

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

Бригаднов Сергей Игоревич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО
АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ И ОБУЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКА
ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ СРЕДСТВАМИ САПР КОМПАС**

Специальность: 05.13.12 – Системы автоматизации

проектирования (промышленность)

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор,

Афанасьев Александр Николаевич

Ульяновск – 2018

Оглавление

Принятые сокращения и обозначения.....	4
Введение.....	5
Глава 1. Методы и средства повышения качества проектных решений в процессах автоматизированного проектирования машиностроительных изделий.....	11
1.1 Методы параметрического анализа и оптимизации проектных решений машиностроительных объектов.....	11
1.2 Обзор широко применяемых на производстве САПР и систем анализа проектных решений	16
1.3 Анализ особенностей организации автоматизированных систем обучения и моделей профессиональных компетенций.....	41
1.4 Постановка задачи.....	60
1.5 Выводы.....	61
Глава 2. Разработка автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения.....	64
2.1 Разработка метода структурно-параметрического анализа проектного решения.....	64
2.2 Организация системы анализа проектных решений.....	77
2.3 Формирование классификации и списка правил анализа проектных решений.....	80
2.4 Разработка метода автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений.....	96
2.5 Концептуальная схема архитектуры автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения.....	103
2.6 Выводы и рекомендации.....	107
Глава 3 Разработка математического обеспечения автоматизированной системы обучения проектной деятельности в САПР.....	109
3.1 Разработка модели компетенций.....	109

3.2 Разработка концептуальной модели автоматизированной обучающей системы.....	125
3.3 Разработка модели предметной области в автоматизированной обучающей системе.....	129
3.4 Выводы и рекомендации.....	133
Глава 4 Реализация автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения.....	135
4.1 Разработка компонентной архитектуры автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения.....	135
4.2 Реализация системы поиска неоптимальных проектных операций проектировщика.....	142
4.3 Реализация системы классификации машиностроительных изделий.....	149
4.4 Оценка эффективности деятельности проектировщика при использовании системы классификации машиностроительных изделий...	161
4.5 Оценка эффективности и качества обучения проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D при использовании разработанной АОС	166
4.6 Выводы и рекомендации.....	174
Заключение.....	176
Список литературы.....	177
Приложение 1. Классификация трехмерных твердотельных машиностроительных изделий.....	196
Приложение 2. Правила конструирования и рекомендации, используемые в разработанной системе анализа проектных решений.....	203
Приложение 3. Акт о внедрении в учебный процесс УлГТУ.....	211
Приложение 4. Акт о внедрении на предприятии АО «Ульяновский механический завод».....	212

Принятые сокращения и обозначения

МКЭ – метод конечных элементов

CAD – Computer-aided design

САПР – система автоматизированного проектирования

ЧПУ – числовое программное управление

ФГОС – Федеральный государственный образовательный стандарт

ПК – профессиональная компетенция

АОС – автоматизированная обучающая система

API – Application Programming Interface

UML – Unified Modeling Language

XML – eXtensible Markup Language

БД – база данных

УМ – учебный материал

ДЕ – дидактическая единица

КЗ – контрольное задание

Введение

Актуальность темы.

Промышленность – очень сложная отрасль с точки зрения организации производства [94]. Процессу производства изделий машиностроения присущи следующие особенности: большая номенклатура производимых деталей, которая постоянно обновляется; длительный срок производства и работы продукции, начиная от проектирования и заканчивая обслуживанием уже готовой машины; наличие как серийного, так и уникального производства [94, 95] и т.д. Оптимизация данных процессов и объединение их в единый комплекс позволят контролировать все этапы производства. В результате произойдет рост показателей производительности, улучшение качества проектирования и изготовления, снижение себестоимости продукции, контроль над эффективностью использования инвестиций, высокая скорость выпуска новых продуктов [94].

Обеспечение конкурентоспособности современных промышленных и проектных предприятий (организаций) определяется степенью информатизации производственного процесса, в первую очередь использованием САПР, позволяющих повысить качество проектных решений, сократить сроки проектирования и ресурсы. При этом важными задачами являются оценка и возможность повторного использования проектных решений, эффективность решения которых позволяет улучшить характеристики объектов проектирования, сократить время, затрачиваемое на разработку документации, преобразование данных и поиск информации об изделиях.

САПР КОМПАС [60, 61] представляет собой профессиональную систему трехмерного моделирования, ставшую стандартом для множества промышленных предприятий за счет удачного сочетания простоты освоения и работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования, которые решают большинство основных задач проектировщиков. Система состоит из множества средств для работы со сложными проектными

решениями, содержащими большое количество элементов. Наличие в составе специализированных приложений и библиотек стандартных элементов, а также расчетных модулей и средств визуализации повышают эффективность работы конструкторов и проектировщиков машиностроительных изделий.

В практике проектной деятельности по разработке 3D-моделей машиностроительных объектов достаточно часто встречается ситуация, связанная с выполнением операций проектировщиком, являющихся «лишними» и которых можно избежать. В результате усложняется дерево проектных решений, а при автоматизированной разработке программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) увеличивается их сложность.

Задачи промышленного конструирования требуют наличия определенных компетенций у проектировщика, которые сложно приобрести с использованием классических подходов к обучению. Поэтому создание эффективных методов и средств обучения проектировщика автоматизированному проектированию является необходимым условием для решения и выполнения промышленных задач в области автоматизированного проектирования машиностроительных объектов.

Таким образом, актуальной задачей в области автоматизированного проектирования машиностроительных объектов является повышения уровня автоматизации структурно-параметрического анализа проектных решений за счет повторности их использования, сокращения количества проектных операций и обеспечения соответствующих компетенций проектировщиков.

Разрабатываемые методы и алгоритмы должны обеспечить приобретение необходимых компетенций проектировщику для успешной проектной деятельности в области автоматизированного проектирования, повышение эффективности обучения. Система анализа проектных решений должна повысить качество проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, за счет уменьшения сложности получаемых программ для станков с ЧПУ.

Целью исследований является повышение качества проектных решений при конструировании трехмерных объектов в САПР КОМПАС-3D.

Задачи исследования

1. Провести обзор подходов построения систем анализа проектных решений машиностроительных изделий.
2. Провести анализ моделей, методов и средств обучения автоматизированному проектированию машиностроительных объектов с использованием САПР.
3. Разработать метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций, выполненных в САПР КОМПАС-3D.
4. Разработать модели автоматизированной системы обучения: компетенций, алгоритм формирования траектории обучения, концептуальную модель АОС.
5. Реализовать и разработать предложенные модели, методы и алгоритмы в виде программного комплекса для ЭВМ.

Объектом исследования является организация проектной деятельности проектировщиков при автоматизированном проектировании машиностроительных изделий в среде САПР КОМПАС-3D на основе анализа дерева построения проектных решений.

Предметом исследования являются модели, методы и средства анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D.

Методы исследования основаны на использовании положений и методов теории автоматизированного проектирования, разработки автоматизированных обучающих систем, графов, классификации, объектно-ориентированного программирования, организации систем.

Научная новизна.

1. Метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций, отличающийся анализом дерева модели проектного решения и анализом операций объектов трехмерного моделирования, выполненных в среде САПР КОМПАС -3D. Метод позволяет

перестроить дерево модели проектного решения и классифицировать изделия машиностроительных объектов.

2. Метод автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений на основе уже имеющихся фактов и правил, отличающийся анализом зависимости между операциями твердотельного моделирования в САПР КОМПАС-3D и позволяющий формировать новые правила для анализа проектных решений.

3. Ассоциативно-ориентированная модель компетенций проектировщика, отличающаяся установлением взаимосвязей между знаниями, умениями и навыками, связанных с предметной областью автоматизированного проектирования машиностроительных объектов, и позволяющая сформировать последовательность освоения компетенций и адаптировать процесс обучения автоматизированному проектированию в САПР КОМПАС-3D.

4. Алгоритм формирования персонифицированной траектории обучения, отличающийся использованием ассоциативно-ориентированной модели компетенций проектировщика и позволяющий повысить эффективность и качество обучения.

Личный вклад. Научные результаты, приведённые в диссертационной работе и сформулированные в положениях, выносимых на защиту, получены автором лично. Научному руководителю принадлежит формулировка концепции решаемой проблемы и постановка цели исследования.

Практическая ценность полученных результатов состоит в разработке наукоемкого программного комплекса, включающего следующие компоненты.

1. Архитектуру автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика.

2. Алгоритм поиска неоптимально выполненных проектных операций, замены их на операции с меньшим количеством действий и перестроения 3D-модели проектного решения в САПР КОМПАС-3D, позволяющий уменьшить количество объектов в дереве проектного решения и уменьшить сложность получаемых управляющих программ для станков с ЧПУ.

3. Алгоритм классификации машиностроительных изделий, позволяющий повторно использовать 3D-модели машиностроительных изделий, выполненных в САПР КОМПАС-3D, и сократить время проектной деятельности проектировщика при конструировании трехмерных объектов в САПР на 11%.

4. Алгоритм автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений, позволяющий сформировать новые правила для анализа проектных решений машиностроительных изделий.

5. Базу данных для хранения проектных решений на базе NoSQL, выполненных в САПР КОМПАС-3D, со списком параметров 3D-модели изделий на основе разработанных моделей в методе структурно-параметрического анализа проектных решений.

6. WEB-ориентированную систему обучения автоматизированному проектированию машиностроительных объектов в САПР КОМПАС-3D на основе разработанных модели компетенций проектировщика, модели предметной области, модели обучаемого проектировщика и алгоритма формирования адаптивной траектории обучения, позволяющей повысить эффективность и качество обучения проектировщика.

