).

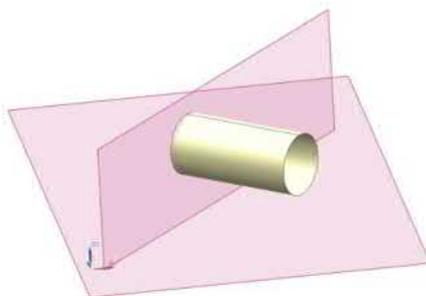


Рис. 4.34 Участок трубопровода с плоскостью ложемента и плоскостью основания

Для начала производится включение меню для модулей построения ложемента, если оно было не добавлено на панель инструментов (рис. 4.35).

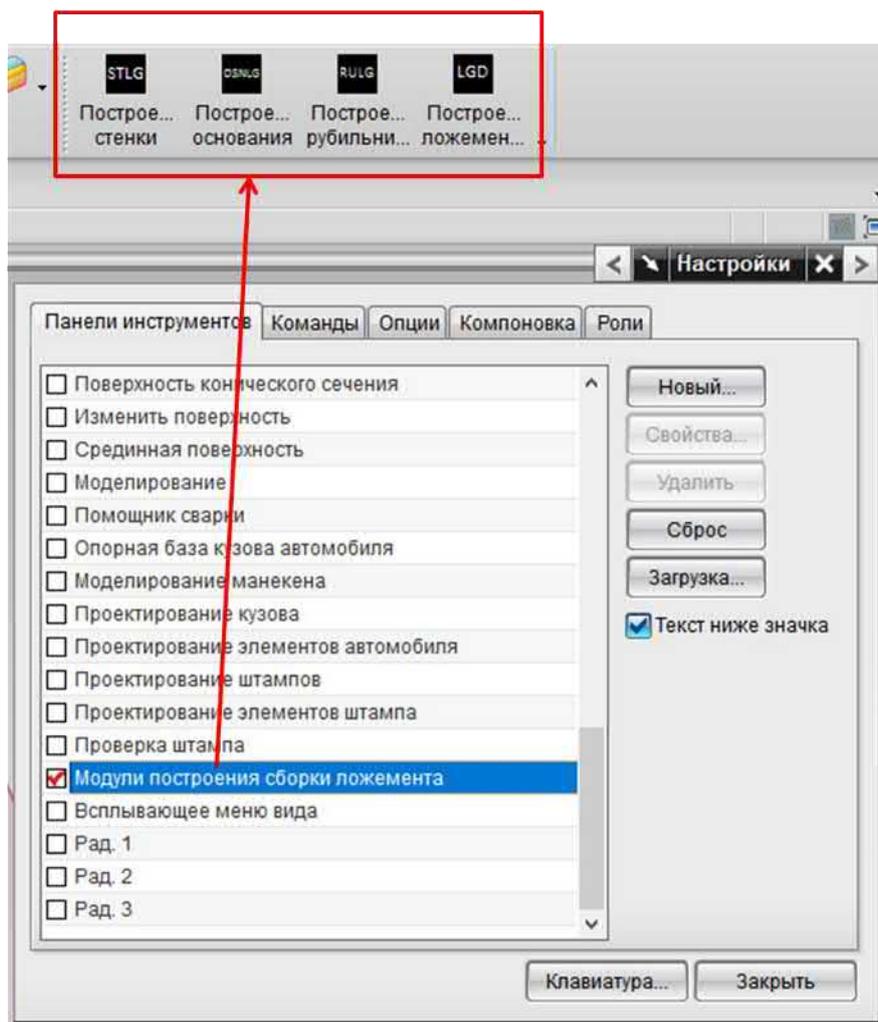


Рис. 4.35 Меню модулей построения ложемента

Дополнительно стоит отметить, что имеется возможность запуска модуле без включения меню через команду выполнить, расположенную в меню файл – выполнить – NX функция пользователя или сочетанием клавиш «Ctrl» + «U».

Затем проектировщиком выделяются плоскости ложемент, основания и запускает модуль построения стенки ложемент (рис 4.36).

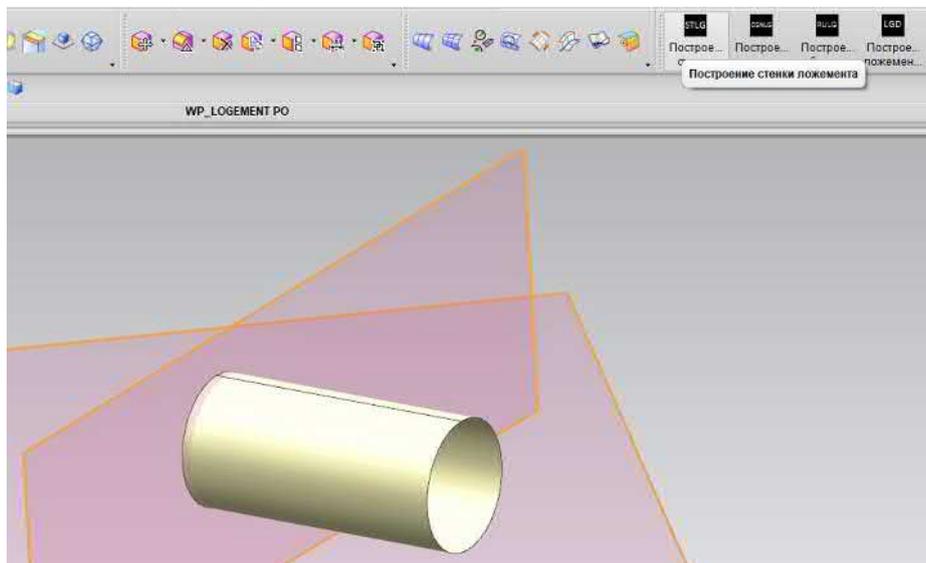


Рис. 4.36 Выбор плоскостей и запуск модуля

Производится построение стенки ложемент (рис. 4.37).

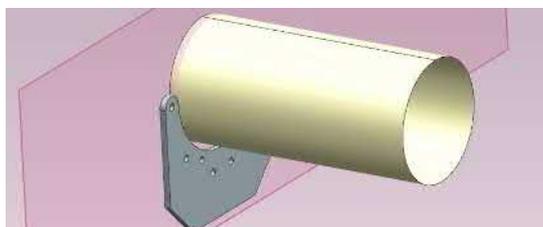


Рис. 4.37 результат работы модуля построения стенки ложемент

Проектировщик выбирает лицевую грань и грань основания и запускает модуль построения основания ложемент (рис. 4.38).

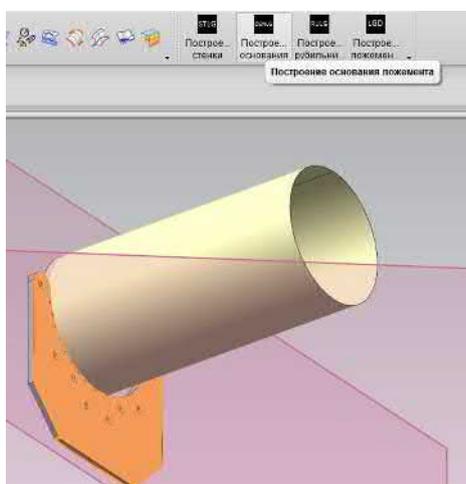


Рис. 4.38 Выбор граней и запуск модуля построения основания ложемент

Производится построение основания (рис. 4.39).

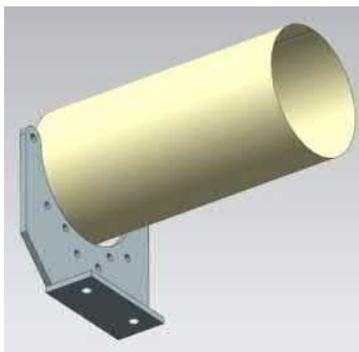


Рис. 4.39 Результат работы модуля построения основания ложемента

Далее проектировщик выбирает лицевую грань стенки ложемента, отверстия для крепления рубильника и запускает модуль построения рубильника.

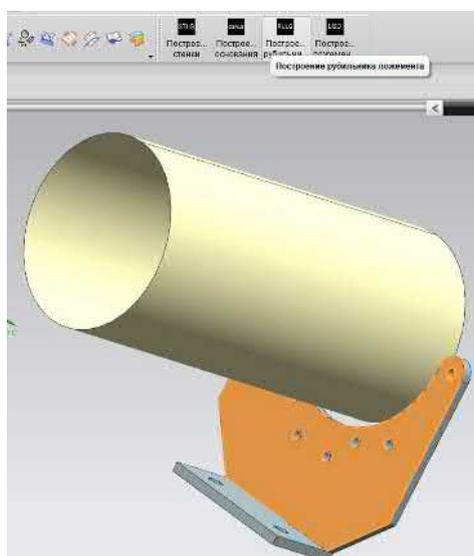


Рис. 4.40 Выбор граней и запуск модуля построения рубильника

Производится построение рубильника (рис. 4.41).

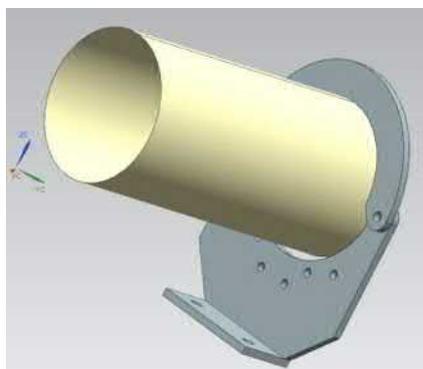


Рис. 4.41 Результат работы модуля построения рубильника

На заключительном этапе построения проектировщик выбирает лицевую грань стенки, крепежные отверстия и запускает модуль построения ложемента (рис. 4.42).

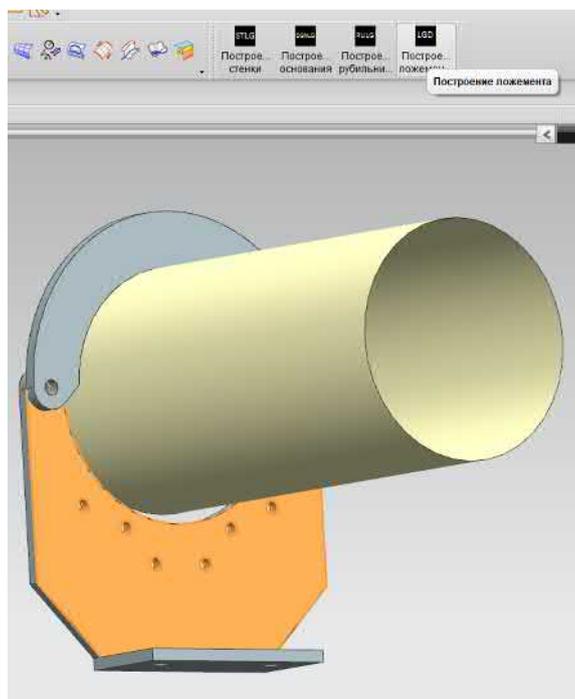


Рис. 4.42 Выбор граней и запуск модуля построения ложемента  
Производится построение детали ложемент (рис. 4.43).

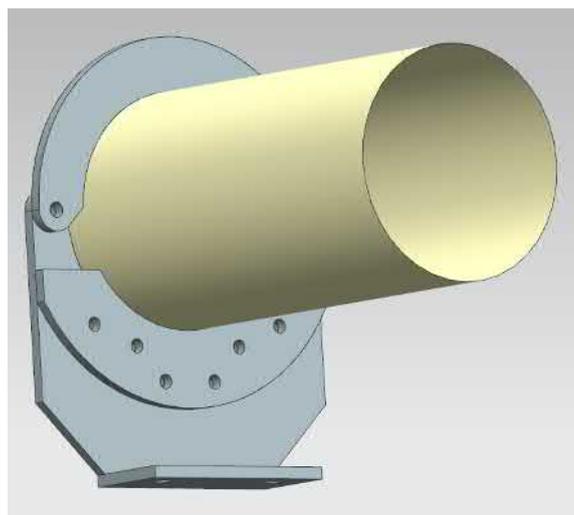


Рис. 4.43 результат работы модуля построения детали ложемент

В случае необходимости внесения изменения, имеется возможность отредактировать дерево построения или изменить параметры переменных через меню инструменты – выражение или через навигатор детали (рис. 4.44).

Также стоит отметить, что имеется возможность создания встроенного интерфейса для тонкой настройки параметров ЭМ СТО, но на текущем этапе данный функционал остается не реализованным.

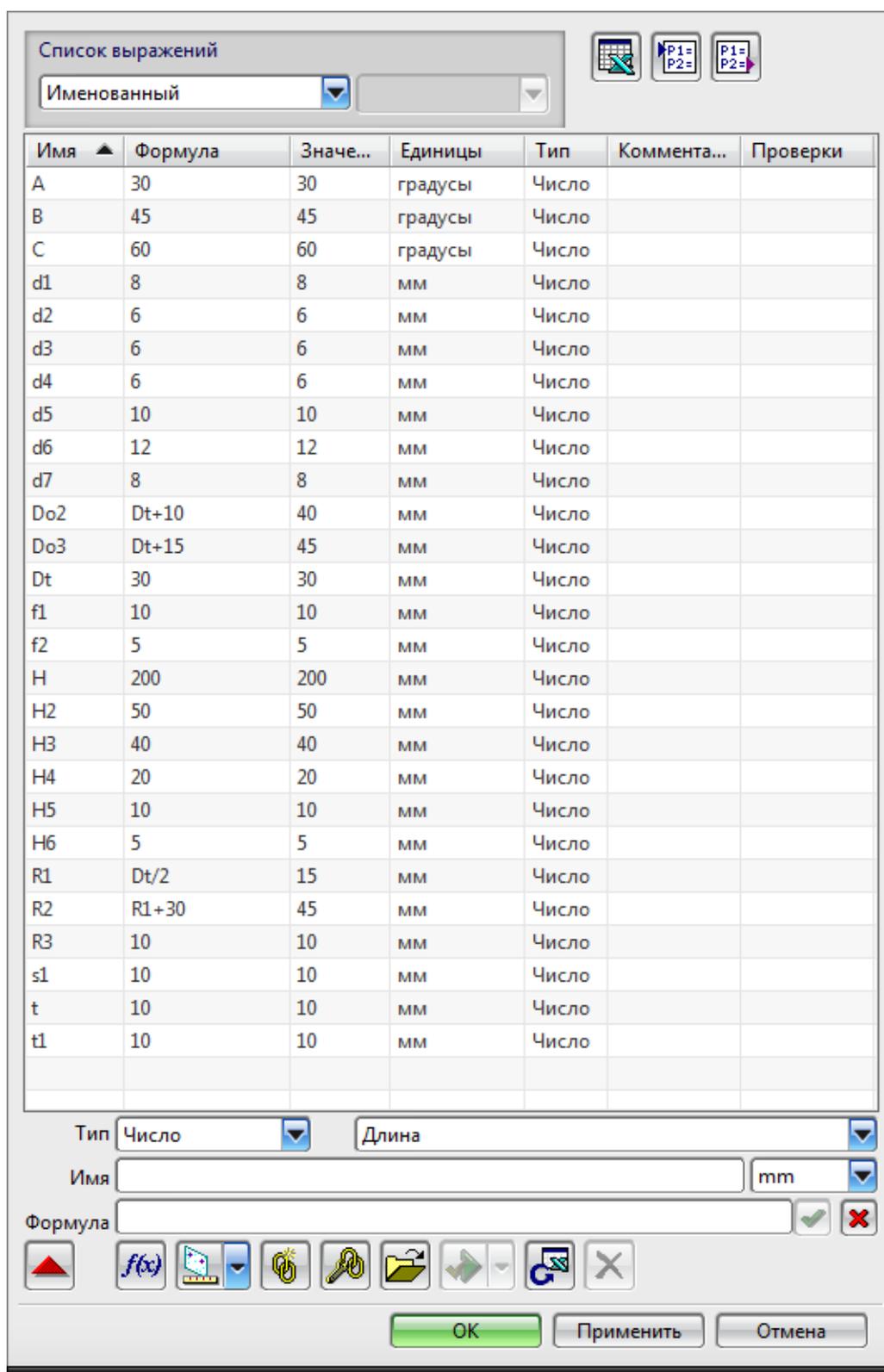


Рис. 4.44 Список переменных в Siemens NX

В качестве заключительного эксперимента произведем расчет трудоемкости на этапах проектирования с использованием прикладных модулей и без. Ниже представлена сравнительная таблица трудоемкости проектирования ложементов СТО для сборки трубопровода «базовый вариант – проектный вариант».