Апробация работы. Основные положения по теме диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих всероссийских и международных конференциях: Российской научно-методической конференции «Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество», г. Казань, 2014; Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника» (ИБТ-2014), г. Ульяновск, 2014; Всероссийской школе-семинаре аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования» (ИМАП-2015), г. Ульяновск, 2015; Международной научно-практической конференции «Электронное обучение в непрерывном образовании 2015», г. Ульяновск, 2015; Международной конференции «INTERACTIVE SYSTEMS: Problems of Human - Computer Interaction Collection of scientific papers», г. Ульяновск, 2015; Молодежном инновационном форуме Приволжского

федерального округа, г. Ульяновск, 2016; Конкурсе научно-технического творчества молодежи (НТТМ), г. Ульяновск, 2016; Научно-технической конференции «Вузовская наука в современных условиях», г. Ульяновск, 2016; Международной научно-практической конференции «Электронное обучение в непрерывном образовании 2016», г. Ульяновск, 2016; Международной молодежной конференции «Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта» (CAD/CAM/PDM-2016), г. Москва, 2016; Всероссийской школе-семинаре аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования» (ИМАП-2016), г. Ульяновск, 2016; Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника» (ИВТ-2016), г. Ульяновск, 2016; Международной научно-практической конференции «Электронное обучение в непрерывном образовании 2017», г. Ульяновск, 2017; Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика и вычислительная техника» (ИВТ-2017), г. Ульяновск, 2017; Всероссийской школе-семинаре аспирантов, студентов и молодых ученых «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования» (ИМАП-2017), г. Ульяновск, 2017; Второй международной Российско-тихоокеанской конференции по компьютерным технологиям и приложениям, г. Владивосток, 2017; Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава УлГТУ (ППС-2018), г. Ульяновск, 2018; Международной научно-практической конференции «Электронное обучение в непрерывном образовании 2018», г. Ульяновск, 2018.

Публикации.

По теме диссертации опубликована 25 печатная работа, в том числе 2 статьи в российских рецензируемых научных журналах, 1 статья в издании, индексируемом в WEB OF SCIENCE (принята к публикации), 1 статья в издании, индексируемом в SCOPUS (принята к публикации). Получено 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

Глава 1 Методы и средства повышения качества проектных решений в процессах автоматизированного проектирования машиностроительных изделий

Повышение качества проектных решений при конструировании трехмерных объектов в САПР КОМПАС-3D достигается за счет структурно-параметрического анализа проектных решений машиностроительных объектов, выполненных проектировщиком в САПР, перестроение проектного решения САПР на основе результатов анализа, а также за счет организации автоматизированного обучения проектировщика в области конструирования машиностроительных объектов и повышение его профессиональных компетенций (знаний, умений и навыков).

Целью данной главы является исследование подходов, методов и средств анализа и оптимизации проектных решений САПР. Проведен обзор современных средств анализа проектных решений, выполненных в машиностроительных САПР, а также моделей, методов и средств персонифицированного управления учебным процессом в автоматизированных обучающих системах (АОС).

Определены профессиональные компетенции инженера-проектировщика на основе рассмотренных профессиональных рабочих стандартов, соответствующих требованиям ФГОС.

1.1 Методы параметрического анализа и оптимизации проектных решений машиностроительных объектов

Рассмотрим основные методы и инструменты инженерного анализа проектных решений в области проектирования машиностроительных объектов САПР.

Метод конечных элементов

Метод конечных элементов (МКЭ), разработанный на основе матричных методов расчета механических конструкций, в настоящее время рассматривается как основной способ решения задач инженерного анализа проектных решений, выполненных в машиностроительных САПР. Данный метод предназначен для моделирования механических, тепловых и электрических задач [66, 96].

При анализе методом конечных элементов исходная область определения функции разбивается при помощи сетки на определенные подобласти – конечные элементы. Искомая непрерывная функция аппроксимируется кусочно-непрерывной, определенной на множестве конечных элементов. Аппроксимация может задаваться произвольным образом: как правило, для этого используются полиномы, которые подбираются для обеспечения непрерывности искомой функции в узлах на границах конечных элементов [96].

Для двумерных объектов довольно часто используются конечные элементы в форме треугольников и четырехугольников. Для трехмерных объектов чаще всего используются конечные элементы в форме тетраэдра и параллелепипеда, которые также могут иметь прямолинейные и криволинейные границы.

Инструменты анализа проектных решений в САПР КОМПАС

Рассмотрим механизмы и системы анализа проектных решений, выполненных в среде САПР КОМПАС-3D. Далее приведены основные возможности и функционал рассмотренных систем.

В практике проектной деятельности широко используются следующие инструменты анализа.

1. Универсальный механизм «Express»: позволяет проводить кинематический и динамический анализ проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D.
2. Инструмент АРМ FEM - система прочностного анализа для КОМПАС-3D (на основе метода конечных элементов).

Библиотека «**Универсальный механизм Express**» предназначена на инженеров-конструкторов, которые занимаются анализом динамического поведения машин и механизмов. Библиотека входит в комплект стандартных приложений для САПР КОМПАС-3D. Механизмы в библиотеке описаны как системы, состоящие из твердых тел, шарниров и силовых элементов. В процессе анализа поддерживается анимация движения трехмерной модели в процессе расчета. Для анализа доступны практически все необходимые величины:

координаты, скорость, ускорение, сила реакций в шарнирах, усилие в пружинах и т.д.

Основными возможностями использования библиотеки «Универсальный механизм Express» являются:

- возможность работы в процессе проектирования с линейными силовыми элементами или элементами, изменяющимися по гармоническому закону, которые выбираются из фиксированной базы моделей;
- возможность задания равномерного равноускоренного/равнозамедленного движения, либо его изменение по гармоническому закону для решения задач кинематики;
- возможность решения контактных взаимодействий тел (задача решается при условии, что тела не пересекаются при кинематическом или динамическом движении).

Библиотека «Универсальный механизм Express» позволяет производить динамический анализ моделей сборок, спроектированных в КОМПАС-3D и состоящих из неограниченного числа абсолютно твердых тел.

APM FEM – система прочностного анализа, интегрированная в САПР КОМПАС-3D в качестве инструмента для подготовки и последующего конечно-элементного анализа трехмерной твердотельной модели (детали или сборки). Разработка трехмерной геометрической модели машиностроительных изделий и выбор материала изготовления осуществляются с использованием программных средств системы САПР КОМПАС-3D. При помощи системы APM FEM проектировщик прикладывает нагрузки различных типов, указывает граничные условия, создает конечно-элементную сетку и выполняет расчет. При этом процедура генерации сетки конечных элементов проводится автоматически.

Система APM FEM позволяет проектировщику произвести следующие виды расчетов: статический; на устойчивость; собственных частот и форм колебаний; тепловой. В результате выполненных системой APM FEM расчетов проектировщик получает определенную информацию: коэффициент запаса устойчивости конструкции; частоты и формы собственных колебаний

конструкции; карту распределения температур в конструкции; массу и момент инерции модели, координаты центра тяжести; карту распределения нагрузок, напряжений, деформаций в конструкции.

Инструмент **“Механика: Пружины”** – система автоматизированного проектирования пружин. Приложение позволяет выполнять проверочные и проектные расчеты для следующих видов пружин: растяжения, сжатия, тарельчатых и конических пружин, кручения. По результатам выполненных расчетов автоматически генерируются чертежи и трехмерные модели. Основу приложения составляют следующие методики расчета:

- для пружин сжатия и растяжения – методика, изложенная в ГОСТ 13764-86, ГОСТ 13765-86;
- для тарельчатых пружин – методика, изложенная в ГОСТ 3057-90;
- для пружин кручения – методика из книги В. И. Анурьева «Справочник конструктора- машиностроителя», том 3;
- для конических пружин – методика из книги С. Д. Пономарева, Л. Е. Андреевой «Расчет упругих элементов машин и приборов».

Выполнив проектный расчет, система предлагает множество удовлетворяющих исходным данным решений, из которых проектировщик может выбрать оптимальное по одному или нескольким критериям.

В системах автоматизированного проектирования представлены различные подсистемы анализа, например: прочностной анализ, включающий статический расчёт, расчёт устойчивости, расчёт собственных частот и формы собственных колебаний, расчёт стационарной теплопроводности и термоупругости; анализ динамического поведения машин и механизмов [78]; проверку на соответствие стандартам оформления в подсистеме КОМПАС-Эксперт [76] (расстояние между размерными линиями, размещение текста, наличие пересечений у размерной линии, стили линий и засечек и т. п.), соответствие ограничительным перечням предприятия (разрешенное значение шероховатости, качества, резьб и т. п.) [77], соответствие правилам работы в КОМПАС (ручной ввод размеров, привязка

обозначения позиции к спецификации, использование объекта осевая, а не линии со стилем осевая и т. п.); расчёт размерных цепей и пружин; оптимизация зубчатого зацепления; подбор электродвигателей, редукторов и муфт.

Следует отметить, что в контексте рассматриваемой в диссертационной работе задачи – структурно-параметрического анализа проектных решений машиностроительных изделий на основе последовательности проектных операций – в современных САПР отсутствует анализ действий проектировщика в процессе проектирования трехмерных твердотельных изделий.

Методы структурной оптимизации проектных решений

Для решения задачи поиска оптимального проектного решения рассмотрим основные методы структурной оптимизации, такие как оптимизация размеров и формы.

Структурной оптимизацией называется “автоматический синтез механических компонентов на основании их структурных свойств” [97]. То есть, структурная оптимизация позволяет автоматически получить оптимальную со структурной точки зрения конструкцию компонента. При этом подразумевается оптимизация непосредственно целевой функции (как правило, жесткости или возможностей производства, веса или стоимости) при выполнении структурных и иных ограничений на конструкцию (ограничения на размер и вес, расположение точек опоры, максимально допустимые напряжения, минимальный теплоотвод, максимально допустимый вес и т. п.). Структурная оптимизация требует (рисунок 1.1) наличия средств геометрического моделирования для описания формы детали, алгоритма оптимизации для поиска оптимального решения, а также средств структурного анализа для решения задачи [97].



Рис. 1.1 Компоненты структурной оптимизации

Методы структурной оптимизации классифицируются по типам переменных, которые описывают геометрию проектного решения. Целевая функция, а также конструктивные ограничения записываются в виде функций этих переменных. Исходя из того, какими свойствами компонента управляют конструктивные параметры в определенной задаче оптимизации, ее называют оптимизацией размеров или оптимизацией формы.

Оптимизация размеров – один из основных методов структурной оптимизации, суть которого состоит в изменении размеров конструкции, сохраняя при этом ее форму и топологию. Таким образом, данный вид оптимизации позволяет определить такие значения конструктивных параметров, которые дают оптимальное структурное поведение конструкции [97].

Оптимизация формы заключается в сохранении неизменной топологии конструкции при изменении ее формы. В этом случае переменные оптимизации определяют форму конструкции. Важно отметить, что оптимизация размеров, как правило, является побочным эффектом оптимизации формы. Другими словами, оптимизация размеров может являться частным случаем оптимизации формы.

В качестве переменных оптимизации могут выступать параметры, определяющие какие-либо особенности конструкции. То есть, переменной оптимизации может являться длина стороны детали или радиус отверстия. Следует заметить, что при изменении данных параметров может значительно измениться геометрия конструкции. Обычно при этом становится необходимо перестроить сетку конечных элементов.