Таблица 4.1

## Сравнительная таблица трудоемкости проектирования

Наименование процесса	Базовый вариант, мин	Проектный вариант, мин
Проектирование стенки ложемент	20	1
Проектирование основания ложемент	5	1
Проектирование рубильника	15	1
Проектирование ложемент	20	1
Проектирование основания приспособления	60	60
Расстановка крепежа	20	20
Оформление КД	300	250
<b>Σ</b>	<b>440</b>	<b>334</b>

Как видно из представленной таблицы сокращение трудоемкости на 106 мин. (25%) при использовании модулей построения стенки ложемент.

Диаграмма сравнения трудоемкости проектирования СТО приведена на рис. 4.45.

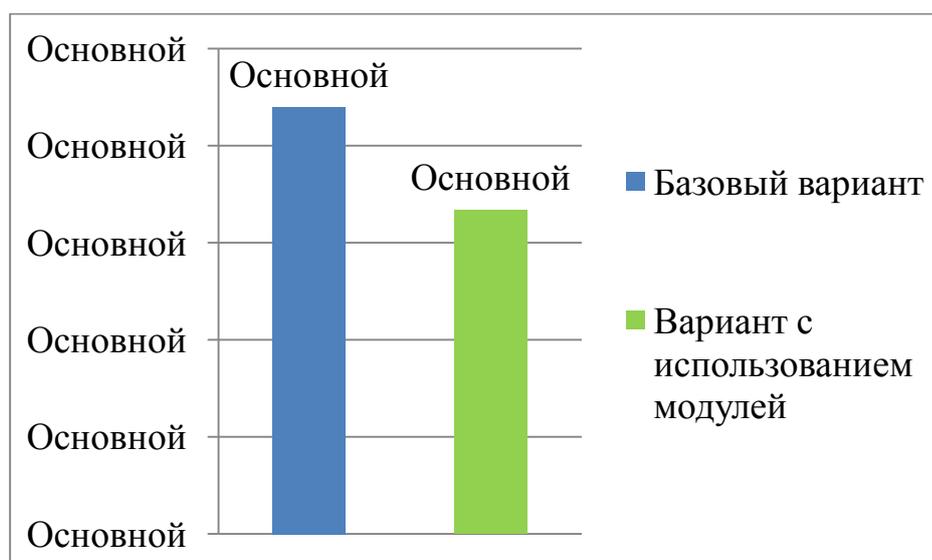


Рис. 4.45 Сравнение трудоемкости проектирования СТО

## Выводы по четвертой главе

1. Разработан компонентный состав системы с учетом интеграции инструментально-моделирующей среды WIQA с существующими системами авиастроительного предприятия, позволяющий повысить уровень автоматизации рабочих мест пользователей, участвующих в процессах подготовки производства трубопроводов систем ЛА за счет возможности работы в реальном времени с прикладной онтологией.

2. На базе инструментально-моделирующей среды WIQA реализована прикладная онтология и рекомендации по ее разработке для деталей и сборок трубопроводов (узлов) самолета, а также для ТО, необходимого для их сборки в условиях использования роботизированной сварки, что позволяет повысить эффективность принятия технических решений за счет повторного использования профессионального опыта и возможности проведения концептуальных экспериментов с моделями прецедентов.

3. Разработаны рекомендации по согласованию СК деталей узлов, СТО и сварочного робота на разных этапах ЖЦ с использованием современных измерительных средств, применяемых на авиастроительных предприятиях, в том числе и с учетом возникновения погрешности позиционирования оснастки относительно робота. Приведен пример корректировки данной погрешности за счет пересчета точек сварки для стыка двух деталей с использованием поправочных коэффициентов, которые найдены с помощью отклонений реперных узлов на оснастке от теоретически заданных на ЭМ.

4. Разработаны рекомендации по проектированию СТО для сборки узлов трубопроводов сваркой с использованием САПР Siemens NX в рамках использования инструментально-моделирующей среды WIQA, что позволяет выделить типовые операции и выбрать оптимальный способ проектирования СТО по трудоемкости.

5. Разработаны рекомендации по разработке УП с использованием САПР FreeCAD в рамках использования инструментально-моделирующей среды WIQA, что позволяет выбирать оптимальные траектории движения сварочного манипулятора при выполнении технологических операций.

6. Для САПР Siemens NX через использование интерфейса Open API на языке C# разработаны программные модули, позволяющие автоматизировать формирование 3D модели ложементов для фиксации трубы в сборочном приспособлении, что позволяет сократить время на проектирование СТО в среднем на 25% и, тем самым, снизить трудоемкость и издержки на этапе КТПП, а также повысить уровень автоматизации.

## Заключение

Цель диссертационной работы – является разработка геометрических моделей деталей и узлов трубопроводов ЛА, а также СТО, обеспечивающее прецедентно-ориентированное контролируемое накопление опыта технологической подготовки и связанные с этим позитивные эффекты – достигнута.

Основными результатами работы являются:

1. Система согласованных геометрических моделей деталей металлических трубопроводов ЛА, их сборок и СТО, спецификации которых настроены на предварительную роботизированную сварку деталей, обеспечивающую требуемые технологические характеристики их позиционирования в рамках МГ ЛА.

2. Расширение атрибутики «имён» нормативной идентификации деталей трубопроводов, их сборок и средств оснастки, дополнительными составляющими, которые позволяют включить в представление деталей, сборок и средств оснастки их геометрические модели, связав их ассоциациями по смежности и сходству, способствующими улучшению характеристик поиска в системе имён.

3. Метод прецедентно-ориентированной интеграции геометрических моделей деталей и узлов трубопроводов ЛА, а так же специализированных средств оснастки, обеспечивающий информационно-онтологическую поддержку проектно-технологического цикла создания трубопроводных систем.

4. Метод согласования систем координат деталей, сборок и СТО, обеспечивающий требуемые характеристики позиционирования деталей при сборке, в том числе с учетом и корректировкой погрешностей позиционирования СТО относительно положения сварочного промышленного робота при выполнении технологических операций.

Предложенные геометрические модели, методы и средства реализованы в виде комплекса инструментально-технологических средств поддержки процессов КТПП и узловой сборки трубопроводов систем ЛА, позволяющих повысить эффективность данных процессов за счет прецедентно-ориентированного накопления профессионального опыта в виде моделей прецедентов, готовых к повторному и к поиску новых прецедентов за счет использования концептуального моделирования и экспериментирования, а также позволяющих производить согласование СК на всех этапах ЖЦ и учитывать погрешности позиционирования при использовании сварочного робота.

## Список сокращений

БКС –	Базовая контрольная структура
БТЗ –	Бюро труда и заработной платы
БТК –	Бюро технического контроля
ВПП –	Ведомость подготовки производства
ГК –	Герметичная кабина
ДТП –	Директивный технологически процесс
ЖЦ –	Жизненный цикл
КБ –	Конструкторское бюро
КД –	Конструкторская документация
КИМ –	Контрольно-измерительная машина
ЛА –	Летательный аппарат
ЛТХ –	Летно-технические характеристики
ПДБ –	Планово–диспетчерское бюро
ПИ –	Производственная инструкция
ПРОСК –	Промежуточный склад
РТК –	Расчетно–технологическая карта
САПР –	Система автоматизированного проектирования
СК –	Система координат
СКВ –	Система кондиционирования воздуха
СМГ –	Строительная мастер геометрия
СТО –	Специальное технологическое оснащение
СТП –	Стандарт предприятия
ТЗ –	Техническое задание
ТИ –	Технологическая инструкция
ТО –	Технологическое оснащение
ТП –	Технологический процесс
ТПП –	Технологическая подготовка производства

ТУ –	Технические условия
УГК –	Управление главного конструктора
УГТ –	Управление главного технолога
УП –	Управляющая программа
УСвП –	Универсальное сварочное приспособление
УСП –	Универсальное сборочное приспособление
ЧПУ –	Числовое программное управление
ЭМ –	Электронная модель
ЭМД –	Электронная модель детали
ЭМСЕ –	Электронная модель сборочной единицы
ЭМТ –	Электронная модель технологическая
CAD –	Computer-aided design
QA –	Question-Answer
WIQA –	Working In Questions and Answers

## Список использованных источников

1. Агеев М.С., Добров Б.В., Лукашевич Н.В., Сидоров А.В. Экспериментальные алгоритмы поиска/классификации и сравнение с «basic line» // Российский семинар, по оценке методов информационного поиска. Труды второго российского семинара РОМИП'2004 (Пушино, 01.10.2004) С-Пб.: НИИ Химии СПбГУ, 2004.
2. Ахатов Р.Х., Однокурцев К.А., Зыкова Е.В. Технология монтажа сборочной оснастки с применением промышленного робота. // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2014. № 1 (5) (16). С. 1284–1291.
3. Белов М.П. Технические средства автоматизации и управления С-Пб.: СЗТУ, 2006. 184 с.
4. Боден М. Программирование в Scilab перевод Кротер С., 2011. 152 с.
5. Боргест Н.М. Онтология проектирования. Теоретические основы. Ч. 1. Понятия и принципы. 2-е изд., Самара: СГАУ, 2010. 91 с.
6. Боргест Н.М. Создание и использование автоматизированной базы опыта проектной организации Ульяновск: УлГТУ, 2012. 360 с.
7. Боргест Н.М., Симонова Е.В. Основы построения мультиагентных систем, использующих онтологию. Учеб. пособие. Самара: СГАУ, 2009. 80 с.
8. Боргест Н.М., Симонова Е.В., Шустова Д.В. Решение проектных задач с помощью онтологических систем / Метод. указания к лаб. раб. Самара: СГАУ, 2010. 128 с.
9. Братухин А.Г., Иванов Ю.Л. Современные технологии авиастроения. М.: Машиностроение, 1999. 832 с.
10. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Иерархическая многоагентная интеллектуальная система проектирования и управления технологическими процессами в организациях единичного и мелкосерийного производства. Двенадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2010: Труды конференции. М.: Физматлит, 2010. 185–193 с.

11. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Оценка решений в системах автоматизированного проектирования технологических процессов для многономенклатурных производств М.: ГИТТЛ, 2011. 245 с.
12. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Оценка решений в системах автоматизированного проектирования технологических процессов для многономенклатурных производств // Вестник Воронежской государственной технологической академии. 2011. № 2. С. 99–102.
13. Бурдо Г.Б., Семенов Н.А., Исаев А.А. Интеллектуальные процедуры проектирования технологических процессов в интегрированных САПР // Программные продукты и системы. 2014. № 1 (105). С. 60–64.
14. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений // Системы поддержки принятия решений. 2009. № №2. С. 45–57.
15. Винер Н. Моя связь с кибернетикой, ее начало и ее будущее // Cybernetica. 1958. С. 1–14.
16. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине М.: Советское радио, 1968.
17. Винер Н. Мое отношение к кибернетике. Ее прошлое и будущее // М.: Советское радио. 1969. С. 24.
18. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. М.: Наука, 1984. 288 с.
19. Гончаренко А.В., Добронец Б.С. Информационная система редактирования онтологий. Молодежь и наука: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского [Электронный ресурс] под ред. О.А.Краев, Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2012.
20. Гончаров В. Н., Колосов А. Н., Дибнис Г. И. Оперативное управление производством. М.: Экономика, 1987. 120 с.
21. Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф. Основы NX САМ М.: ДМК Пресс, 2012. 216 с.

22. Гончаров П.С., Артамонов И.А., Халитов Т.Ф. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ. М.: ДМК Пресс, 2012. 504 с.
23. Горемыкин В. А., Бугулов Э. Р., Богомоллов А. Ю. Планирование на предприятии. М.: Информ.-издат. дом. «Филинь», 2004. 520 с.
24. Горитов А.Н., Корилов А.М. Оптимальность в задачах проектирования и управления роботами. // Автоматика и телемеханика. 2001. № 7. С. 82–90.
25. Гребеников А.Г., Гуменный А.М., Коротун Д.Н., Мялица А.К. Общие подходы к мультипликации по теоретическому контуру параметрических моделей авиационных конструкций Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии № 53-е изд., Казань, 2012. 36–43 с.
26. Григорьев С. Н., Андреев А. Г., Ивановский С. П. Современное состояние и перспективы развития промышленной робототехники // Мехатроника, автоматизация, управление. 2013. № 1. С. 30–34.
27. Григорьев С.Н., Кураксин С.А., Димитрюк С.О. Современное состояние и перспективы развития программных систем для технологической подготовки машиностроительного производства // Межотраслевая информационная служба. 2012. № 4. С. 21–24.
28. Гришин М.В., Ларин С.Н., Кочергин В.И. Онтология как средство проектирования шаблонной оснастки в условиях подготовки наукоемкого производства Автоматизация процессов управления-е изд., Ульяновск: ФНПЦ АО «НПО «Марс», 2015. 89–98 с.
29. Гришин М.В., Ларин С.Н., Лебедев А.В., Павлов П.Ю., Федоров А.А. Разработка классификатора технологической оснастки заготовительно-штамповочного производства. // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2014. № 6 (2) (16). С. 423–429.
30. Гришин М.В., Ларин С.Н., Соснин П.И. Средства онтологической поддержки процесса проектирования шаблонной оснастки в условиях авиационных производств В мире научных открытий. Естественные и технические науки-е изд., Красноярск, 2015. 10–43 с.