1.2 Обзор широко применяемых на производстве САПР и систем анализа проектных решений

Рассмотрим некоторые современные системы автоматизированного проектирования в области машиностроения. Обозначим их основные возможности и отличительные особенности.

NX

САПР NX [67] предоставляет ключевые возможности для быстрой, эффективной и гибкой разработки продукта: расширенные решения для концептуального проектирования, 3D-моделирования и документации; мультидисциплинарное моделирование для структурных, движущихся, тепловых, потоковых и многофизических приложений; готовые решения для обработки деталей, обработки и контроля качества [98].

Отличительной особенностью САПР NX является наличие инструментов для автоматизированного проектирования [101], конструирования и производства (CAD / CAM / CAE) [62-65], обеспечивающих совместную работу между дизайнерами, инженерами и различными организациями за счет комплексного управления данными.

Программное обеспечение Siemens PLM обеспечивает визуальные аналитические средства и инструменты проверки, которые позволяют быстро синтезировать информацию, проверять проекты на соответствие требованиям и принимать обоснованные решения. NX обеспечивает визуальную отчетность высокой четкости (HD3D) [102], которая поможет проектировщику мгновенно собирать информацию о продукте и визуализировать ее влияние в контексте 3D-дизайна [99, 100]. Валидация помогает обеспечить качество продукции, а также уменьшить количество ошибок и доработку. Инструменты проверки NX (NX Requirements Validation, NX Check-Mate) обеспечивают прямое визуальное взаимодействие, которое ускоряет проверку дизайна продукта, позволяя проектировщику находить и устранять проблемы с качеством проектного решения.

CATIA V5

CATIA — система автоматизированного проектирования компании Dassault Systèmes [71, 75, 103-105]. Архитектура CATIA V5 способствует проектированию продукта посредством моделирования, основанного на спецификации, генеративных приложениях и контролируемой ассоциативности по качеству и производительности в управлении инженерными изменениями.

Программное решение V5 DMU (Digital Mock-Up) позволяет визуализировать и анализировать 3D-продукт в режиме реального времени по мере его развития, оптимизировать совместный обзор и принятие решений. CATIA V5 DMU обеспечивает широкую поддержку технических процессов, таких как обнаружение и анализ помех; гибридный макетный обзор; паковка и синтез продуктов; визуализация инженерных данных; техническая публикация.

Программное решение CATIA V5 Analysis позволяет проектировщику выполнять анализ трехмерной модели непосредственно по основной эталонной модели в CATIA. Поскольку передача геометрии в модуле V5 Analysis отсутствует, то исключаются проблемы с целостностью данных, что позволяет быстро выполнять итерации проектного анализа от простых частей до сложных сборок.

Creo

Creo [106, 107] – система автоматизированного проектирования от компании PTC для моделирования 3D-объектов машиностроения. Разработчики PTC [69] создали Creo Parametric в качестве программного обеспечения, которое позволяет проектировщику расширять функциональность САПР с каждым новым созданным компонентом.

Возможности САПР Creo:

- моделирование и 3D-проектирование, прямое моделирование, работа с 2D-чертежами;
- проектирование листового металла, механизмов, пластиковых деталей, маршрутных систем;
- структурная конструкция и конструкция сварных швов;

- концептуальное, индустриальное проектирование;
- структурный и тепловой анализ, анализ движения и заполнения пресс-формы.

Средства Creo позволяют создавать точную геометрию независимо от сложности проектного решения, а также создавать надежные инженерные функции (проектные операции), такие как «скругление», «фаска», «отверстие» и многие другие. PTC Creo обеспечивает автоматизированное создание 2D-чертежей в соответствии с международными стандартами (ASME [108], ISO [109] и JIS [110]), автоматизированное создание чертежей с шаблонами и ассоциативную спецификацию материалов (BOM) [111].

Пакет Creo Engineer позволяет разрабатывать и применять критерии проектирования для поддержки совместного инженерного проектирования, просматривать графическое представление зависимостей для понимания отношения между компонентами проектного решения и внесения корректировок в изделие. Данное программное решение позволяет планировать структуру и управлять процессом проектирования сборки машиностроительных объектов.

Autodesk Inventor

САПР Autodesk Inventor [74, 112] включают в себя интуитивную параметрическую среду проектирования для разработки исходных концептуальных эскизов и кинематических моделей деталей и сборок. Autodesk Inventor обеспечивает автоматизированное создание геометрии компонентов, таких как пластмассовые детали, стальные каркасы, роторные машины, трубопроводы, а также электрические кабели и жгуты.

Функция анализа конечных элементов в САПР Autodesk Inventor позволяет проектировщику проверять конструкцию компонентов посредством тестирования производительности партии при нагрузках. Технология оптимизации и параметрические исследования позволяют проектировщикам разрабатывать параметры в областях напряжений сборки и сравнивать варианты дизайна. Затем 3D-модель обновляется на основе этих оптимизированных параметров.

Отличительной особенностью Autodesk Inventor является использование специальных форматов файлов для проектирования деталей, сборок и чертежных представлений. Файлы импортируются или экспортируются в формате DWG: автоматически создаются слои, размерные и текстовые стили. Основным форматом для просмотра и обмена 2D и 3D-данными – Web -формат дизайна (DWF) [113, 114].

SOLIDWORKS 3D CAD

SOLIDWORKS 3D CAD [115-117] - мощное трехмерное дизайнерское решение для быстрого создания деталей, сборок и чертежей. Прикладные инструменты для создания листового металла, сварки, наплавки, пресс-формы и матрицы позволяют инженеру-конструктору легко спроектировать определенные компоненты в своем классе конструкции.

Моделирование деталей и сборок в SOLIDWORKS позволяет разрабатывать продукты для широкого спектра отраслей и приложений.

Основные функциональные возможности SOLIDWORKS.

- 3D-твердотельное моделирование: создание и редактирование 3D-моделей деталей и сборок и создание 2D-чертежей, которые автоматически обновляются с изменениями дизайна проектного решения.
- Концептуальный дизайн: создание эскизов макета, импорт и сканирование изображения с целью использования в качестве ссылки для создания 3D-геометрии.
- Проектирование больших сборок: создание и управление чрезвычайно большими проектами, а также возможность работы либо в подробных, либо в упрощенных режимах.
- Усовершенствованная наплавка: создание и редактирование сложных твердых и поверхностных геометрий, включая C2-поверхности (непрерывные кривые).

Далее проведен обзор средств и систем анализа проектных решений, выполненных в рассмотренных выше машиностроительных САПР.

CADfix (ITI)

CADfix [118] является ведущим программным решением для перевода, отладки, корректировки и упрощения CAD-моделей. CADfix решает все существующие проблемы обмена данными и использования 3D-моделей между различными инженерными приложениями, устраняя барьеры, препятствующие повторному использованию твердых моделей в системах проектирования, анализа и производства. Процесс анализа проектного решения САПР показан на рисунке 1.2.

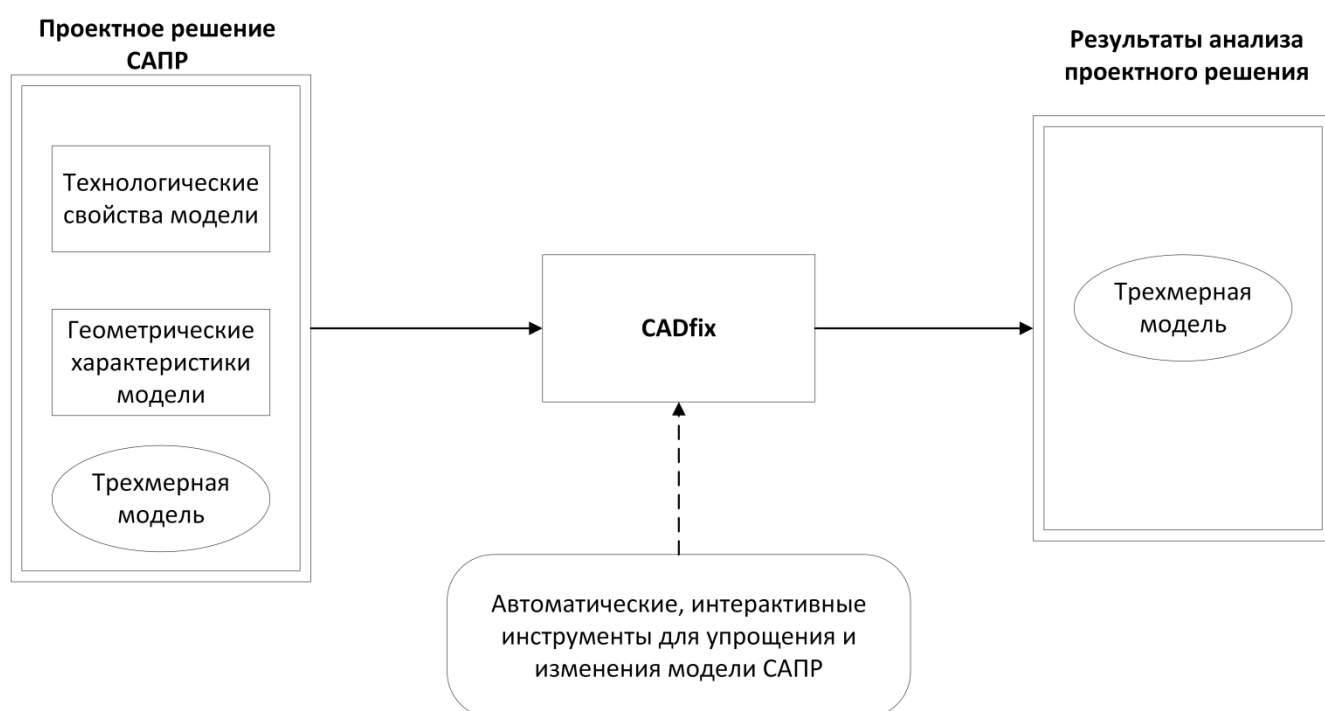


Рис. 1.2 Схема анализа проектного решения САПР в системе CADfix

Из разработанной схемы описания процесса анализа проектного решения системой CADfix можно заметить, что на вход предоставляются следующие компоненты проектного решения: трехмерная модель изделия, ее технологические и геометрические свойства. Для анализа система использует встроенные инструменты изменения и упрощения модели САПР, позволяя по результату работы системы произвести отладку и корректировку проектного решения (трехмерную модель изделия).