31. Гришин М.В., Ларин С.Н., Соснин П.И. Онтология проектирования шаблонов авиационных деталей: матер. 5-й Междунар. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2015). 2015.
32. Гришин М.В., Ларин С.Н., Соснин П.И. Онтологии проектирования шаблонной оснастки в авиационном производстве Онтология проектирования-е изд., Самара, 2016. 7–28 с.
33. Дальского А., Косилова А., Мещерякова Р. Справочник технолога–машиностроителя. 5-е изд., М.: Машиностроение, 2003. 944 с.
34. Дальского А., Косилова А., Мещерякова Р. Справочник технолога–машиностроителя. 5-е изд., М.: Машиностроение, 2003. 912 с.
35. Данилов Ю., Артамонов И. Практическое использование NX. М.: ДМК Пресс, 2011. 332 с.
36. Дерябин А.Л. Программирование технологических процессов на станках с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1984. 224 с.
37. Детали и узлы общего назначения. Ограничительная номенклатура. Сборник №1 2-е изд., Ульяновск: Ульяновский авиационный промышленный комплекс, 1985. 350 с.
38. Детали и узлы станочных приспособлений. Ограничительная номенклатура. Сборник №2 2-е изд., Ульяновск: Ульяновский авиационный промышленный комплекс, 1982. 284 с.
39. Егер С.М. Основы автоматизированного проектирования самолетов: Уч. пособие для студентов авиационных специальностей вузов. 2-е-е изд., М.: Машиностроение, 2001. 246 с.
40. Егер С.М., Мишин В.Ф., Лисейцев Н.К. Проектирование самолетов 3-е перераб. и доп.-е изд., М.: Машиностроение, 1983. 616 с.
41. Ельцов М.Ю., Козлов А.А., Седойкин А.В., Широкова Л.Ю. Проектирование в NX под управлением Teamcenter. Учебное пособие. Белгород: ДМК Пресс, 2010. 784 с.

42. Елифанова О.В., Троицкий Д.И. Автоматизация технологической подготовки производства деталей, изготавливаемых на оборудовании с ЧПУ. // Известия ТулГУ. Технические науки. 2011. № 3. С. 53–61.
43. Ерохин А. П., Денискин Ю. И. Общие подходы к мультипликации по теоретическому контуру параметрических моделей авиационных конструкций 2013. С. 2–14.
44. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - Пер.с англ. М.: Мир, 1975. 542 с.
45. Ключев А.С, Глазов Б.В., Дубровский А.Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. 3-е-е изд., М.: Энергоатомиздат, 1990. 464 с.
46. Колесов И.М. Основные технологии машиностроения: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. 2-е-е изд., М.: Высшая школа, 1999. 591 с.
47. Комаров В.А. и др. Концептуальное проектирование самолёта: учеб. пособие. 2-е изд., Самара: СГАУ, 2013. 120 с.
48. Коптев А.Н., Коптев А.А. Адаптивное взаимодействие в системе «разработчик-производство» // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2014. № 1 (5) (16). С. 1422–1437.
49. Корендясев, А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. М.: Наука, 2006. 376 с.
50. Корендясев, А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. М.: Наука, 2006. 383 с.
51. Коротков Э.М. Исследование систем управления: Учебник для вузов. М.: ДеКа, 2000. 130 с.
52. Корсаков В.С. Автоматизация производственных процессов. М.: Высшая школа, 1978. 295 с.
53. Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Сварочные приспособления. Томск: ЮТИ ТПУ, 2008. 95 с.
54. Краснов М. Unigraphics для профессионалов. М.: ЛОРИ, 2004. 320 с.

55. Кучуганов В. Н., Габдрахманов И.Н. Система визуального проектирования баз знаний Ижевск: Изд-во Ижевского радиозавода, 2001. 140–143 с.
56. Лебедев А.В., Гришин М.В., Павлов П.Ю. и др. Проблемы производства трубопроводов в современном авиастроении. // В мире научных открытий. Красноярск. 2014. № 4 (52). С. 71–82.
57. Либерман Я.Л., Черногорова С.А. Повышение точности систем ЧПУ. // СТИН. 2008. № 1. С. 6–9.
58. Маклаев В.А., Соснин П.И. Создание и использование автоматизированной базы опыта проектной организации Ульяновск: УлГТУ, 2012. 360 с.
59. Манден Я. и др. Как работают японские предприятия. М.: Экономика, 1989. 268 с.
60. Мартыненко А.А., Шкаберин В.А. Применение онтологического подхода для реализации системы интеллектуального поиска в области CALS-, CAD-, CAM-, CAE-технологий Вестник БрГТУ, 2008. 103–110 с.
61. Марьин С.Б. Изготовление деталей из труб давлением эластичных и сыпучих сред для гидрогазовых систем летательных аппаратов. // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2011. № №4 (2) (13). С. 416–419.
62. Местецкий Л.М. Непрерывная морфология бинарных изображений: фигуры, скелеты, циркуляры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 288 с.
63. Накано Э. Введение в робототехнику. под ред. А.М. Филатова к.т.н., перевод А.И. Логинова А.М.Филатова., М.: Мир, 1988. 334 с.
64. Неруш Ю.М. Логистика: Учебник для вузов. 2-е-е изд., М.: Юнити-Дана, 2000. 389 с.
65. Никитин Г.А., Баканов Е.А Основы авиации М.: Транспорт, 1984. 261 с.
66. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. М.: Высшая школа, 1980. 311 с.

67. Открытое акционерное общество «Казанское авиационное производственное объединение им. С.П. Горбунова» Универсальное устройство для сборки деталей трубопроводов. 24 с.

68. Павлов П.Ю. Автоматизация процесса сварки трубопроводов на авиастроительном предприятии с помощью роботизированных сварочных комплексов // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2014. № 1 (5) (16). С. 1521–1527.

69. Павлов П.Ю., Лебедев А.В. Повышение производительности труда инженерных служб авиационного предприятия за счет оптимизации системы документооборота. // Системы управления жизненным циклом изделий авиационной техники: актуальные проблемы, исследования, опыт внедрения и перспективы развития. Ульяновск: УлГУ. 2014. С. 264–275.

70. Павлов П.Ю. Соснин П.И. Концептуально-алгоритмическое программирование и моделирование в проектировании и изготовлении трубопроводных систем летательных аппаратов // Автоматизация процессов управления, Ульяновск, ФНПЦ АО «НПО «Марс». 2016. № 1 (43). С. 97–105.

71. Павлов П.Ю., Соснин П.И. Онтологическая структуризация в параллельном инжиниринге проектирования сборочных приспособлений для летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2016. № 1 (2) (18). С. 373–377.

72. Парамонов Ф.И. Моделирование процессов производства. М.: Машиностроение, 1994. 232 с.

73. Пасько Н.И. Картавцев И.С. Оптимизация контроля обработки на станках с ЧПУ в режиме адаптации. // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 6–1. С. 166–175.

74. Разумов И.М. Организация, планирование и управление предприятием машиностроения: Учебник М.: Машиностроение, 1982. 544 с.

75. Рыбаков А.В., Евдокимов С.А., Краснов А.А. Проектирование технологической оснастки на основе системы автоматизированной поддержки информационных решений // Информационные технологии. 2001. № 10. С. 15–21.

76. Самсонов О.В., Тарасов Ю. Е. Бесплазовое производство авиационной техники: проблемы и перспективы // САПР и Графика. 2000. № №9. С. 33–38.
77. Система контроля трубопроводов  
URL:[http://www.hexagonmetrology.eu/rus/--\\_~~~\\_1815.htm#.Vpv22i\\_ERp0](http://www.hexagonmetrology.eu/rus/--_~~~_1815.htm#.Vpv22i_ERp0) (Дата обращения: 17.01.2016).
78. Смирнов С.В. Онтологическая относительность и технология компьютерного моделирования сложных систем // Известия Самарского научного центра РАН. Самара. 2000. № 1 (2). С. 66–71.
79. Смирнов С.В. Опыт создания средств семантического моделирования и проектирования на массовой программной платформе // Матер. 5-й Междунар. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2015). Минск: БГУИР. 2015. С. 413–416.
80. Сосенушкин Е.Н., Третьюхин В.В., Яновская Е.А. Технологические процессы штамповки изделий из толстостенных труб. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2013. № 2. С. 25–29.
81. Соснин П.И. Концептуальное моделирование компьютеризованных систем Ульяновск: УлГТУ, 2008. 198 с.
82. Соснин П.И. Вопросно-ответное программирование человеко-компьютерной деятельности Ульяновск: УлГТУ, 2010. 240 с.
83. Соснин П.И. Персональная онтология профессионального опыта // Матер. 4-й Междунар. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» (OSTIS-2014). Минск: БГУИР. 2014. С. 147–154.
84. Соснин П.И. Онтологическая Поддержка Концептуального Экспериментирования в Вопросно-Ответных Моделирующих Средах 2014. № Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям», Научное издание в 4-х томах. М.: ФИЗМАТЛИТ (1). С. 488–495.
85. Стахин Н.А. Основы работы с системой аналитических (символьных) вычислений Maxima. (ПО для решения задач аналитических (символьных)

вычислений): Учебное пособие М.: Федеральное агентство по образованию, 2008. 86 с.

86. Суханова А. Игра идет "по-взрослому. Интервью Е.И. Савченко, начальнииа отдела САПР «ОКБ Сухого» // CAD/CAM/CAE Observer. 2006. № №5. С. 7–14.

87. Суханова А. Наше кредо - правильная организация процесса проектирования на основе компьютерной технологии // CAD/CAM/CAE Observer. 2010. № №3. С. 8–18.

88. Фокс А., Пратт А. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на прозводстве. / Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 304 с.

89. Харченко А.О. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие для студентов вузов. К.: ИД «Профессионал», 2004. 304 с.

90. Шахинпур М. Курс робототехники. М.: Мир, 1990. 527 с.

91. Шестопалов, К.К., Новиков А.Н. Основы автоматизированного проектирования. Учебное пособие 2-е издание, исправленное-е изд., М.: МАДИ, 2017. 96 с.

92. Ширялкин А.Ф. Основы формирования многоуровневых классификаций естественного типа для создания эффективных производственных сред в машиностроении. Ульяновск: УлГТУ, 2009. 298 с.

93. Юревич Е.И. ЦНИИ РТК. История создания и развития. 2-е изд., С-Пб.: СПбГТУ, 1999. 110 с.

94. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд., С-Пб.: БХ13–Петербург, 2005. 416 с.

95. Allemang D., Hendler J. Semantic Web for the Working Ontologist: Effective Modeling in RDFS and OWL 2-е изд., 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA: Morgan Kaufmann Publishers is an imprint of Elsevier, 2011. 369 с.

96. Altfeld H.H. Commercial Aircraft Projects: Managing the Development of Highly Complex Product Burlington: Ashgate, 2010.

97. Amadori K. Geometry-Based Design Automation: Applied to Aircraft Modeling and Optimization Linkoping University: Linkoping Studies In Science And Technology, Dissertations, No. 1418, 2012.

98. Bat X., Latecki L.J., Liu W.-Y. Skeleton pruning by contour partitioning with discrete curve evolution // // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2007. № Vol. 29, № 3. C. 1–29.

99. Caignot M.A., Stanislas L., Crespel. V. Scilab / Xcos pour l'enseignement des sciences de l'ingénieur Scilab Enterprises, 2013. 78 c.

100. Deng W., Iyengar S., Brener N. A fast parallel thinning algorithm for the binary image skeletonization // The International Journal of High Performance Computing Applications. 2000. № Vol. 14, № 1. C. 65–81.

101. Haimes R., Drela M. On The Construction of Aircraft Conceptual Geometry for High-Fidelity Analysis and Design, In Proc. of the 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition Nashville, USA: Aerospace Sciences Meeting, 2012.

102. Lynch M. The Key Concepts Of Computer Numerical Control New Mexico: CNC Concepts Inc., 2004. 60 c.

103. Mart T., Cangelir C. Lessons Learned for Better Management of Master Geometry // In Proc. of IFIP International Conference on Product Lifecycle Management. 2013. C. 712–721.

104. Mas F., Mendez J.L., Oliva M., Rios J. Engineering: an Airbus case study. // Procedia Engineering. 2013. № 63. C. 59–62.

105. Mieloszyk J., Goetzendorf-Grabowski T., Mieszalski D. Rapid Geometry Definition For Multidisciplinary Design And Analysis Of An Aircraft // Aviation. 2016. № 20 (2). C. 60–64.

106. Pardessus, T. Concurrent Engineering Development and Practices for Aircraft Design at Airbus In Proc. of the 24th ICAS meeting, 2004.

107. Rizzi A., Zhang M., Nagel B., Boehnke D.I. and Saquet P. Towards a Unified Framework using CPACS for Geometry Management in Aircraft Design, In Proc. of the 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons

Forum and Aerospace Exposition Aerospace Sciences Meeting, Nashville, USA:, 2012.

108. Sebastian T.B., Kimia B.B. Curves vs skeletons in object recognition // Signal Processing. 2005. № Vol. 85. С. 247–263.

109. Sosnin P. Experience-Based Human-Computer Interactions: Emerging Research and Opportunities // IGI-Global. 2017.

110. Sosnin P. Substantially Evolutionary Theorizing in Designing Software-Intensive Systems // Information 2018. 2018. № vol. 9, 4. С. 1–29.

111. Sosnin P. Question-answer programming in collaborative development environmen. In Proceedings of the IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS-2010) Singapore, 2010. С. 273-278.

112. Staab S., Studer R. Handbook on Ontologies Springer, 2009. 832 с.

113. ГОСТ 2601-84. Сварка металлов. Термины и определения основных понятий. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.

114. ГОСТ РВ 2.902-2005. Порядок проверки, согласования и утверждения конструкторской документации. М.: Стандартиформ, 2005.

115. ГОСТ Р 54265-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Воздушный транспорт. Авиационные работы. Классификация. (Air transport. Aviation works. Classification) М.: Стандартиформ, 2012. 24 с.

116. ГОСТ Р 55418-2013. Техника авиационная. Классификация параметров объектов стандартизации. Общие требования М.: Стандартиформ, 2013. 8 с.

117. ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения М.: Стандартиформ, 2014. 16 с.

118. ПИ 1.4.748-80. Дуговая сварка трубопроводов из нержавеющей сталей в среде инертных газов. 60 с.

119. СТП 687.06.0302-79. Формблоки. Типовые конструкции и рекомендации по изготовлению. 52 с.

120. ОК 012-93. Классификатор ЕСКД. введение. 1.79.100 (с изменениями) URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200000470> (Дата обращения: 20.09.2015).