Автоматические и интерактивные инструменты CADfix для упрощения и изменения модели САПР включают в себя: автоматический коллапс коротких

краев и тонких щелей; ручное разрушение точек; объединение цепочек коротких краев и областей малых граней; удаление нежелательных отверстий и выступов; удаление скруглений и фасок; удаление сложных выбранных пользователем функций, таких как ребра и сложные выступы.

Дополнительные инструменты разделения и разбиения проектного решения позволяют разбивать модели для CAE-систем: плоские разрезы краев, поверхностей и тел; общее расщепление граней с определяемыми проектировщиком кривыми общего расщепления; общее расщепление 3D-тел с заданными проектировщиком разделяющими гранями; разделение граней с поверхностными изолиниями; разделение перекрывающихся граней.

Особенностями системы CADfix являются:

- 1) наличие интерфейсов импорта и экспорта для большинства популярных форматов CAD, твердотельных ядер моделирования и стандартов обмена данными;
- 2) расширенный механизм поиска и отладки для исправления геометрических и топологических недостатков в CAD-модели;
- 3) пакетный, диагностический режимы для автоматической и интерактивной функциональности;
- 4) снижение сложности за счет демонстрации и упрощения подготовки моделей САПР для анализа и использования в последующих приложениях.

Система анализа CADfix для геометрического исправления и упрощения модели уникально позиционируется в потоке данных CAD-CAE с его способностью считывать и записывать множество геометрических форматов, восстанавливать и корректировать геометрию низкого качества и упрощать сложные геометрические определения. Это приводит к более надежным геометрическим определениям для потребностей анализа проектных решений.

CADIQ (ITI)

CADIQ [68, 70, 119] – средство анализа проектных решений, нейтральное по отношению к поставщику, определяет проблемы качества данных на основе

моделей (MBD), которые влияют на повторное использование последующих потоков для производства, моделирования, обмена данными и совместной работы. CADIQ позволяет проверять критические инженерные процессы, включая технические изменения, контроль версий и технологичность. К основным возможностям CADIQ относятся.

- Деривативная валидация [120] - определение неприемлемых различий между исходными и производными моделями.
- Сравнение версий - определение непреднамеренных или недокументированных изменений между версиями модели.
- Проверка качества - определение значительных дефектов в родной модели, которые влияют на повторное использование.

CADIQ сравнивает геометрию, конструктивные особенности и информацию о производстве продукции (PMI) [121, 123-125] между связанными моделями для выявления существенных различий. CADIQ также выполняет анализ сборки САПР (рисунок 1.3), сравнивая структуру проектного решения. Результаты могут быть просмотрены в автономном приложении CADIQ Viewer [122], а также в виде сводных текстовых и статистических отчетов.

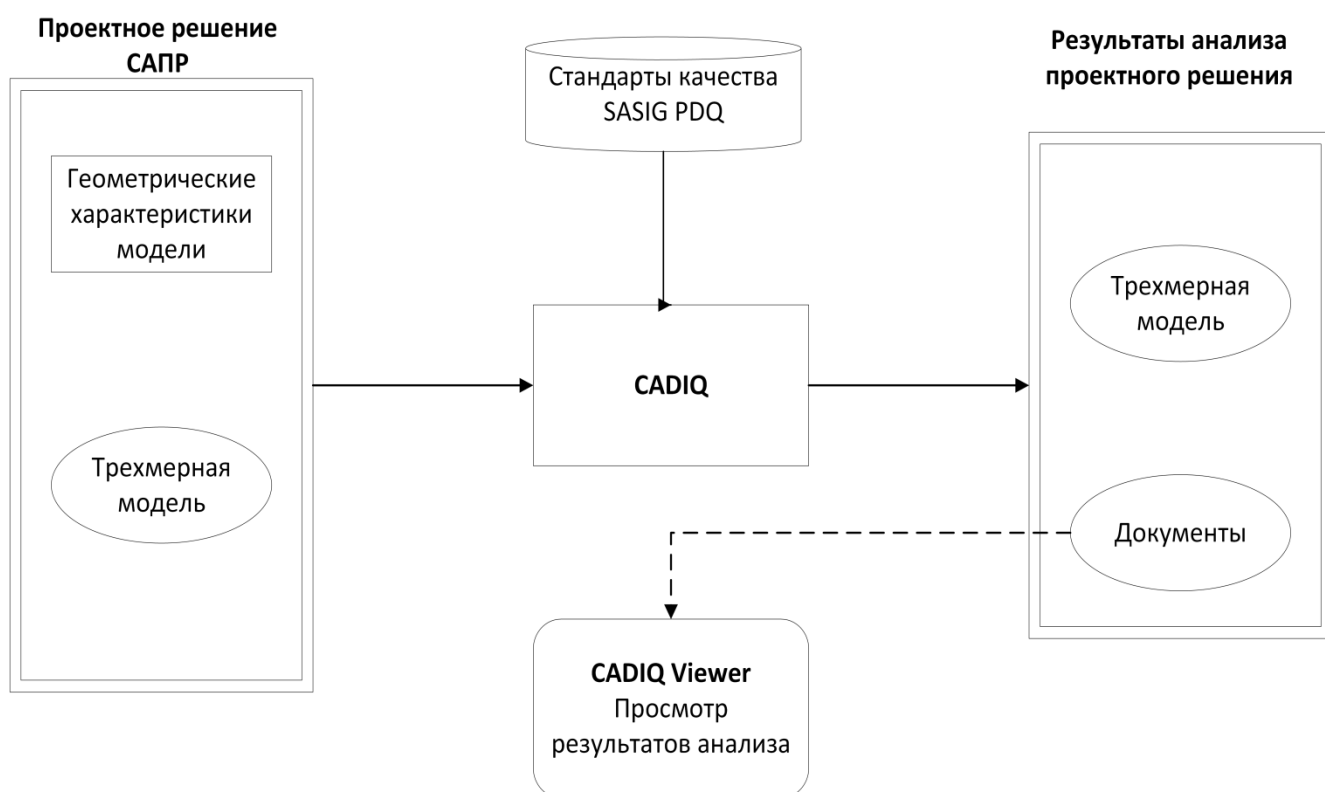


Рис. 1.3 Процесс анализа сборок в системе CADIQ

Решения ITI (International TechneGroup) [126] по проверке данных о продуктах объединяют ведущий опыт ITI в области консультирования по совершенствованию взаимодействия с инновационной технологией валидации. ITI помогает проектировщикам разрабатывать процессы для выявления, управления и устранения проблем, связанных с качеством проектирования и совместимостью данных о продуктах. Решение этих проблем имеет решающее значение для улучшения повторного использования данных по потоку проектного решения САПР.

Примеры проверки включают анализ следующих пунктов.

- Геометрию, которая препятствует повторному использованию моделей в процессах анализа и производства.
- Нереалистичные моделирующие функции (проектные операции), требующие изменений во время повторного использования модели CAE / CAM и расхождения между моделью основного продукта и нижерасположенными CAx-моделями [127].
- Недокументированные изменения между версиями дизайна или заказами на технические изменения.
- Изменения, вызванные сложными параметрическими отношениями, неизвестными для проектировщика при моделировании в САПР.

Также CADIQ обеспечивает сертификацию данных. CADIQ проверяет, что модель проекта не имеет дефектов качества, которые будут препятствовать предполагаемому последующему использованию модели. Он также проверяет, что производные формы проектной модели (например, IGES [130], STEP [128], CAD-переводы) эквивалентны по качеству и форме основной модели. При использовании STEP проектировщики могут добавлять свойства проверки в модель STEP, которые могут использоваться получателем для проверки того, что модель CAD (импортированная STEP) эквивалентна основной модели проектного

решения САПР. CADIQ также предлагает качественную диагностику, соответствующую критериям SASIG PDQ [129].

3DTransVidia

3DTransVidia [131] поддерживает широкий диапазон форматов данных, включая собственные форматы САПР: CATIA V4, CATIA V5, Siemens NX, CREO / Pro / E, Autodesk, SolidWorks, STEP, IGES, ACIS [132], ParaSolid [133]. Он также обеспечивает полный доступ к MBD [134-136] (определение базовой модели) из собственных моделей САПР, включая аннотации, GD&T [137] и PMI [123-125].

3DTransVidia предназначена для анализа и исправления 3D-моделей (рисунок 1.4), созданных в разных CAD-системах. Процесс анализа является автоматическим и может применяться к большинству сложных 3D-моделей и сборок. Анализ всегда выполняется в пределах допуска модели, сохраняя оригинальную целостность проектного решения и предотвращая деформацию модели.

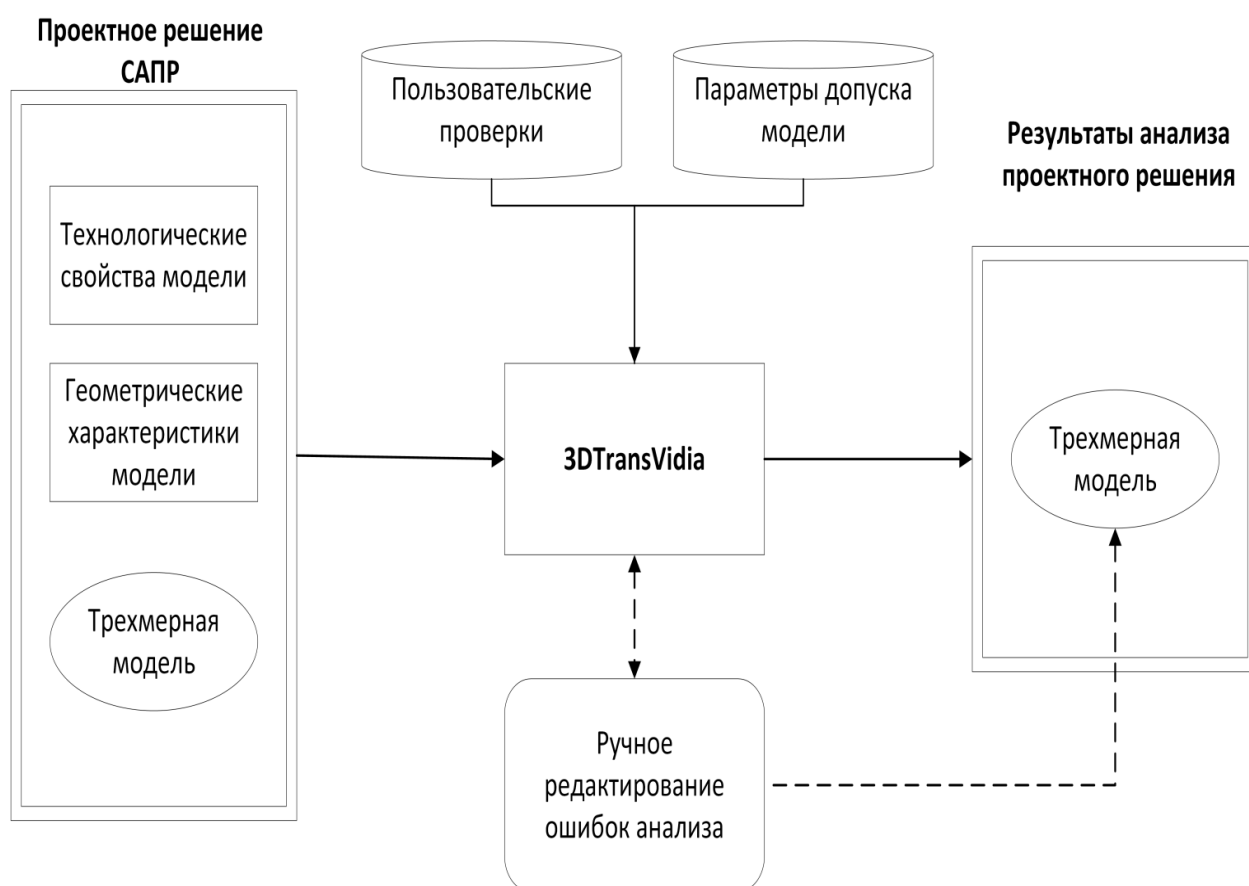


Рис. 1.4 Процесс анализа модели САПР в системе 3DTransVidia

Для обеспечения правильного перевода данных используется собственная лицензия на использование САПР Dassault Systems Spatial (InterOp) для чтения собственных форматов данных САПР. Библиотеки, используемые для чтения нейтральных форматов данных, таких как IGES и STEP, разрабатываются Capvidia [138].

3DTransVidia автоматически находит правильное значение допуска модели, проверяя размер всех объектов трехмерной модели, глобальные размеры модели и несколько других параметров во время чтения данных. Проектировщик контролирует допуск модели, выбирая между следующими параметрами:

- 1) допуск файла (значение, хранящееся в заголовке файла);
- 2) предполагаемый допуск (рекомендуемое значение по умолчанию);
- 3) пользовательский допуск (выбор проектировщика).

3DTransVidia автоматически идентифицирует и классифицирует типы ошибок, оставшихся в модели после автоматического анализа. Ошибки сгруппированы в дереве проекта с предлагаемым (наиболее подходящим) ручным исправлением. Проблемные места остаются в дереве проекта до тех пор, пока они не будут исправлены.

Ошибки подразделяются на следующие категории:

- параметрические: пробелы, перекрытия, Т-соединения, выступы, открытые контуры, неокрашенные поверхности;
- меш-ошибки [139]: открытые края, перекрытия, пересечения и самопересечения.

3DTransVidia предоставляет специализированные функции редактирования трехмерной модели (дополняющие общую систему САПР), которые необходимы для исправления существующих проектных решений САПР. Специальные функции ручного редактирования включают: создание поверхности; слияние поверхностей; обрезку поверхности; разделение поверхности; поверхностный монтаж (устранение зазоров / перекрытий); диагностику зазора; контурную диагностику.

Система 3DTransVidia предоставляет функции автоматического распознавания и преобразования объектов сложной геометрии в аналитическое геометрическое представление. Следующие типы, представленные как сложные поверхности NURB или B-Spline, могут быть преобразованы в аналитическое определение: плоская поверхность; вращение поверхности; управляемая поверхность; смещение поверхности; экструзионная поверхность [140]; поверхность смешивания.

Cax Quality Manager

Heidelberg CAX Quality Manager [141] проверяет на соответствие с конкретными специфическими методами разработки CAX [127] при проектировании моделей в САПР NX.

CAX Quality Manager интегрирован в САПР NX. Он проверяет качество данных продукта во всей цепочке процессов, анализируя отдельные детали, сборки или чертежи, используя predetermined и проверенные процедуры лучшей практики. Система показывает ошибки проектировщика, вносит предложения по исправлению ошибок и документирует все результаты.

Heidelberg CAX Quality Manager - это решение для машиностроения и автомобильного производства, авиационной инженерии, медицинской техники, высокотехнологичной и электротехнической промышленности.

Design Checker

SOLIDWORKS Design Checker [142] проверяет элементы модели САПР, такие как стандарты размеров, шрифты, материалы и эскизы, чтобы гарантировать, что проектные решения SOLIDWORKS соответствуют заранее определенным критериям моделирования. SOLIDWORKS Design Checker интегрирован в программный интерфейс САПР SOLIDWORKS, что позволяет легко выявлять и исправлять потенциальные ошибки перед выпуском продукции.

Design Checker имеет 3 основные функции:

- 1) выполнение анализа проектного решения проектировщиком вручную;
- 2) автоматическую сборку из документа САПР;
- 3) запуск анализа проектного решения из модели САПР.

DesignQA

DesignQA [143] – это ведущая инженерная программная система, которая обнаруживает, оценивает, исправляет и предотвращает проблемы разработки продукта, вызванные неточными, неполными или несогласованными методами моделирования моделей САПР (рисунок 1.5).

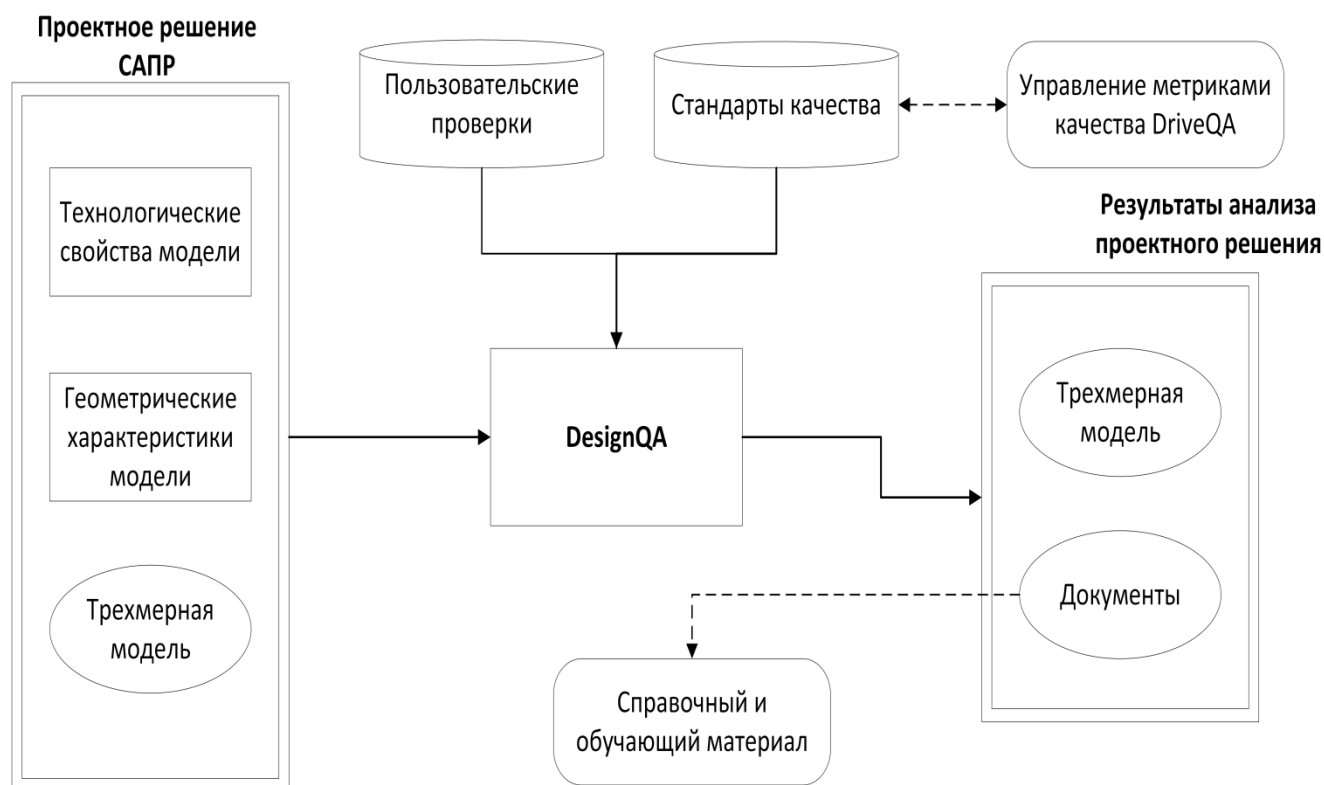


Рис. 1.5 Анализ проектных решений в системе DriveQA

DesignQA работает из CAD-системы, используя собственную геометрию и меню CAD для обеспечения согласованности и точности данных.

Основными особенностями данного средства анализа проектных решений являются.

1. Поддержка пользовательских полей – расширяет возможности сегрегации данных при анализе показателей качества.
2. Возможность просмотра проектного решения во время работы с системой.
3. Стандартизация версий файлов.
4. Параметры профиля, позволяющие администратору системы ограничить параметры панели управления пользователями.

5. База данных показателей качества – поддерживает запись о том, какие стандарты качества прошли или не прошли проверку, а также другую информацию, позволяющую проектировщику идентифицировать, количественно определять и отслеживать качество продукции на всех этапах проектирования. Этот нейтральный формат данных можно читать и визуализировать с помощью приложения для управления метриками качества - DriveQA [144] .
6. Расширяемые стандарты моделирования могут быть настроены для поддержки различных требований.
7. Предоставляет гиперссылки на справочные и обучающие материалы для конкретного предприятия.

Основными преимуществами системы DesignQA являются:

- повторное использование моделей проектировщиком;
- использование моделей при анализе, производстве и в системах быстрого прототипирования;
- подготовка моделей для представления PDM;
- эффективное хранение моделей путем устранения неиспользуемых или посторонних конструкций, элементов и другой информации.

GeometryQA

GeometryQA [145] предоставляет дополнительные возможности проверки качества геометрии в процесс проектирования машиностроительных объектов (рисунок 1.6). Используя технические стандарты, определенные производителем, GeometryQA помогает исключить обмен инженерными данными и ошибки взаимодействия, вызванные геометрическими проблемами, обнаруженными в 2D / 3D CAD-файлах.