121. [https://www.uacrussia.ru/upload/UAC\\_Strategy.pdf](https://www.uacrussia.ru/upload/UAC_Strategy.pdf).
122. ГОСТ ИСО 9004-1-94. Управление качеством и элементы системы.
123. СТП 687.07.0218-80 - СТП 687.07.0268-80, СТП 687.07.0202-80. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолета. Детали и узлы каркасов. Конструкция и размеры. 178 с.
124. ТИ 756.036.529-88. По изготовлению сварных трубопроводов из сплавов титана. 33 с.
125. ТИ 756.036.524-88. Сварка в среде защитных газов меди и ее сплавов. 15 с.
126. ТИ 687.25303.00002. Изготовление плазовых шаблонов для универсального стенда групповой отработки и контроля. 40 с.
127. ТИ 687.25000.00248. Обеспечение промышленной чистоты при изготовлении трубопроводов, патрубков и корпусов гидробаков. 11 с.
128. СТП 687.10.0744-2006. Конструктивно-технологическая отработка изделий. Основные положения. Порядок организации и проведения. 53 с.
129. СТП 687.07.0873-2004. Система качества. Технологическая подготовка производства. Изготовление и применение плазово-шаблонной оснастки. 168 с.
130. СТП 687.06.0694-2011. Эталонирование трубопроводов гидрогазовых и топливных систем, обеспечение взаимозаменяемости. Технические требования к эталонам труб и патрубков, порядок отработки, технического контроля и хранения. 53 с.
131. СТП 687.04.0111-2005. Правила внесения изменений в конструкторскую документацию изделий основного производства. 58 с.
132. ПИ 1.4.853-2002. Сварка контактная точечная и шовная сталей, жаропрочных и титановых сплавов. 83 с.
133. ПИ 1.4.852-2002. Сварка контактная точечная и шовная алюминиевых, магниевых и медных сплавов. 86 с.

**Вопросно-ответный анализ**

Вопросно-ответный анализ формулировки начнем со следующего предложения:

*Для повышения эффективности проектирования ТО в производстве комплекса трубопроводных систем ЛА разработать прикладную онтологию и средства ее использования в промышленных условиях ориентируясь на МГ самолета представляя детали трубопроводов и их сборки с помощью скелетных геометрических моделей, позволяющих выйти на оснастку и ее применение на примере предварительной сварки деталей.*

С этим предложением следует связать следующие вопросы:

**Q1. Что из себя представляет комплекс трубопроводов ЛА?**

Материально, в основе трубопроводов ЛА лежат протяженные полые цилиндрические тела, образующие определенную сеть трасс. Как уже было сказано выше основное назначение трубопроводов – передача вещества или энергии в рамках следующих систем: топливной, кондиционирования воздуха, гидравлической, пневматической, противообледенительной, пожаротушения, индивидуального жизнеобеспечения и т. д.

Независимо от их назначения трубопроводы состоят из набора типовых деталей: труб (выше, полые цилиндрические тела), патрубков, тройников, фитингов, фланцев, проставок и т. д. Для объединения этих деталей между собой используются сварные, резьбовые, болтовые, соединения пайкой, запрессовка и т. д. С позиции сборки трубопроводов из таких деталей образуются фрагменты трубопроводов. Типовые сборки, в дальнейшем, будут называться типовыми фрагментами трубопроводов. Как было раскрыто в параграфе 1.1, для различных систем ЛА фрагменты трубопровода топологически подобны, как в рамках одной трубопроводной системы, так и в различных системах.

Там же было показано, что трасса прохождения трубопровода зависит от геометрии ЛА, назначения системы, в состав которой они входят, геометрии и расположения силовых элементов планера и узлов крепления, что указывает на

необходимость тщательного учета геометрии на всех этапах ЖЦ каждого трубопровода.

Геометрия ЛА, в этом плане, выполняет порождающую функцию, а так же является источником ограничений, что и привело к термину «Мастер-геометрия» и его использованию, в первую очередь, для каркаса планера.

На основании этого сформулируем следующий ответ на вопрос Q1:

***A1. В основу материализации трубопроводов ЛА следует положить совокупность геометрически подобных моделей трубопроводов специального назначения, каждая из которых привязана к геометрии самолета и состоит из номенклатуры топологически подобных фрагментов трубопроводов.***

***Q2. Что составляет специфику ТО для изготовления трубопроводов современного ЛА?***

Практика проектирования, конструирования и изготовления систем трубопроводов на авиационных предприятиях ориентируется на использование в их материализации широкого набора ТО. Без такой ориентации, а также учета производственного цикла, нацеленного монтаж на узлах крепления силового набора ЛА невозможно эффективное изготовление трубопроводных систем.

В этом плане, ТО для сборки трубопроводов предполагает закрепление фрагментов при помощи ложементов и фиксаторов для последующего их соединения (сварка, пайка, запрессовка, резьбовое соединение, болтовое соединение и т. д.) и контроля геометрии собранного трубопровода.

Причем ложементы и фиксаторы частично повторяют геометрию фрагментов трубопровода и, в частном случае, их взаимное расположение может совпадать с расположением крепления трубопровода на ЛА. Выбор расположения фиксаторов так же зависит от используемой технологии сборки и задается техническим заданием на проектирование ТО.

На основании этого сформулируем следующий ответ на вопрос Q2:

***A2. Специфику ТО для изготовления фрагментов труб, их сборки и производственного контроля их, определяет необходимость согласования единиц ТО с геометрией фрагментов, учитывающей размещение и крепление в ЛА и требования производственных операций.***

***Q2.1. Для чего нужно учитывать размещение крепления фрагментов трубопроводов ЛА с требованиями производственных операций?***

*Конструкторская база* – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Конструкторские базы подразделяются на основные и вспомогательные.

*Технологическая база* – база, используемая для определения положения изделия при изготовлении или ремонте.

*Измерительная база* – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Из вышесказанного следует, что совмещение конструкторской и технологической базы позволяет достичь максимальной точности изготовления, которая будет зависеть только от точности ТО.

Так же стоит отметить, что учет размещения крепления трубопроводов позволит повторно использовать их геометрию и заимствовать технические решения при проектировании узлов навески и ТО.

***А2.1. Фиксация трубопроводов в местах закрепления в ЛА позволит увеличить точность сборки за счет совмещения конструкторских и технологических баз, а так же повторно использовать геометрию и технические решения при проектировании узлов навески и ТО.***

Как уже было сказано в параграфе 1.1 в технологии производства трубопроводов используется не только СТО, но и универсальное оснащение.

Следовательно, на компьютеризованных рабочих местах конструкторско-технологических специалистов приходится взаимодействовать с моделями объектов и средств следующего СТО:

- *СТО*: плита (основание); фиксатор; кронштейн; призма; крепеж и т.д.
- *УСвП*: стол (плита) – основание приспособления; основание кронштейна; подвижная часть кронштейна; пластина; направляющая; фиксатор; призма; крепеж и т. д.
- *Сварочный робот*: основание; звено; захват; электрод; направляющие рельсы и т. д.

Оперативное использование всего этого приводит к необходимости оперирования с многочисленными и разнообразными моделями отмеченных типов конструкторов, экземпляры которых могут отличаться как геометрически, так и параметрами.

В автоматизации КТПП, все что вовлечено в производственные процессы представляется, включая типовые детали трубопроводов, типовые их фрагменты, а также объекты и средства *ТО*, кодируется и сохраняется в совокупности баз данных предприятия с оперативным доступом к их содержанию. В таких формах представления их понятийное содержание теряется, что не способствует поискам творческих решений в проектной деятельности. Для снижения негатива от типа и формы хранения в теории и практики баз данных применяются словари и справочники баз данных. Эффективность таких надстроек над базами данных может быть существенно повышена, если в качестве таких надстроек использовать прикладные онтологии. Следует отметить, что словари-справочники баз данных можно считать предшественниками онтологий.

Именно сказанное выше привело автора к решению использовать прикладные онтологии и к вопросу:

***Q3. За счет чего прикладная онтология и средства ее использования в промышленных условиях повысят эффективность проектирования ТО?***

С внедрением прикладных онтологий в производственные процессы, включая проектирование, конструирование, технологическую подготовку и изготовление связывают следующие положительные эффекты:

4. Контролируемое накопление опыта разработок в форме моделей профессиональных решений, подготовленных к их повторному использованию.
5. Систематизацию моделей, в основу которой положено интерактивное классифицирование и связывание с использованием механизмов систематизации в онтологиях.
6. Контролируемое использование лексики, включая понятия в документах, разрабатываемых в процессе работ.
7. Возможность проведения экспериментов с семантическими моделями.

На названный перечень эффектов логично рассчитывать и в онтологическом сопровождении процесса производства трубопроводов. С онтологическим сопровождением решено связать достижение следующих эффектов:

5. Сохранение, накопление и повторное использование проектных решений для *ТО*.
6. Сохранение параметризованных моделей *ТО* для повторного использования.

7. Использование единой базы понятий в разрабатываемой документации в процессе ТПП.
8. Возможность проведения концептуального моделирования и экспериментирования для принятия оптимальных технических решений во время разработки ТП и проектирования ТО.

Обобщим вышесказанное в следующем ответе:

***А3. Прикладная онтология должна способствовать развитию и накоплению опыта проектных решений и осуществлять поддержку выбора решений инженерами на стадии проектирования ТО, что и приведет к повышению эффективности его проектирования.***

Автоматизация человеческой деятельности может приводить к достижению следующих эффектов:

- Предотвращение и обнаружение ошибок проектирования.
- Сокращение времени на проектирование за счет повторного использования накопленного профессионального опыта.
- Повышение качества проектных решений.
- Повышение степени автоматизации проектных работ за счет концептуального моделирования.
- Унификация проектных решений применима к различным ЖЦ.
- Сокращение затрат на натурные испытания.
- Снижение уровня квалификации проектировщиков.
- Уменьшение влияния человеческого фактора на процесс проектирования.
- Снижение уровня квалификации исполнителей.
- Уменьшение влияния человеческого фактора на ТП за счет переноса части работ или всей работы с человека на машину.
- Сокращение времени обучения персонала.
- Сокращение цикла КТПП.
- Повышение производительности труда работников.
- Увеличение объемов реализуемой продукции.

***Q3.1. Какие эффекты будут достигнуты при использовании прикладной онтологии на стадии проектирования ТО?***

Применительно к процессу проектирования ТО для сборки трубопроводов и производства систем ЛА можно выделить следующие эффекты:

- Предотвращение и обнаружение ошибок проектирования ТО.
- Сокращение времени на проектирование ТО за счет повторного использования накопленного профессионального опыта.
- Повышение степени автоматизации проектных работ за счет концептуального моделирования.
- Уменьшение влияния человеческого фактора на процесс проектирования.
- Сокращение времени обучения персонала.

Подробнее рассмотрим каждый из эффектов:

1) Предотвращение и обнаружение ошибок проектирования ТО.

Ошибки проектирования ТО можно разделить на ошибки, которые:

- зависят от квалификации проектировщика: правильный выбор материала, точек закрепления, типа и вида фиксатора, выбор положения объекта сборки в приспособлении и т. д.
- не зависят от квалификации проектировщика или случайные ошибки: несовпадение диаметров крепежа и отверстий, неправильный выбор резьбы и т.д.

Первый вид ошибок возможно предотвратить за счет накопления и повторного использования профессионального опыта, а также проведения концептуальных экспериментов на этапе выбора технологии и формирования ТЗ на ТО.

Второй вид ошибок возможно предотвратить за счет использования встроенных средств анализа в САПР, которые будут проводить анализ геометрии и концентрировать внимание проектировщика на местах с нестыковкой геометрии и спорных моментах.

2) Сокращение времени на проектирование ТО за счет повторного использования накопленного профессионального опыта.

Данный эффект может быть достигнут за счет аккумуляции удачных технических решений и поиска оптимального решения по заданным параметрам.

3) Повышение степени автоматизации проектных работ на стадии выбора концепции ТО при разработке ТП.

От правильного выбора концепции ТО зависит большое количество параметров, таких как точность изготавливаемой детали, трудоемкость, стоимость и т.д. Поэтому автоматизация выбора концепции будущего ТО на стадии разработки ТП позволит уменьшить количество ошибок, связанных с применением не удачных видов ТО для конкретного ТП.

4) Уменьшение влияния человеческого фактора на процесс проектирования.

Данный эффект может быть достигнут несколькими способами.

Первый способ связан с повторным использованием профессионального опыта и переноса принятия части технических решений с человека на ЭВМ.

Второй способ связан непосредственно с автоматизацией процесса проектирования ТО. В данном случае в автоматизированном режиме происходит построение части ТО или, в идеальном случае, всего ТО.

5) Сокращение времени обучения персонала.

В настоящее время на машиностроительных предприятиях и авиационных в частности, существует проблема нехватки квалифицированных кадров и увеличение выпуска студентов по востребованным специальностям не решает данную проблему из-за того, что студент сразу после выпуска не имеет достаточного количества профессионального опыта и навыков для осуществления профессиональной деятельности.

Создание базы профессионального опыта позволит сократить время обучения специалиста, а также произвести интеграцию части настоящего практического опыта в учебный процесс.

Перейдем к вопросно-ответному анализу второго предложения:

***А3.1. Использование прикладной онтологии позволит уменьшить количество ошибок проектирования ТО, сократить время проектирования за счет повторного использования профессионального опыта, повысить степень автоматизации на стадии выбора концепции ТО, уменьшить влияние человеческого фактора на процесс проектирования и сократить время обучения персонала?***

***Q4. Что представляет из себя МГ самолета?***

Традиционно проектирование любого ЛА начинается с создания его геометрического контура. Изначально материально геометрический контур представлял собой набор теоретических плазов в виде металлических пластин, на

которых в натуральную величину вычерчивались обводы ЛА, от которых далее вычерчивались все детали конструкции планера.

С появлением ЭВМ и САПР геометрические обводы самолета стали задаваться при помощи математических моделей сложных аэродинамических поверхностей, описанных формулами и расположенных в абсолютной СК, которая является единой точкой отсчета для всех деталей планера. Расположение таких конструктивных элементов, как шпангоуты, стрингеры, нервюры, лонжероны задаются плоскостями так же в абсолютной СК. Это позволило вести прямое моделирование всех элементов конструкции планера самолета с использованием средств САПР.

***А4. МГ самолета – набор теоретических поверхностей контура самолета и осей расположения силовых элементов каркаса планера в виде электронных математических моделей, которые служат основой для дальнейшего проектирования всех элементов конструкции и трассировки трубопроводов систем.***

Перейдем к формулировке следующего вопроса по первому предложению:

***Q5. Что является скелетными геометрическими моделями деталей и сборок трубопроводов?***

С геометрией каждой детали, привязанной к МГ самолета, связывается ее скелетное геометрическое представление в виде ломаного набора отрезков с ориентацией по осям трубопроводных частей с координатами концов в абсолютной СК самолета.

Применение скелетного геометрического представления может повысить уровень автоматизации при классификации деталей и узлов трубопровода через анализ топологии и группировки геометрически подобных деталей и сборочных единиц трубопроводов ЛА.