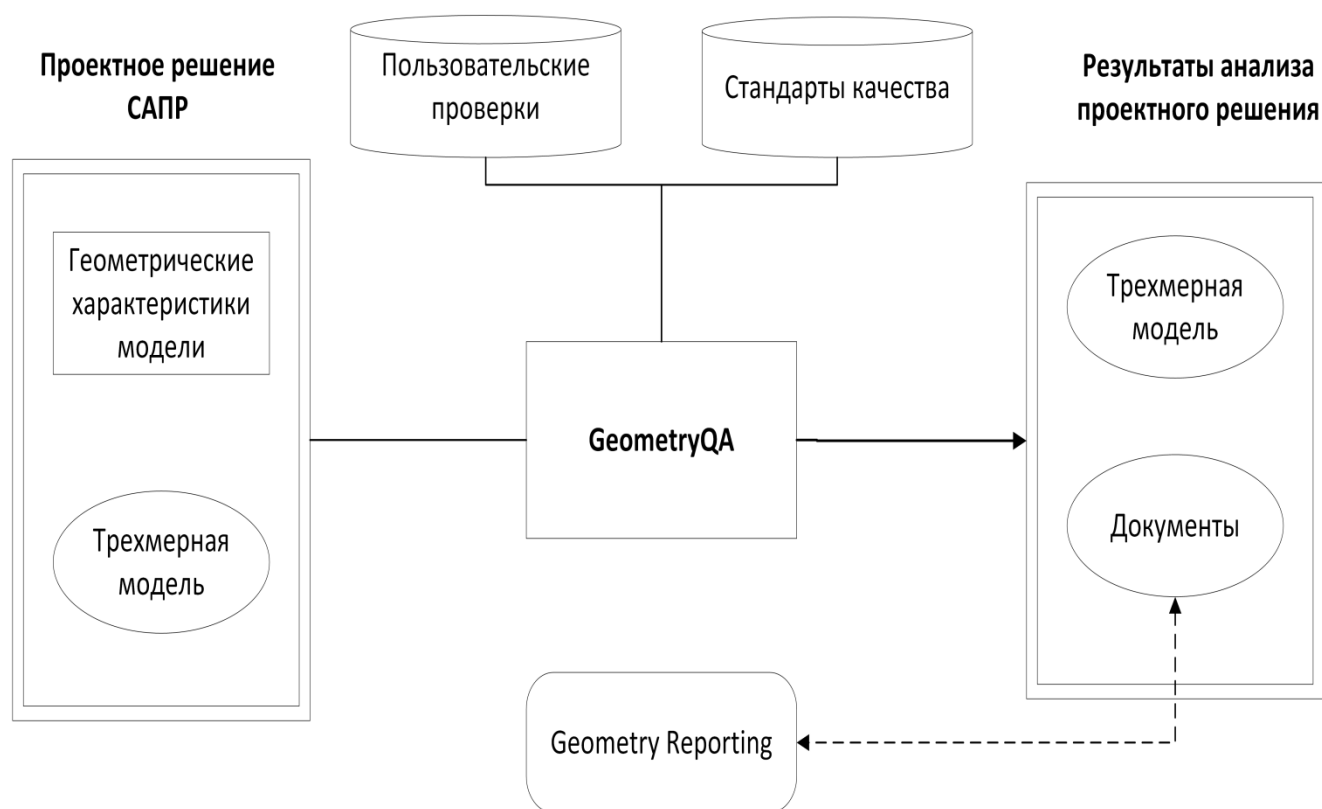


Рис. 1.6 Анализ проектных решений САПР в системе GeometryQA

Основными особенностями данного средства анализа проектных решений являются.

1. Визуализация: GeometryQA обеспечивает мгновенную визуализацию ошибок геометрии в интерфейсе системы САПР, чтобы обеспечить немедленное понимание степени сложности проблемы.
2. Стандарты: GeometryQA предоставляет стандарты для анализа геометрии для обеспечения и улучшения обмена данными.
3. Легко настраиваемые стандарты: каждый проектировщик может устанавливать уникальные геометрические стандарты для проверки с помощью GeometryQA.
4. Geometry Reporting: создание отчетов для облегчения исправления проблем. GeometryQA маркирует каждую модель метками «рейтинг качества», «дата» и «время».
5. База данных показателей качества: предоставляет инструменты для определения, количественной оценки и отслеживания качества геометрии в проектном решении САПР. Эти данные можно легко визуализировать с

помощью инструмента управления метриками качества DriveQA от TDCi [146].

Система GeometryQA позволяет провести анализ следующих компонентов CAD – модели: минимальный радиус кривизны поверхностей; неопределенные нормали поверхности, изменение нормалей и проверка выравнивания; точечная непрерывность кривых, ребер, поверхностей; миниатюрная и относительная проверка размера сегмента; самопересечение границ; касательная непрерывность кривых, поверхностей; идентичные точки, кривые и поверхности; плохие поверхности; сборочные ограничения, структуру сборки; совместимость с ISO; предпочтительная булева операция.

PrescientQA

PrescientQA [147] предоставляет такие возможности, как штамповка моделей, анализ показателей качества модели, расширенная отчетность и гибкая и мощная конфигурация стандартов (рисунок 1.7).

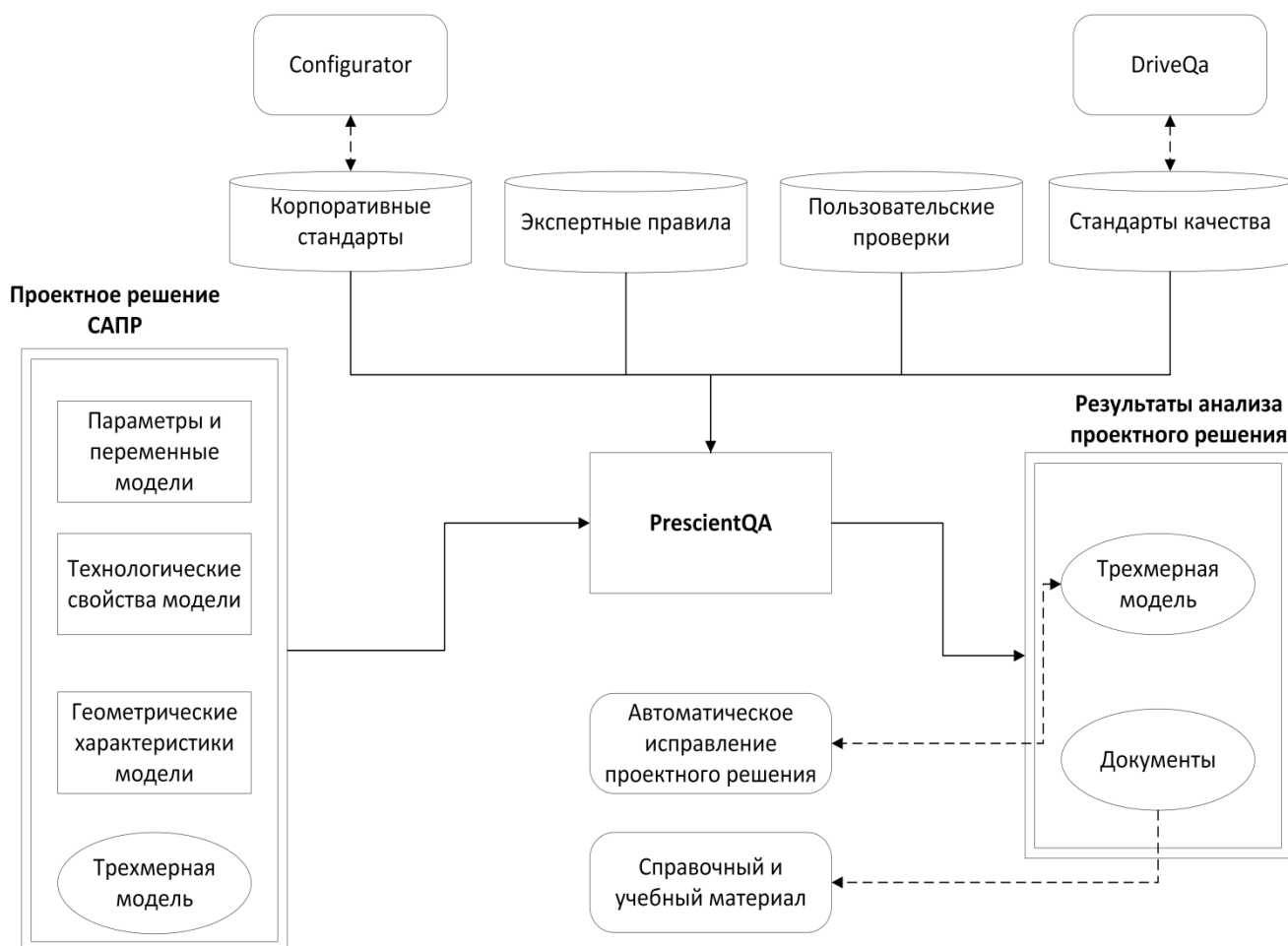


Рис. 1.7 Система анализа проектных решений САПР PrescientQA

PrescientQA для CATIA V5 сочетает в себе функциональность основных модулей DesignQA и GeometryQA под единым удобным и интуитивно понятным интерфейсом. Разработанная как полностью интегрированное приложение, работающее в среде CATIA V5, PrescientQA для CATIA V5 обеспечивает мощную функциональность и преимущества интегрированного анализа качества данных САПР в пределах легкой досягаемости от современных инженеров-проектировщиков. Доступный как с пакетным, так и с интерактивным движком, PrescientQA имеет мощный модуль стандартов Configurator, который позволяет модифицировать любой из стандартных файлов в соответствии с индивидуальными стандартами предприятия.

Основными особенностями данного средства анализа проектных решений являются.

1. Интегрированные проверки знаний экспертов для CATPart [148], CATAssembly [149] и CATDraw [150].
2. Интерактивная коррекция ошибок из сеанса САПР CATIA V5.
3. Локальная «оффлайновая» обработка для оценки объемных данных вне среды проектирования
4. Интуитивные и интерактивные обзоры качества модели при проектировании изделий.
5. Система интегрирована в базу данных показателей качества - DriveQA [144].
6. Расширяемые стандарты моделирования, которые могут быть настроены для поддержки разнообразных требований.
7. Легко настраиваемые гиперссылки на специализированные справочные и учебные материалы.

iCHECK IT

iCHECK IT [151] - программное обеспечение, которое позволяет обнаруживать ошибки в проектном решении САПР (рисунок 1.8) и помогает проектировщику их исправить.

Основные особенности iCHECK IT.