Для деталей труб скелетное геометрическое представление каждой из них будет иметь вид отрезка, ограниченного плоскостями стыков. Плоскость стыка задается тремя точками, расположенными на внутреннем диаметре трубы

***А5. Скелетные геометрические модели являются представлением деталей и сборок трубопроводов систем ЛА в виде точек, соединенных ломаными линиями и служат для объединения в группы геометрически подобные детали и сборки.***

***Онтологическое сопровождение процесса проектирования ТО должно быть ориентировано на накопление опыта проектирования для структуризации которого используются модели прецедентов для доступа к которым разработать систему наименования секций.***

В перечне положительных эффектов от применения прикладной онтологии на первом месте указано накопление и повторное использование профессионального опыта, в моделировании которого целесообразно ориентироваться на естественные формы опыта, как природно-искусственные феномены. В этом плане единицы естественного опыта полезно понимать и представлять, как интеллектуально обработанные условные рефлексy, с исполнением которых связываются прецеденты.

Любой прецедент – это активность человека или группы лиц, связанная с действием или решением, или поведением, осуществлённым в прошлом, которая полезна как образец для повторных использований и/или оправдания повторных действий по такому образцу.

Обобщением вышесказанного является следующее требование к интеграции опыта: в основу модели коллективного опыта, материализованной в компьютерной среде, должны быть положены модели прецедентов, согласованные с моделями прецедентов в мозговых структурах человека.

Прецеденты и их модели обеспечивают повторное реагирование по успешным образцам, что имеет принципиальное значение для проектирования и частично отвечает на следующий вопрос:

***Q6. Почему выбрана прецедентно-ориентированная структуризация профессионального опыта?***

Успех любой проектной деятельности имеет сильную зависимость как от накопленного индивидуального опыта исполнителей, так и от опыта всего коллектива.

В своей деятельности конструкторско-технологический персонал на своих компьютеризованных рабочих местах проводит анализ ТП, ТЗ и геометрии трубопровода и принимает технические решения при разработке ТП и КД на ТО. После чего ТО изготавливается и собирается первый образец трубопровода, по результатам анализа которого принимается решение об успешности принятой технологии и технических решений и, на основании этого, о возможности дальнейшего

использования ТО в серийном производстве или о необходимости доработки или новой разработки ТО с его последующим повторным изготовлением.

Следует отметить, что процесс доработки или перезапуска ТО, как было показано в параграфе 1.2 длительный и затратный, т.к. приходится перезапускать цикл ТПП.

В связи с этим требуется накопление успешных технических решений в виде прецедентов на основе скелетного геометрического представления деталей и сборочных единиц для уменьшения ошибок в разработке ТП и при проектировании ТО, за счет повторного использования примененных ранее успешных технических решений.

***Аб. Прецедентно-ориентированная структуризация профессионального опыта на основе скелетного геометрического представления выбрана потому, что данный подход позволит сократить количество ошибок в разработке ТП и при проектировании ТО, за счет повторного использования примененных ранее успешных технических решений и создания базы опыта проектных решений.***

Исходя из всего выше сказанного перейдем к следующему вопросу:

***Q7. Что является прецедентами и их моделями в процессе проектирования ТО для сборки трубопроводов?***

Как было сказано выше, проектировщик ТО для сборки трубопроводов систем ЛА в своей деятельности оперирует геометрией фрагментов трубопровода ЛА ( $G(SYS^{LA})$ ), а так же разнообразной нормативной текстовой документацией ( $\{D\}$ ), после чего принимает технические решения при разработке СТО, сборки УСвП и написание УП для РСК.

Геометрия фрагментов трубопровода используется при проектировании различных ложементов и фиксаторов, а также служит источником ограничений для ТО. Для представления геометрии фрагментов трубопровода и связи с ТО служит скелетное геометрическое представление деталей, сборок и ТО.

Как было отмечено в параграфе 1.2 в состав нормативной документации входят ДТП от разработчика ЛА, ТП, в котором будет применяться проектируемое ТО, ТЗ на проектирование ТО, а также различные стандарты предприятия, инструкции и т.д.

Разработку моделей ТО ( $G(TO^{LA})$ ) можно кратко записать:

$$G(LA) \cap (\{D\}) \xrightarrow{R} G(TO^{LA})$$

Отсюда можно сделать вывод, что прецедентами являются решения инженера, принятые на основании нормативной документации и геометрии трубопровода, а так как трубопроводы систем ЛА топологически подобны и образуют типовые фрагменты трубопровода, то и решения будут типовыми для таких фрагментов, что значит можно создать базу типовых решений в зависимости от геометрии трубопровода. Прецеденты, в данном случае, имеют материализацию в виде параметризованных моделей ТО.

***A7. Прецедентами для проектирования ТО для сборки трубопроводов являются решения, принятые инженером на основании геометрии трубопровода, представленной в виде скелетных геометрических моделей и текстовой нормативной документации (стандарты, инструкции, ТП, ТЗ, ТУ и т.д.) и материализованные в виде параметризованных моделей ТО.***

Перейдем к работе с вопросом о месте и роли прикладной онтологии в проектировании, который сформулируем следующим образом:

***Q8. Как будет осуществляться онтологическое сопровождение процесса проектирования?***

Как было отмечено выше, особенностью проектирования ТО является то, что математические модели ТО являются порожденными от геометрии фрагментов трубопроводов и нормативной документации, т. е. ТО является «потомком» от этих двух составляющих и на их основе проектировщик ТО принимает технические решения.

Применение прикладной онтологии в данном случае может служить для сохранения профессионального опыта и решений инженерно-технического персонала, которые привели к разработке ТО, а также их использовали. Все профессиональные решения будут сохраняться в памяти компьютера и, впоследствии, извлекаться для повторного использования при помощи редактора онтологий.

Подведем итог в ответе на вопрос ***Q8***:

***A8. Онтологическое сопровождение процесса проектирования будет осуществляться с помощью комплекса средств, центральное место в котором занимает совокупность псевдокодовых программ, обслуживающих создание и использование онтологии.***

*Разработка должны быть проведена в среде, обеспечивающей согласованное прототипирование действий робота, запрограммированного на прототипирование технологических действий концептуальное экспериментирование и моделирование в условиях оперативного использования онтологии опыта.*

Одной из принципиальных составляющих работ с опытом является его развитие. Типовой единицей развития опыта являются эксперименты, активно используемые в науке и практике.

В проектировании эксперименты должны обуславливать работы с проектными решениями, для которых принято выделять их концептуальную проработку, а значит полезны эксперименты, обслуживающие проектные решения на концептуальном уровне, т.е. концептуальные эксперименты.

Концептуальный эксперимент – это мысленный эксперимент, процесс и содержание которого отображается на семантическую память, а результат экспериментирования оперативно используется в процессе решения задач.

С применением концептуального экспериментирования и моделирования связывают следующие положительные эффекты:

- для профессиональных задач, исполняемых специалистом, осуществляется их отображение их типовых поведенческих единиц (прецедентов) на семантическую память, в ячейках которой можно регистрировать вопросно-ответные рассуждения, сопровождающие процесс решения задачи с учётом семантики, уровень которой достаточен для решения задачи;
- если в процессе рассуждений, появляется вопрос, который требует проверки на соответствие требованиям задачи, то такая проверка осуществляется в форме эксперимента на понятийном (концептуальном) уровне, в чём-то подобно мысленному эксперименту;
- если требуется проверка алгоритмики действий человека, то она осуществляется с использованием специализированного псевдокодированного языка, определённом над семантической вопросно-ответной памятью;
- экспериментально проверяемая задача, интерпретируется как прецедент, то есть подготавливается для повторного использования (для повторной проверки

эксперимента, например, при совместной работе, или для типового использования в профессиональной деятельности).

Концептуальное экспериментирование частично позволяет находить проектные решения до их материализации в виде ТО, что имеет принципиальное значение для проектирования и частично отвечает на следующий вопрос:

***Q9. Почему разработка должна быть проведена в среде, обеспечивающей концептуальное экспериментирование и моделирование?***

Концептуальное экспериментирование и моделирование процесса разработки ТП и ТО для сборки трубопроводов позволит проводить проверку на непротиворечивость и выполнимость пунктов и требований нормативной документации, а так же анализировать правильность принятых технических решений, что приведет к уменьшению вероятности принятия ошибочного решения на стадии инженерной подготовки и, как следствие, снижению издержек, вызванных неверными или непродуманными и непроверенными решениями до стадии производства.

***A9. Концептуальное экспериментирование и моделирование позволит на стадии формирования ТП и ТЗ проводить анализ принятых технических решений и выбрать оптимальный вариант ТП и ТО до стадии производства.***

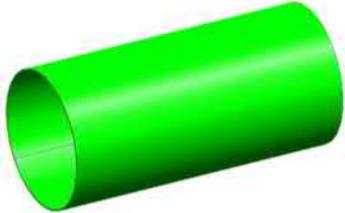
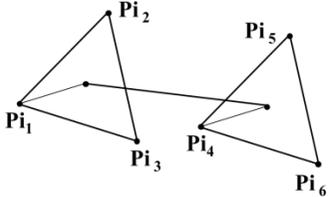
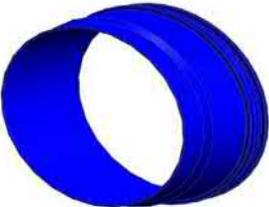
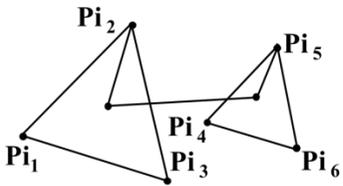
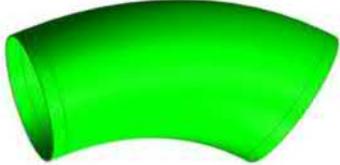
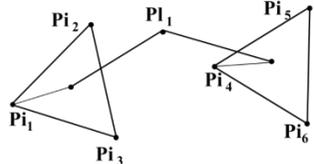
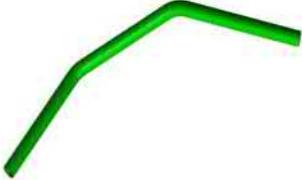
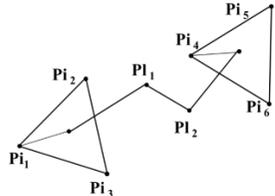
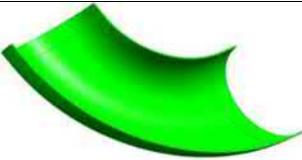
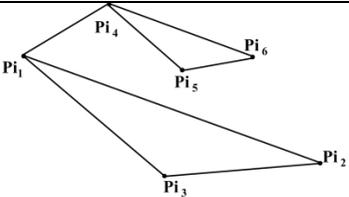
Эффекты от онтологической поддержки ЖЦ

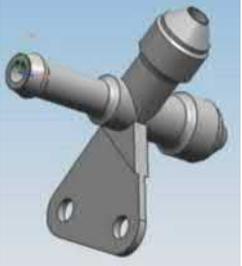
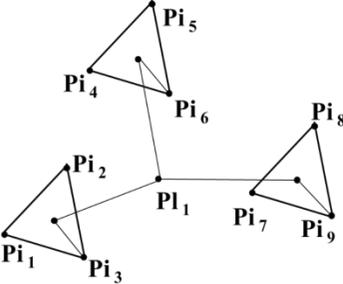
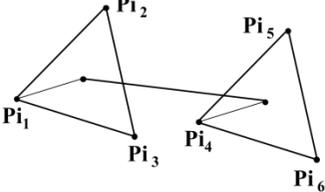
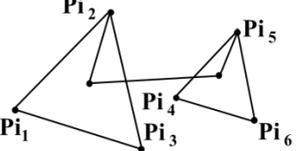
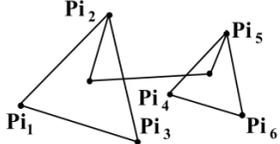
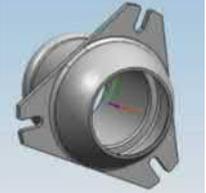
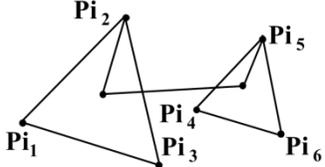
№	Наименование	Автоматизация	Что автоматизируется (как)
Проектирование СТО			
A1	Разработать ТП для сборки трубопровода	База ТП	
A1.1	Анализ КД, ТУ, ТТ	База «Требование - решение»	Предложения по выполнению требований
A1.2	Отработка на технологичность	База ТП	Проведение концептуальных экспериментов
A1.3	Разработка маршрута изготовления	База маршрутов изготовления	Предложения маршрутов в зависимости от требований
A1.4	Выбор членения трубопровода на детали	База вариантов членения трубопровода	Предложения вариантов членения исходя из маршрута
A1.5	Расчет режимов сварки	База режимов сварки	Предложение режимов, расчет режимов
A1.6	Выбор мест фиксации трубопровода (предварительный)	База решений по фиксации деталей трубопровода	Предложения по выбору мест фиксации
A1.7	Разработка технологических переходов	База технологических переходов	Предложение технологических переходов
A1.8	Выбор оптимального ТП	База ТП	Предложения по вариантам ТП
A1.9	Проверка ТП	База ТП	Проверка ТП на ошибки
A2	Разработать ЭМТ	Сопровождение процесса	Разработка ЭМТ с учетом характеристик оборудования и ТП
A3	Разработать КД на СТО	Сопровождение процесса разработки ТП	База КД на СТО и база технических решений + онтология, автоматизация построения частей СТО
A4	Изготовить СТО	-	
A5	Оформить сопроводительную документацию	База шаблонов документов	Автоматизированное заполнение документации
A6	Проконтролировать СТО	Накопление результатов изготовления СТО	База результатов контроля СТО для последующего использования при концептуальном моделировании
A7	Сдать СТО в ЦКС	-	-
Разработка УП			
B1	Разработать ТП для сборки трубопровода	База ТП	Предложения по вариантам ТП
B1.1	Анализ КД, ТУ, ТТ	База «Требование - решение»	Предложения по выполнению требований
B1.2	Отработка на технологичность	База ТП	Проведение концептуальных экспериментов

V1.3	Разработка маршрута изготовления	База маршрутов изготовления	Предложения маршрутов в зависимости от требований
V1.4	Выбор членения трубопровода на детали	База вариантов членения трубопровода	Предложения вариантов членения исходя из маршрута
V1.5	Расчет режимов сварки	База режимов сварки	Предложение режимов, расчет режимов
V1.6	Выбор мест фиксации деталей трубопровода (предварительный)	База решений по фиксации деталей трубопровода	Предложения по выбору мест фиксации
V1.7	Разработка технологических переходов	База технологических переходов	Предложение технологических переходов
V1.8	Выбор оптимального ТП	База ТП	
V1.9	Проверка ТП	База ТП	Проверка ТП на ошибки
V2	Разработать ЭМТ	Сопровождение процесса	Разработка ЭМТ с учетом характеристик оборудования (РСК) и ТП
V3	Разработать ТЗ на УП	База ТЗ	Автоматизация разработки ТЗ
V4	Разработать УП для РСК	Сопровождение процесса разработки УП	База УП на СТО + онтология
V4.1	Анализ КД, ТП, ТЗ		База технических решений + онтология
V4.2	Выбор мест захвата частей трубопровода (окончательный)	База решений по захвату частей трубопровода	Предложения по выбору мест захвата частей трубопровода
V4.3	Выбор точек сварки	База решений по выбору точек сварки	Предложения по выбору точек сварки
V4.4	Генерация УП	База УП	Повторное использование УП
V4.5	Проверка УП		Проверка кода УП на ошибки
V4.6	Оформление документации	База шаблонов документов	Автоматизированное заполнение документации
V5	Оформить сопроводительную документацию	База шаблонов документов	Автоматизированное заполнение документации
V6	Собрать трубопровод		
V6.1	Настроить и выставить манипуляторы	База УП, нормативных документов по настройке оборудования	Поиск необходимых инструкций
V6.2	Сварить трубопровод	База УП, база нормативных документов по сварке	Поиск необходимых инструкций
V7	Проконтролировать трубопровод	Накопление результатов сварки	База результатов контроля трубопроводов для последующего использования при концептуальном моделировании

### Приложение 3

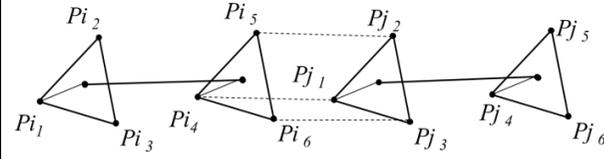
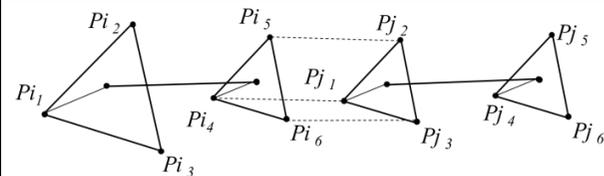
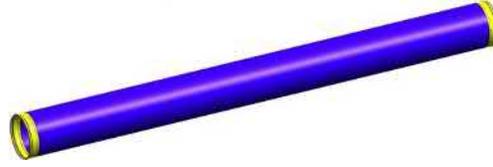
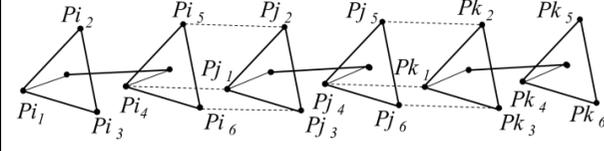
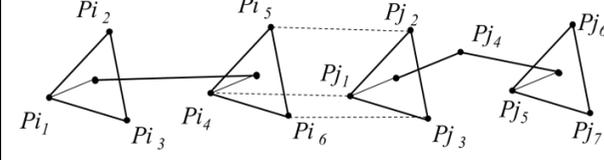
#### Геометрическое и списковое представление деталей трубопроводов

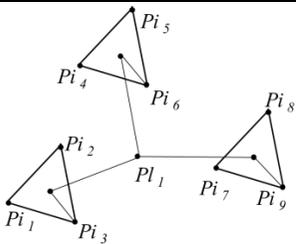
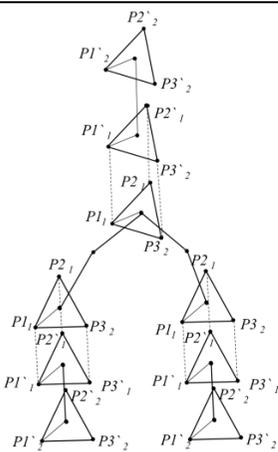
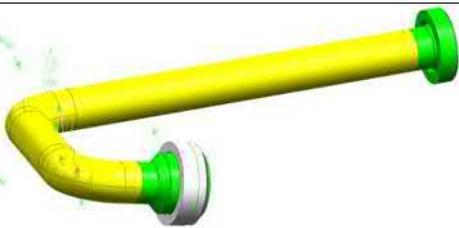
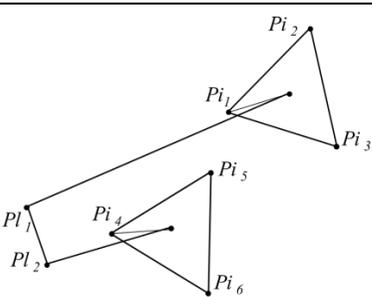
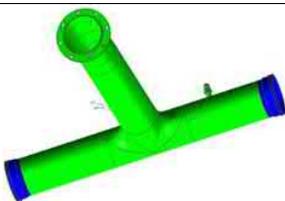
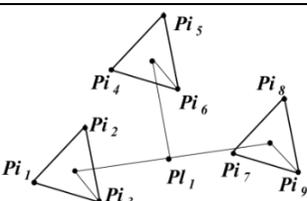
№	Наименование	Внешний вид	Геометрическое представление	Списковое представление
1.	Трубопровод прямой			$det\_number_i;$ $connection\_type_{i1};$ $D_i; P_{i1}; P_{i2}; P_{i3} \$$ $det\_number_{i2};$ $connection\_type_{i2};$ $P_{i4}; P_{i5}; P_{i6}.$
2.	Фланец			$det\_number_i; connection\_type_{i1}; D_{i1}; P_{i1};$ $P_{i2}; P_{i3}; \$ det\_number_{i2};$ $connection\_type_{i2}; D_{i2}; P_{i4}; P_{i5}; P_{i6}.$
3.	Труба гнутая			$det\_number_{i1}; connection\_type_{i1}; D_{i1};$ $P_{i1}; P_{i2}; P_{i3}; P_{l1} \$$ $det\_number_{i2}; connection\_type_{i2}; P_{i4};$ $P_{i5}; P_{i6}; P_{l1};$
4.	Труба гнутая в двух плоскостях			$det\_number_{i1}; connection\_type_{i1}; D_{i1};$ $P_{i1}; P_{i2}; P_{i3}; P_{l1}; P_{l2} \$$ $det\_number_{i2}; connection\_type_{i2}; P_{i4};$ $P_{i5}; P_{i6}; P_{l2}; P_{l1}.$
5.	Листовая деталь			$det\_number_1; connection\_type_1; D_1;$ $P_{11}, P_{21}, P_{31}, \$$ $det\_number_2; connection\_type_2; D_2;$ $P_{12}, P_{22}, P_{32}$

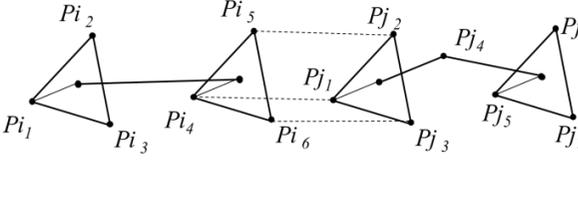
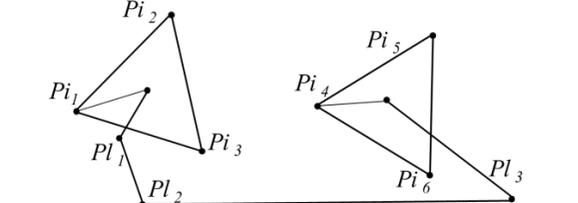
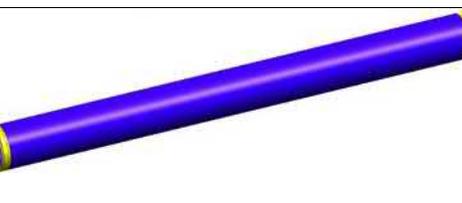
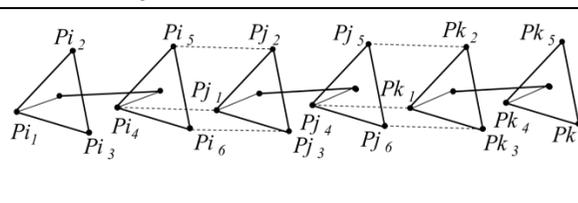
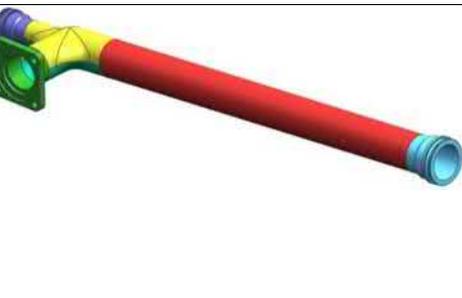
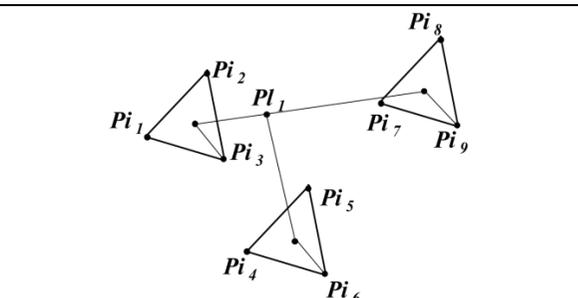
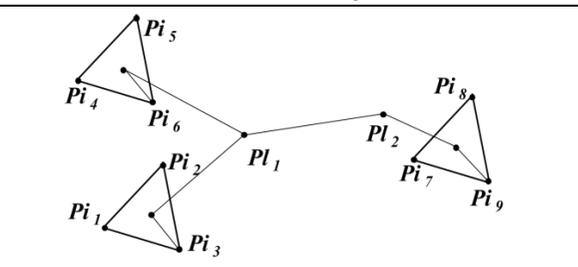
6.	Тройник (механообрабатываемый)			$det\_number_{i_1}; connection\_type_{i_1}; Di_1;$ $Pi_1; Pi_2; Pi_3; Pl_1 \$$ $det\_number_{i_2}; connection\_type_{i_2}; Di_2;$ $Pi_4; Pi_5; Pi_6; Pl_1 \$$ $det\_number_{i_3}; connection\_type_{i_3}; Di_3;$ $Pi_7; Pi_8; Pi_9; Pl_1.$
7.	Муфта			$det\_number_{i_1}; connection\_type_{i_1}; Di_1;$ $Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$$ $det\_number_{i_2}; connection\_type_{i_2}; Pi_4;$ $Pi_5; Pi_6.$
8.	Штуцер			$det\_number_{i_1}; connection\_type_{i_1}; Di_1;$ $Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$$ $det\_number_{i_2}; connection\_type_{i_2}; Di_2;$ $Pi_4; Pi_5; Pi_6.$
9.	Переходник			$det\_number_{i_1}; connection\_type_{i_1}; Di_1;$ $Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$$ $det\_number_{i_2}; connection\_type_{i_2}; Di_2;$ $Pi_4; Pi_5; Pi_6.$
10.	Фланец			$det\_number_{i_1}; connection\_type_{i_1}; Di_1;$ $Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$$ $det\_number_{i_2}; connection\_type_{i_2}; Di_2;$ $Pi_4; Pi_5; Pi_6.$

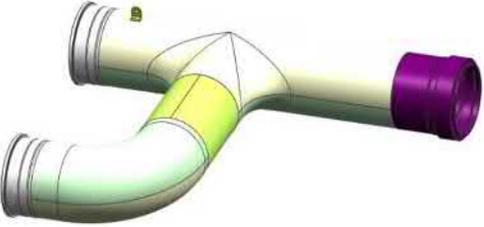
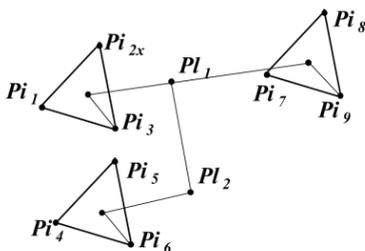
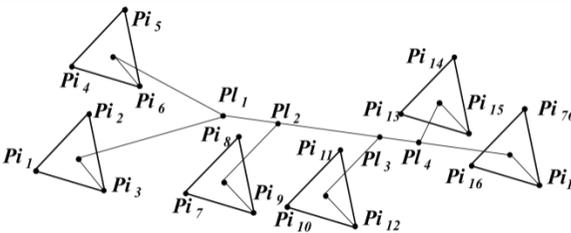
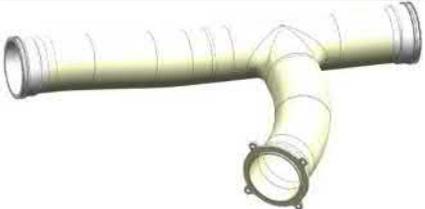
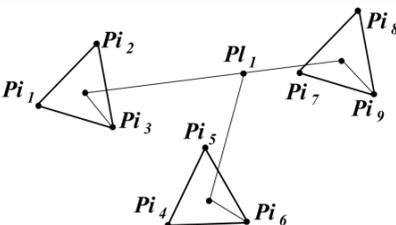
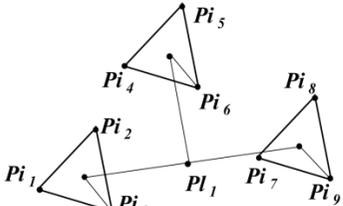
## Приложение 4