1. Предотвращение проблем с проектированием изделия перед выпуском в производство.
2. Гибкая архитектура позволяет проектировщикам вносить индивидуальные проверки в словарь дополнений (Add-on).
3. Расширенная отчетность и отслеживание качества проектирования.
4. Более 330 стандартных проверок, доступных для обеспечения соответствия стандартам САПР.
5. Благодаря интеграции с PDM-системами [152], iCHECK IT позволяет автоматически проверять проектные решения, выполненные в САПР САТИА, на протяжении всего жизненного цикла проектирования, гарантируя, что проекты соответствуют утвержденным и определенным стандартам производства.

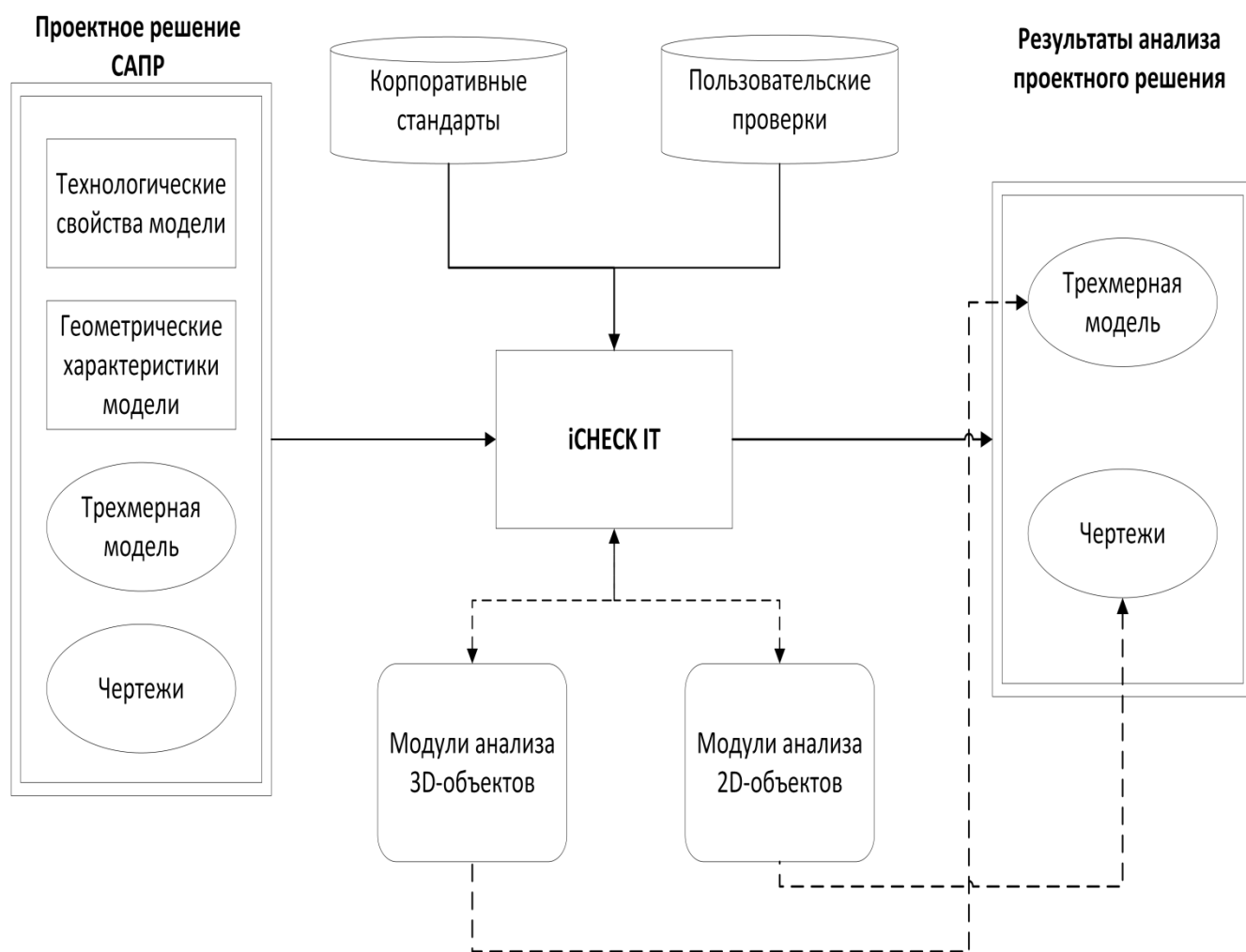


Рис. 1.8 Процесс анализа модели САПР в системе iCHECK IT

Система iCHECK IT состоит из множества модулей, позволяющих проанализировать компоненты проектного решения САПР.

- CATDUAComplianceBatch - проверяет целостность данных документа с помощью CATIA CATDUA.
- DocumentPropertyExcelValidation - проверяет значения свойств модели на основе внешнего Excel-файла с параметрами.
- DocumentTextSpellCheck - проверяет орфографию в наборах аннотаций, спецификаций и списке параметров.
- DrawingComponentNestedForbidden - обнаруживает 2D-компоненты, которые содержат другие вложенные 2D-компоненты.
- DrawingDimensionNonAssociative - определяет двухмерные размеры чертежа, не полученные из 3D-модели.
- PartMaterialAnalysisPropertiesRequired - подтверждает, что применяемый материал обладает требуемыми свойствами.
- PartBodyVoidSpacesForbidden - обнаруживает неработоспособные замкнутые пустоты.
- PartBodyBuriedFeatureForbidden - обнаруживает твердотельные свойства, полностью встроенные в другое твердое тело.
- SurfaceContinuity - проверяет поверхность, касание и непрерывность кривизны.

Knowledge Advisor

Knowledge Advisor - это средство анализа проектных решений САПР CATIA, которое позволяет проектировщику внедрять знания (формулы, правила и проверки) в процесс проектирования и использовать их для анализа технических решений, чтобы уменьшить ошибки и автоматизировать процесс проектирования для достижения максимальной производительности.

Основными преимуществами данной системы являются:

- использование технических знаний в качестве встроенных спецификаций моделирования;
- поддержка расширенного реляционного проектирования;

- использование «капитала знаний» для автоматизации задач проектирования;
- обеспечение соблюдения правил и ограничений проектирования.

Knowledge Expert

Knowledge Expert – это программный продукт, который позволяет проектировщикам создавать и распространять корпоративные знания, хранящиеся в базах знаний предприятия, и используется для обеспечения соответствия проектного решения установленным стандартам.

Knowledge Expert дает возможность проектировщикам устанавливать и определять общие правила, проверять спецификации классов объектов и хранить их в базе знаний. Эти правила и проверки могут использоваться для мониторинга действий каждого проектировщика на предприятии. Поскольку геометрическая модель проектного решения может изменяться, система использует правила и проверки для обеспечения соответствия корпоративным стандартам.

Когда правило или проверка нарушены, корректирующие действия могут быть рекомендованы или автоматизированы с использованием макросов VBScript [153], текстов или связанных URL-файлами [154].

Проектировщики могут определять и управлять наборами правил для структурирования корпоративной базы знаний. Такая структура позволяет настраивать различные наборы правил и проверок для различных процессов проектирования или производства в соответствии с задачей проектирования.

ModelCHECK

ModelCHECK [155] - это интегрированная система анализа проектных решений (рисунок 1.9), которая работает с САПР Creo (модуль Creo Parametric). ModelCHECK использует настраиваемый список стандартов предприятия и методов моделирования. ModelCHECK может быть сконфигурирована для запуска как в интерактивном режиме, так и автоматически при регенерации или сохранении трехмерной модели машиностроительного изделия.

ModelCHECK обеспечивает выполнение следующих функций:

- анализ детали, чертежей и сборки;

- проверку на соответствие стандартам и надлежащим методам параметрического моделирования в САПР Creo;
- предоставление результатов анализа и рекомендаций по улучшению в форме динамического отчета HTML. Отчет ModelCHECK появляется в браузере, встроенном в Creo Parametric;
- использование стандартных методов проектирования для повышения эффективности проектировщиков и для повторного использования проектных решений.

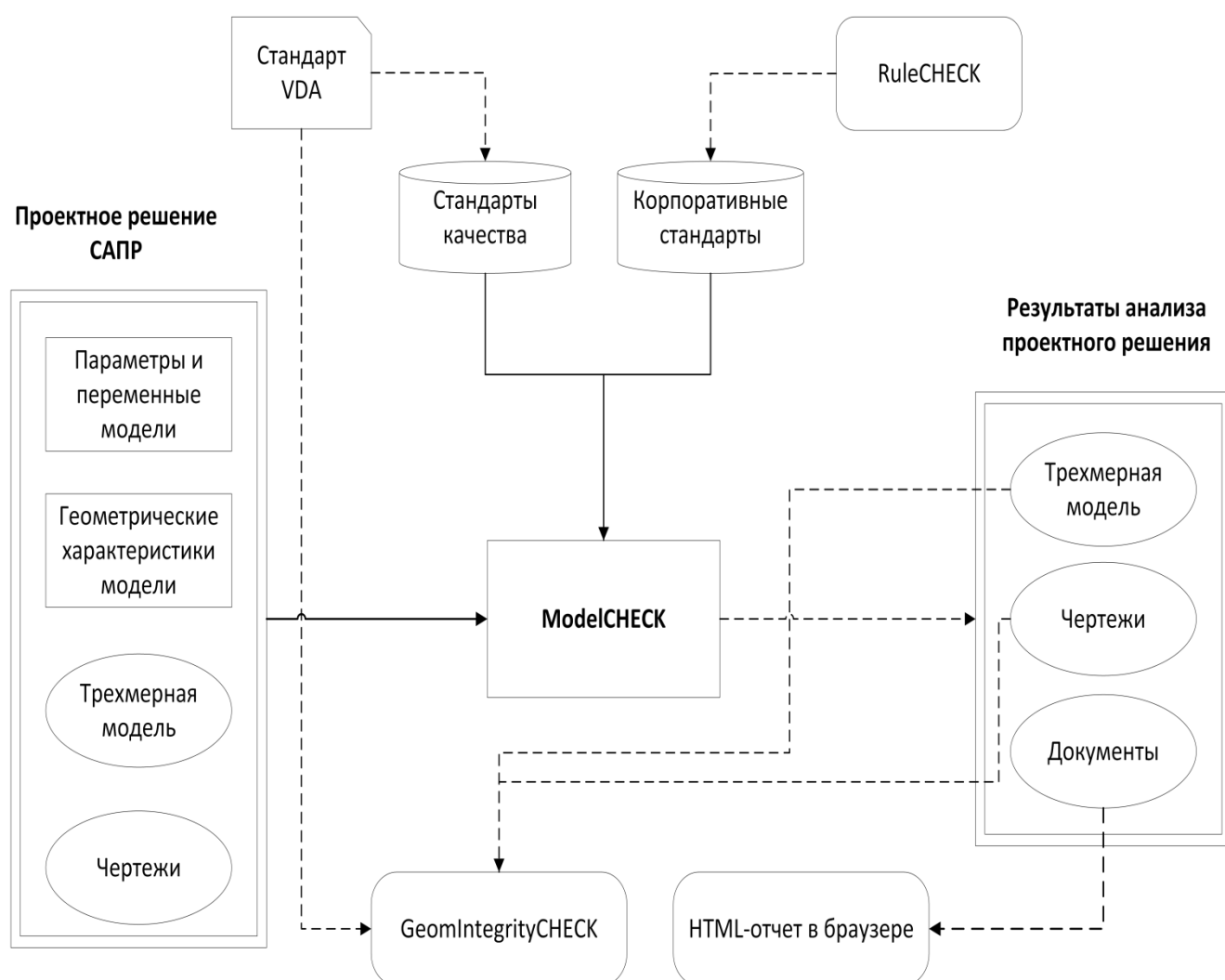


Рис. 1.9 Схема взаимодействия компонентов в системе ModelCHECK

RuleCHECK [156] является компонентом ModelCHECK, который позволяет предприятиям создавать контрольные списки правил и обеспечивать их соблюдение, чтобы их модели, выполненные в САПР, соответствовали конкретным стандартам предприятия.