### Геометрическое и списковое представление сборок трубопроводов

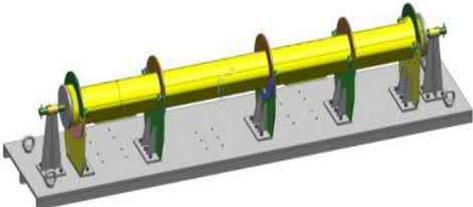
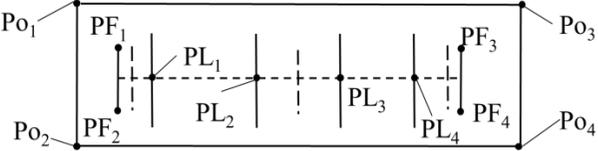
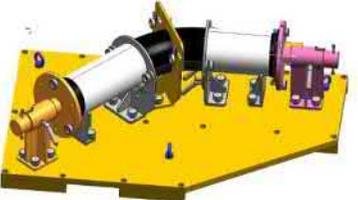
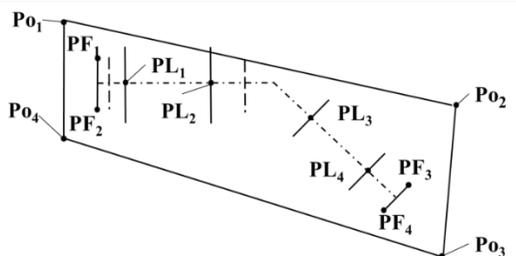
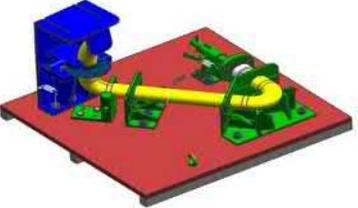
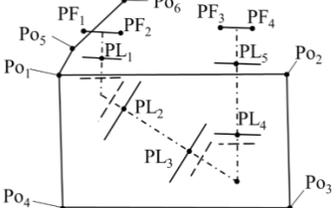
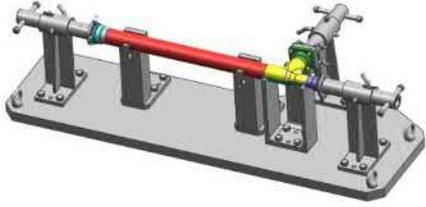
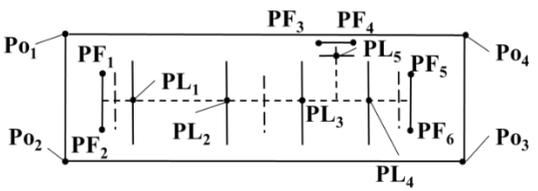
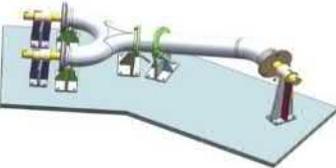
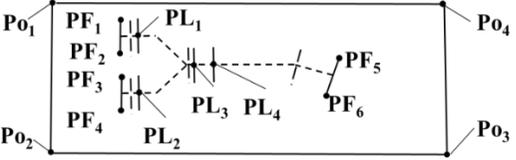
№	Наименование	Внешний вид	Геометрическое представление	Списковое представление
1	2	3	4	5
1.	Сборка двух прямых труб			$det\_number_i; connection\_type_{i1}; D_i; Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$ det\_number_{i2}; connection\_type_{ij}; Pi_4; Pi_5; Pi_6 \$ \$ det\_number_{j1}; connection\_type_{j1}; Dj_1; Pj_1; Pj_2; Pj_3; \$ det\_number_{j2}; connection\_type_{j2}; Pj_4; Pj_5; Pj_6.$
2.	Сборка трубы с фланцем			$det\_number_{i1}; connection\_type_{i1}; D_{i1}; Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$ det\_number_{i2}; connection\_type_{i2}; Pi_4; Pi_5; Pi_6. \$ \$ det\_number_{j1}; connection\_type_{j1}; Dj_1; Pj_1; Pj_2; Pj_3; \$ det\_number_{j2}; connection\_type_{j2}; Pj_4; Pj_5; Pj_6.$
3.	Сборка трубы с двумя фланцами			$det\_number_{i1}; connection\_type_{i1}; D_{i1}; Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$ det\_number_{i2}; connection\_type_{i2}; Pi_4; Pi_5; Pi_6. \$ \$ det\_number_{j1}; connection\_type_{j1}; Dj_1; Pj_1; Pj_2; Pj_3; \$ det\_number_{j2}; connection\_type_{j2}; Pj_4; Pj_5; Pj_6$
4.	Сборка трубы с фланцем			$det\_number_{i1}; connection\_type_{i1}; D_{i1}; Pi_1; Pi_2; Pi_3; \$ det\_number_{i2}; connection\_type_{i2}; Pi_4; Pi_5; Pi_6. \$ \$ det\_number_{j1}; connection\_type_{j1}; Dj_1; Pj_1; Pj_2; Pj_3; Pj_4; \$ det\_number_{j2}; connection\_type_{j2}; Pj_5; Pj_6. Pj_7;$

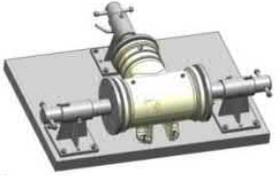
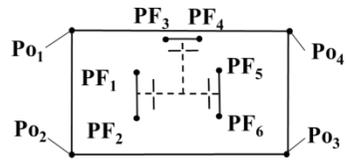
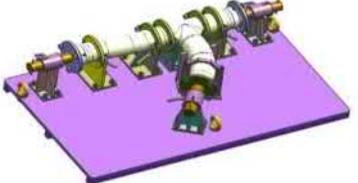
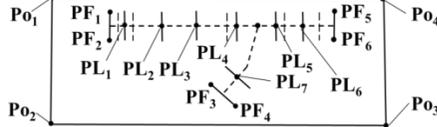
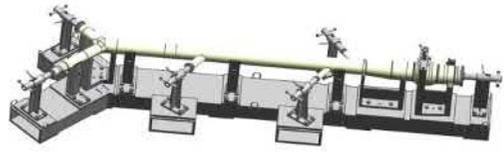
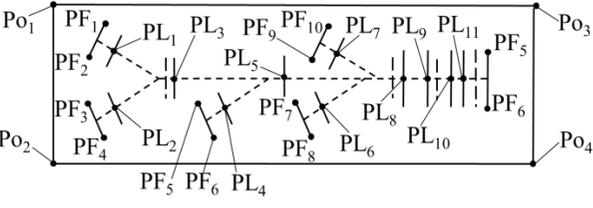
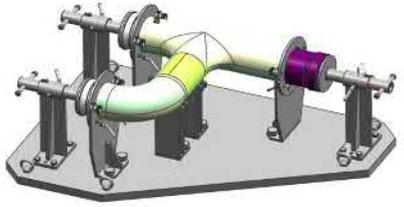
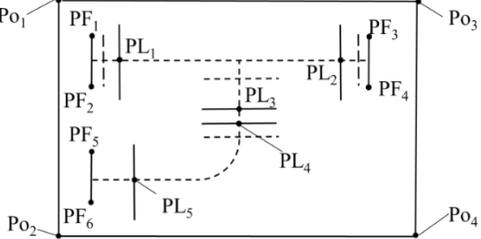
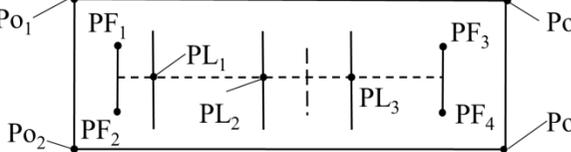
1	2	3	4	5
5.	Тройник (сборка)			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Di2; Pi4; Pi5; Pi6; \$$ $det\_number\_i3; connection\_type\_i3;$ $Di3; Pi7; Pi8; Pi9.$
6.	Сборка трубы с ответвлением и фланцами			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.$ $$$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1;$ $Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; $ det\_number\_j2;$ $connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
7.	Сборка трубы гнутой в двух плоскостях			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.$ $$$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1;$ $Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; $ det\_number\_j2;$ $connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
8.	Сборка тройника			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.$ $$$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1;$ $Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; $ det\_number\_j2;$ $connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$

1	2	3	4	5
9.	Сборка трубопровода гнутого в одной плоскости			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1; Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2; connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6. \$\$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1; Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2; connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
10.	Сборка трубопровода гнутого в двух плоскостях			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1; Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2; connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6. \$\$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1; Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2; connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
11.	Сборка трубопровода прямого			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1; Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2; connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6. \$\$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1; Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2; connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
12.	Сборка трубопровода прямого ответвлением переменным диаметром			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1; Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2; connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6. \$\$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1; Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2; connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
13.	Сборка трубопровода гнутого ответвлением			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1; Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2; connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6. \$\$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1; Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2; connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$

1	2	3	4	5
14.	Сборка трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.$ $$$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1;$ $Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2;$ $connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
15.	Сборка трубопровода прямого с ответвлением переменным диаметром			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.$ $$$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1;$ $Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2;$ $connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
16.	Сборка трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.$ $$$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1;$ $Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2;$ $connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$
17.	Тройник			$det\_number\_i1; connection\_type\_i1;$ $Di1; Pi1; Pi2; Pi3; \$ det\_number\_i2;$ $connection\_type\_i2; Pi4; Pi5; Pi6.$ $$$ det\_number\_j1; connection\_type\_j1;$ $Dj1; Pj1; Pj2; Pj3; \$ det\_number\_j2;$ $connection\_type\_j2; Pj4; Pj5; Pj6$

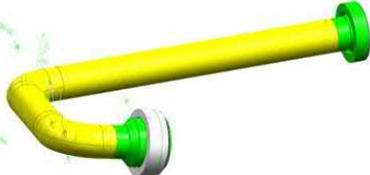
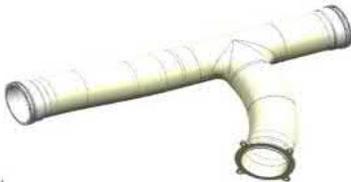
Геометрическое и списковое представление СТО

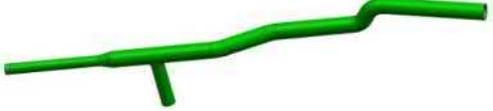
№	Наименование	Внешний вид	Геометрическое представление	Списковое представление
1.	СТО для сборки трубопровода прямого			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4.</i>
2.	СТО для сборки трубопровода гнутого в одной плоскости			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4.</i>
3.	СТО для сборки трубопровода гнутого в двух плоскостях			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4, Po5, Po6 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4; PL5.</i>
4.	СТО для сборки трубопровода прямого с ответвлением			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4; PF5, PF6 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4; PL5.</i>
5.	СТО для сборки трубопровода гнутого с ответвлением			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4; PF5, PF6 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4.</i>

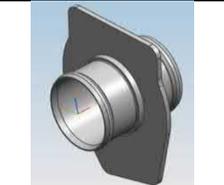
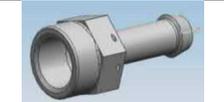
6.	Сто для сборки тройника			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4; PF5, PF6.</i>
7.	СТО для трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4; PF5, PF6 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4.</i>
8.	СТО для трубопровода прямого с ответвлением переменным диаметром			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4; PL5; PL6; PL7;</i> <i>PL8; PL9; PL10.</i>
9.	СТО для трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением переменным диаметром			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4; PF5, PF6 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3; PL4; PL5.</i>
10.	СТО для сварки патрубка			<i>STO_number \$</i> <i>Po1, Po2, Po3, Po4 \$</i> <i>PF1, PF2; PF3, PF4 \$</i> <i>PL1; PL2; PL3.</i>

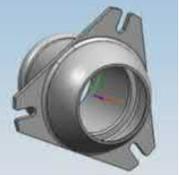
## Приложение 6

### Детали, сборки и под сборки трубопроводов систем ЛА для классификационного

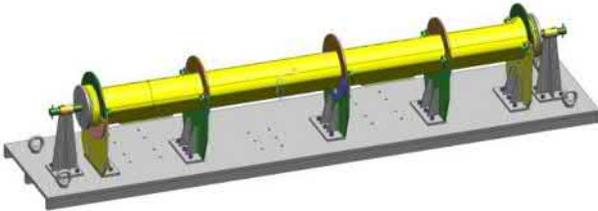
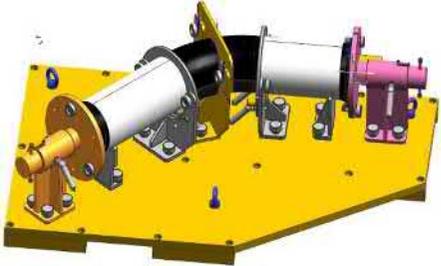
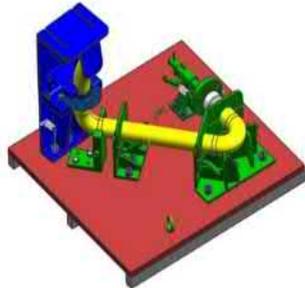
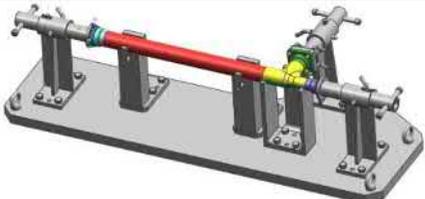
№	Наименование	Классификационный код	Тех. индекс	Внешний вид
1.	Трубопровод прямой	01.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.01	
2.	Трубопровод гнутый в одной плоскости	02.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.02	
3.	Трубопровод гнутый в двух плоскостях	03.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.03	
4.	Трубопровод прямой с ответвлением	04.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.04	
5.	Трубопровод прямой с ответвлением с переменным диаметром	05.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.05	
6.	Трубопровод гнутый в одной плоскости с ответвлением	06.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.06	

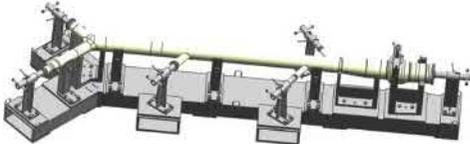
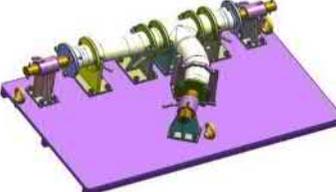
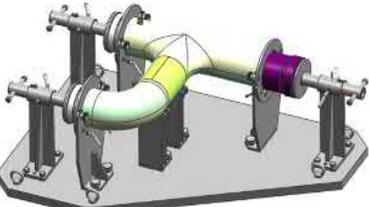
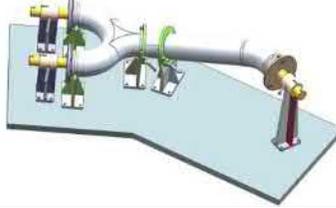
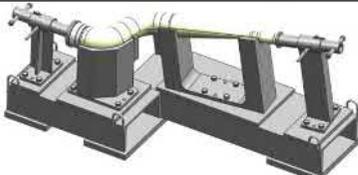
7.	Трубопровод гнутый в одной плоскости с ответвлением и переменным диаметром	07.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.07	
8.	Трубопровод гнутый в двух плоскостях с ответвлением	08.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.08	
9.	Трубопровод гнутый в одной плоскости с переменным диаметром	09.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.09	
10.	Трубопровод гнутый в двух плоскостях с ответвлением с переменным диаметром	10.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.10	
11.	Короб	11.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.11	
12.	Патрубок	12.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.ПТ.01	
13.	Тройник (сборка)	13.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	ТРП.ТР.01	
<b>Детали трубопровода</b>				
14.	Труба прямая	XX.1XXXXXXXXXXXXXXXXX	ДТ.01	

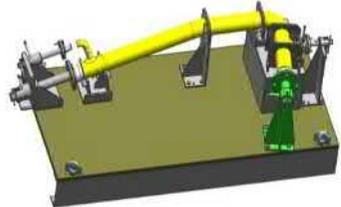
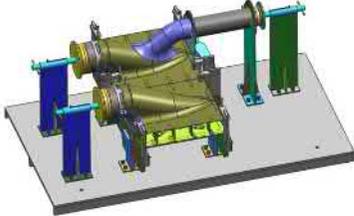
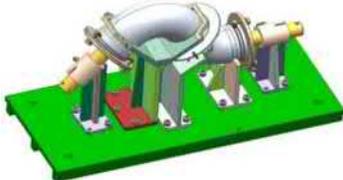
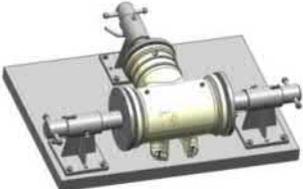
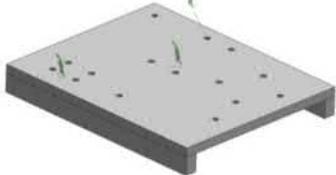
15.	Труба гнутая в одной плоскости (деталь)	XX.X1XXXXXXXXXXXXXX	ДТ.02	
16.	Труба гнутая в двух плоскостях (деталь)	XX.XX1XXXXXXXXXXXXXX	ДТ.03	
17.	Патрубок	XX.XXX1XXXXXXXXXXXXXX	ДТ.04	
18.	Муфта	XX.XXXX1XXXXXXXXXXXXXX	ДТ.05	
19.	Стакан	XX.XXXXX1XXXXXXXXXXXXXX	ДТ.06	
20.	Штуцер	XX.XXXXXX1XXXXXXXXXXXXXX	ДТ.07	
21.	Переходник	XX.XXXXXXX1XXXXXXXXXXXXXX	ДТ.08	

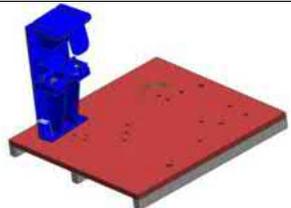
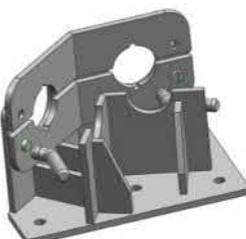
22.	Фланец	XX.XXXXXXXXXX1XXXXX	ДТ.09	
23.	Тройник (механообрабатываемый)	XX.XXXXXXXXXX1XXXX	ДТ.10	
24.	Экран	XX.XXXXXXXXXXXXX1XXX	ДТ.11	
25.	Полупатрубок	XX.XXXXXXXXXXXXX1XX	ДТ.12	
26.	Резерв	XX.XXXXXXXXXXXXX1X		
27.	Резерв	XX.XXXXXXXXXXXXX1		

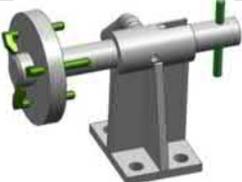
Классифкатор СТО для сборки трубопроводов

№	Наименование	Классификационный код	Тех. индекс	Внешний вид
Иерархическая часть классификационного кода СТО				
1.	СТО для трубопровода прямого	01.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.01	
2.	СТО для трубопровода гнутый в одной плоскости	02.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.02	
3.	СТО для трубопровода гнутого в двух плоскостях	03.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.03	
4.	СТО для трубопровода прямого с ответвлением	04.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.04	

5.	СТО для трубопровода прямого с ответвлением с переменным диаметром	05.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.05	
6.	СТО для трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением	06.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.06	
7.	СТО для трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением с переменным диаметром	07.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.07	
8.	СТО для трубопровода гнутого в двух плоскостях с ответвлением	08.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.08	
9.	СТО для трубопровода гнутого в одной плоскости с переменным диаметром	09.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.09	

10.	СТО для трубопровода гнутого в двух плоскостях с ответвлением с переменным диаметром	10.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.10	
11.	СТО для короба	11.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.11	
12.	СТО для патрубка	12.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.12	
13.	СТО для тройника	13.XXXXXXXXXXXXXXXXXX	СВП.13	
Фасетная часть для классификационного кода СТО				
14.	Основание (плита)	XX.1XXXXXXXXXXXXXXXXX	СВО.01	
15.	Основание рамное (профиль)	XX.2XXXXXXXXXXXXXXXXX	СВО.02	

16.	Основание с вертикальной плитой	XX.3XXXXXXXXXXXXXX	СВО.03	
17.	Ложемент прямой	XX.X1XXXXXXXXXXXXXX	СВЛ.01	
18.	Ложемент прямой с рубильником	XX.XX1XXXXXXXXXXXXXX	СВЛ.02	
19.	Ложемент двойной угловой	XX.XXX1XXXXXXXXXXXXXX	СВЛ.03	
20.	Ложемент двойной угловой с рубильниками	XX.XXXX1XXXXXXXXXXXXXX	СВЛ.04	

21.	Ложемент наклонный	XX.XXXXXX1XXXXXXXXXX	СВЛ.05	
22.	Ложемент наклонный с рубильником	XX.XXXXXX1XXXXXXXXXX	СВЛ.06	
23.	Ложемент двойной	XX.XXXXXXX1XXXXXX	СВЛ.07	
24.	Ложемент тройной с рубильником	XX.XXXXXXX1XXXXXX	СВЛ.08	
25.	Ложемент цельно фрезерованный	XX.XXXXXXXXXX1XXXX	СВЛ.09	
26.	Фиксатор фланца с прижимами	XX.XXXXXXXXXXX1XXX	СВФ.01	

27.	Фиксатор фланца с внутренней фиксацией	XX.XXXXXXXXXXXXXX1XX	СВФ.02	
28.	Фиксатор фланца косой	XX.XXXXXXXXXXXXXX1X	СВФ.03	
29.	Резерв	XX.XXXXXXXXXXXXXX1		

## Приложение 8

### Классификатор УП для РСК

№	Наименование	Классификационный код	Тех. индекс	
Иерархическая часть				
1.	УП для трубопровода прямого	УПТ.03.01.01	УПТ.01	
2.	УП для трубопровода гнутого в одной плоскости	УПТ.03.01.02	УПТ.02	
3.	УП для трубопровода гнутого в двух плоскостях	УПТ.03.01.03	УПТ.03	
4.	УП для трубопровода прямого с ответвлением	УПТ.03.01.04	УПТ.04	
5.	УП для трубопровода прямого с ответвлением с переменным диаметром	УПТ.03.01.05	УПТ.05	
6.	УП для трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением	УПТ.03.01.06	УПТ.06	
7.	УП для трубопровода гнутого в одной плоскости с ответвлением с переменным диаметром	УПТ.03.01.07	УПТ.07	
8.	УП для трубопровода гнутого в двух плоскостях с ответвлением	УПТ.03.01.08	УПТ.08	
9.	УП для трубопровода гнутого в одной плоскости с переменным диаметром	УПТ.03.01.09	УПТ.09	
10.	УП для трубопровода гнутого в двух плоскостях с ответвлением с переменным диаметром	УПТ.03.01.09	УПТ.10	
11.	УП для Короба	УПТ.03.01.10	УПТ.11	
12.	УП для трубопровода Патрубок	УПТ.03.01.11	УПТ.12	
13.	УП для трубопровода тройника (сборка)	УПТ.03.01.12	УПТ.12	
Фасетная часть для классификационного кода деталей трубопровода				
14.	Подвод инструмента в рабочую зону	1.0.0.0.	УПТ. XX.01	
15.	Вывод инструмента из рабочей зоны	0.1.0.0.	УПТ. XX.02	
16.	Сварка прямого среза	0.0.1.0.	УПТ. XX.03	
17.	Сварка косого среза	0.0.0.1.	УПТ. XX.03	

```

&ACCESS RVP
&REL 1
&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\ExpertVorgabe
&PARAM EDITMASK = *
DEF Trajectory( )

; - Kuka src file, generated by FreeCAD (http://www.freecadweb.org)
; - Wed Dec 28 00:02:15 2016

;----- definitions -----
EXT BAS (BAS_COMMAND: IN, REAL: IN); set base to World
BAS (#INITMOV, 0); Initialicing the defaults for Vel and so on

;----- main part -----
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 16.231, Y -929.858, Z 1162.000, a 168.000, B 0.000, C 180.000}; Pt
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 240.702, Y -898.311, Z 1162.000, A -178.000, B 0.000, C 180.000}; Pt1
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 559.688, Y -742.731, Z 1162.000, A -156.000, B 0.000, C 180.000}; Pt2
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 849.597, Y -378.265, Z 1162.000, A -127.000, B -0.000, C 180.000}; Pt3
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 873.914, Y -318.079, Z 1162.000, A -123.000, B 0.000, C 180.000}; Pt4
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 679.426, Y -247.291, Z 1361.784, A -122.240, B 4.413, C -160.473} ; Pt5
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 723.030, Y -0.000, Z 1361.784, A -102.240, B 4.413, C -160.473}; Pt6
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 587.615, Y -0.000, Z 1645.688, A -78.806, B -6.653, C 30.347}; Pt7
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 633.693, Y -0.000, Z 1076.769, A -77.837, B 4.624, C -20.507}; Pt8
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 789.815, Y -0.000, Z 817.692, A -82.090, B 10.350, C -52.283}; Pt9
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 798.747, Y -0.000, Z 570.995, A -87.478, B 12.757, C -78.718}; Pt10
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1144.032, Y -0.000, Z 755.596, A -80.571, B 8.990, C -43.257}; Pt11
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1089.893, Y -0.000, Z 359.905, A -85.485, B 12.204, C -69.517}; Pt12
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1521.942, Y -0.000, Z 991.616, A -77.008, B -0.450, C 1.949}; Pt13

```

```

$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1398.722, Y -0.000, Z 994.460, A -80.571, B -8.990, C 43.257}; Pt14
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1256.649, Y -0.000, Z 1106.943, A -83.415, B -11.234, C 59.352}; Pt15
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1530.433, Y -0.000, Z 465.640, A -78.090, B 5.250, C -23.452}; Pt16
WeldStart
WeldStop
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1121.685, Y -0.000, Z 372.192, A -84.845, B 11.951, C -66.460}; Pt17
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 961.618, Y -0.000, Z 648.351, A -83.814, B 11.456, C -61.379}; Pt18
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 850.075, Y -0.000, Z 1364.156, A -96.186, B 11.456, C -118.621}; Pt19
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1034.418, Y -0.000, Z 1303.419, A -96.186, B 11.456, C -118.621}; Pt20
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1312.932, Y -0.000, Z 1452.299, A -93.197, B 12.607, C -104.353}; Pt21
WeldStart
WeldStop
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1173.017, Y -0.000, Z 1319.505, A -102.906, B -1.571, C 173.178}; Pt22
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1143.407, Y -0.000, Z 1457.497, A -101.624, B 5.862, C -153.597}; Pt23
WeldStart
WeldStop
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 19.955, Y -1143.233, Z 1457.497, a 169.376, B 5.862, C -153.597}; Pt24
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 16.231, Y -929.858, Z 1162.000, a 168.000, B 0.000, C 180.000}; Pt25

; ----- end -----
END

```

Фрагмент кода УП для выставления трубы

&ACCESS RVP

&REL 1

&PARAM TEMPLATE = C:\KRC\Roboter\Template\ExpertVorgabe

&PARAM EDITMASK = \*

DEF Trajectory ( )

; - Kuka src file, generated by FreeCAD (<http://www.freecadweb.org>)

; - Wed Dec 28 00:42:05 2016

```

; ----- definitions -----
EXT BAS (BAS_COMMAND: IN, REAL: IN); set base to World
BAS (#INITMOV, 0); Initialicing the defaults for Vel and so on

; ----- main part -----
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 16.231, Y -929.858, Z 1162.000, a 168.000, B 0.000, C 180.000}; Pt1
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 930.000, Y -0.000, Z 1162.000, A -103.000, B 0.000, C 180.000}; Pt1
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 960.148, Y -0.000, Z 1475.097, A -77.231, B 2.460, C -10.725}; Pt2
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1310.637, Y -0.000, Z 837.864, A -81.733, B 10.068, C -50.271}; Pt3
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X 1301.641, Y -0.000, Z 1094.854, A -79.165, B 7.226, C -33.314}; Pt4
$VEL.CP = 1.000000; m/s; m/s
LIN {X -0.000, Y -930.000, Z 1162.000, a 167.000, B 0.000, C 180.000}; Pt5

; ----- end -----
END

```

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2018610044**

**Программа автоматизированного проектирования  
ложементов средств технологического оснащения для  
сборки трубопроводов**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский  
государственный университет» (RU)*

Авторы: *Блюменштейн Алексей Александрович (RU),  
Павлов Павел Юрьевич (RU)*

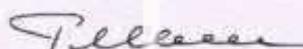
Заявка № **2017661440**

Дата поступления **07 ноября 2017 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **09 января 2018 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Ивлиев**



## Приложение 11

Утверждаю  
первый проректор – проректор  
по учебной работе

  
С.Б. Бакланов  
«02» / 02 2018



### АКТ

О внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы  
Павлова Павла Юрьевича

Результаты диссертационной работы Павлова П.Ю. «Методы и средства прецедентно-ориентированного проектирования и сборки узлов трубопроводных систем летательных аппаратов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в учебный процесс студентов по направлениям подготовки бакалавриата 24.03.04 «Авиастроение», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» и магистратуры 27.04.03 «Системный анализ и управление» в рамках проведения лекционных, практических и лабораторных занятий по предметам «Инженерная и компьютерная графика», «Проектирование средств технологических оснащений», «Системы компьютерного проектирования высокотехнологичных изделий» и «Автоматизированные системы конструкторско-технологической подготовки производства», а также в курсовом и дипломном проектировании при подготовке ВКР.

Зав. кафедрой ММТС  
к.ф.-м.н., доцент

  
Санников И.А.  
«03» / 09 2018



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«АВИАСТАР-СП»

г. Ульяновск

АКТ

07.10.2018 № \_\_\_\_\_



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы  
Павлова Павла Юрьевича,  
Представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертационная работа Павлова Павла Юрьевича на тему «Методы и средства прецедентно-ориентированного проектирования и сборки узлов трубопроводных систем летательных аппаратов» была выполнена в рамках выпуска изделий авиационной техники гражданского и двойного назначения.

Результаты теоретических исследований, практических экспериментов, научно-технических разработок были использованы при проектировании технологической оснастки в рамках технологической подготовки производства, а так же в рамках ОКР с АО «Авиастар-СП» №406/140 от 23.06.2017 г. по теме: «Разработка электронных моделей приспособлений для сборки узлов и агрегатов воздушных судов».

Результаты диссертационной работы аспиранта Ульяновского государственного технического университета Павлова П.Ю. использованы при производстве таких воздушных судов как Ил-76МД-90А, Ил-78МД, МС-21, а именно:

- интерактивная классификация сборок и деталей, а также оснастки;
- методики поддержки процесса проектирования оснастки с учетом накопления опыта разработок в форме моделей, готовых к повторному использованию;
- программные модули, отвечающие за формирование 3D модели ложемента, разработанные как надстройка системы Siemens NX на языке C#.

Разработанные Павловым П.Ю. технические решения позволили создать комплекс поддержки процесса проектирования оснастки для сборки трубопроводов. Внедрение данного комплекса может обеспечить улучшение характеристик процесса технологической подготовки производства:

1. Применение методов классификации и систематизации по отношению к имеющейся оснастки для сборки трубопроводов позволит создать базу опыта проектных решений и сократить количество проектных ошибок при выборе типа технологического оснащения, что приведет к ориентировочному снижению длительности цикла подготовки производства на 15% и к снижению затрат на 10%.
2. Методики онтологической поддержки процесса проектирования оснастки для сборки трубопроводов совместно с программными модулями позволят сократить время проектирования в 1,5-2 раза.

Применение предложенных в работе принципов, методик и базовых алгоритмических решений для совершенствования процесса проектирования оснастки принесет значительные положительные эффекты в технологическую подготовку авиационных предприятий.

Главный технолог

  
\_\_\_\_\_ / Н.А. Шамилов /

Начальник отд. 125

  
\_\_\_\_\_ / Ю.К. Ерохин /

Начальник КБ отд. 125

  
\_\_\_\_\_ / Л.Б. Макеев /