Утилита GeomIntegrityCHECK [157] обеспечивает проверку модели САПР на соответствие спецификациям Verband der Automobilindustrie (VDA) 4955 [158]. VDA 4955 - это автомобильный стандарт качества модели. Также утилита проверяет геометрию в модели и определяет области, которые могут затруднить импорт модели в нисходящее приложение или другую CAD-систему.

GeomIntegrityCHECK содержит следующие проверки твердых тел.

- Расстояние до края вершины (сообщает вершину и край). Если расстояние между двумя элементами превышает допустимое значение, указанное в файле конфигурации.
- Расстояние до вершинной грани (сообщает вершину и грань в твердом теле). Если расстояние между этими двумя элементами превышает допустимое значение, указанное в файле конфигурации.
- Вспомогательная геометрия. GeomIntegrityCHECK сообщает о твердых элементах, которые скрыты от вида (например, срезанные части компонентов). Кроме того, система сообщает о добавленном объекте в областях компонентов, которые уже заполнены другим объектом, без какого-либо изменения компонентной части (например, добавление шара или сферы в прямоугольное твердое тело). GeomIntegrityCHECK также сообщает о геометрических элементах, которые не имеют логической связи с данным телом.
- Многослойные твердые тела. GeomIntegrityCHECK сообщает о твердых телах, которые содержат два объемных объекта, которые не касаются друг друга. Система рассматривает два объекта как отдельные тела, что неприемлемо в одном твердом теле.

NX Check-Mate

NX Check-Mate [159] является частью приложения NX CAD от Siemens PLM Software и осуществляет анализ проектных решений на основе стандартов для обеспечения согласованности файловой структуры, а также соблюдения различных корпоративных и отраслевых стандартов (рисунок 1.10).

NX Check-Mate включает в себя обширную библиотеку стандартных проверок в области моделирования, составления чертежей, информации о продукции и производстве (PMI) [123-125], геометрии, маршрутизации, сварке и других приложений. Инструмент позволяет создавать автоматические отчеты в соответствии с корпоративными и отраслевыми стандартами и создавать документацию изменений проектного решения.

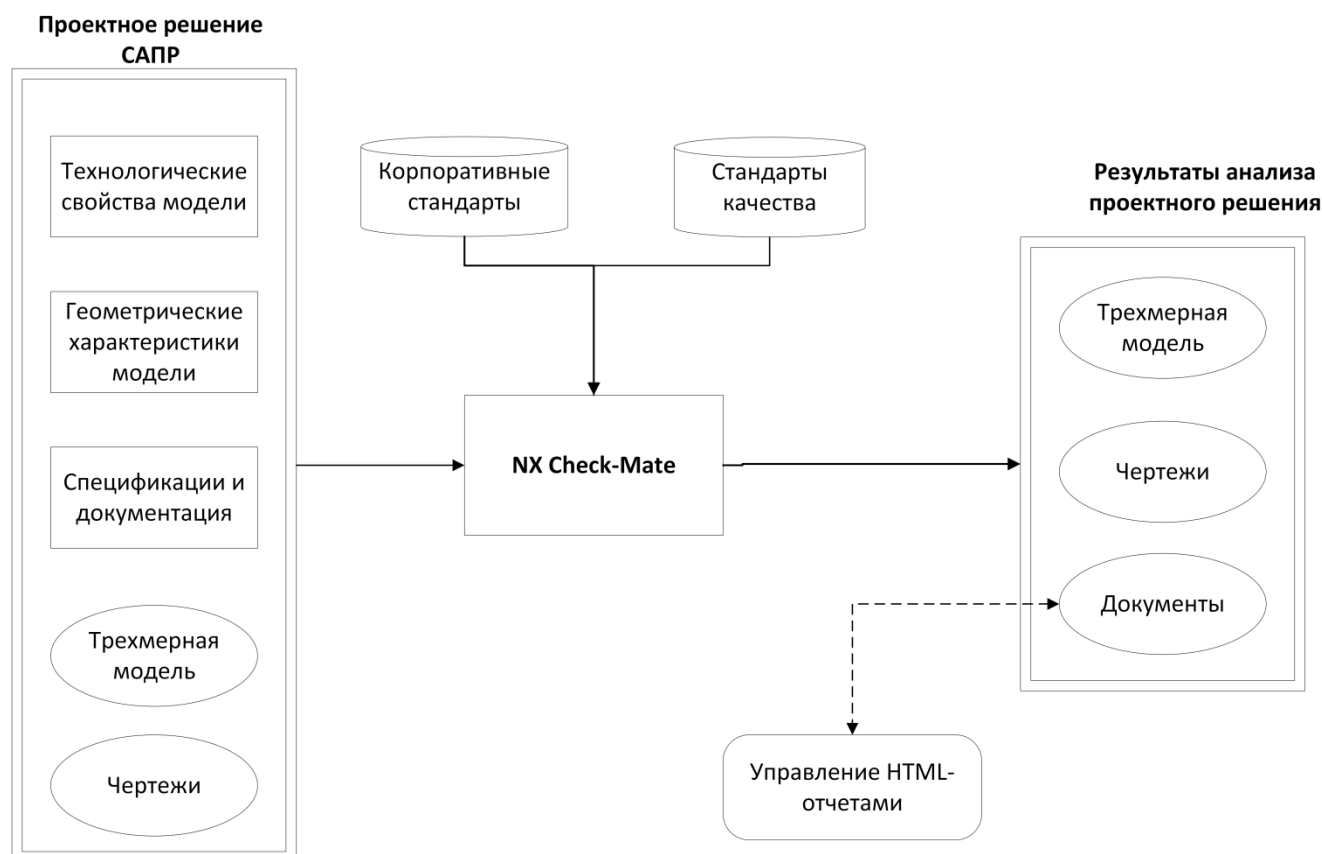


Рис. 1.10 Схема взаимодействия компонентов в системе NX Check-Mate

Основными особенностями NX Check-Mate являются:

- валидация проектных решений интегрирована с САПР NX с использованием пользовательского интерфейса HD3D [102];
- проверка качества модели;
- проверка сборки, файлов и чертежей;
- возможность создания пользовательских проверок;
- панель управления отчетами на основе HTML.

Q-Checker

Q-Checker [160] - это полностью интегрированное решение CATIA Product Data Quality (PDQ) [161], позволяющее предприятиям соответствовать их стандартам проектирования, а также основным требованиям к качеству проектных решений.

Основные особенности Q-Checker:

- полностью интегрирован в цепочку процессов PLM [162];
- имеет порядка 400 проверок, которые полностью настраиваются для пользовательских и технологических требований;
- включает в себя «лучшие практики» для каждого критерия проверки, написанного экспертами CATIA. Проектировщики получают не только ценную информацию о своих моделях, но и могут быстро улучшить свои навыки моделирования в САПР CATIA;
- проверяет CAD-модели на структурное и геометрическое качество, основанное на общих и корпоративных стандартах;
- внедряет PDQ как автоматическую часть процесса PLM.

В таблице 1.1 приведены сравнительные возможности рассмотренных выше систем. Объясним основные параметры таблицы. Параметр «Перестроение проектного решения» определяет возможность перестраивать трехмерную модель машиностроительного изделия в результате анализа проектного решения. Параметр «Классификация проектных решений» определяет возможность в результате анализа проектного решения присвоить класс машиностроительному изделию с целью повторного использования в процессах конструирования в САПР. Параметр «Формирование вспомогательных рекомендаций» определяет возможность предоставления проектировщику предложений по оптимизации проектного решения и исправлению ошибок, что позволит повысить его качество.

Символом «+ \ -» обозначена возможность рассматриваемых систем полуавтоматического или ручного перестроения проектных решений, выполненных в САПР.

Таблица 1.1 – Сравнительные характеристики систем анализа проектных решений САПР

Система анализа проектных решений	Анализ чертежей	Анализ трехмерных объектов	Анализ на соответствие стандартам	Перестроение проектного решения	Классификация проектных решений	Формирование вспомогательных рекомендаций
CADfix (ITI)	-	+	-	+ \ -	-	-
CADIQ (ITI)	-	+	+	-	-	-
3DTransVidia	-	+	-	+ \ -	-	-
Cax Quality Manager	+	+	-	-	-	+
Design Checker	+	+	+	-	-	-
DesignQA	-	+	+	-	-	-
PrescientQA	+	+	+	+\-	-	-
iCHECK IT	+	+	+	-	-	-
Knowledge Advisor	-	+	+	-	-	-
Knowledge Expert	-	+	+	-	-	-
ModelCHECK	+	+	+	-	-	+
NX Check-Mate	+	+	+	-	-	-
Q-Checker	-	+	+	-	-	-
GeometryQA	-	+	+	-	-	-

Анализ таблицы показал, что в существующих системах функция по классификации твердотельных трехмерных машиностроительных объектов, выполненных в САПР, отсутствует. Механизм перестроения проектного решения в результате анализа реализован в полуавтоматическом режиме лишь в таких системах как CADfix (ITI), 3DTransVidia и PrescientQA. Функция по формированию соответствующих рекомендаций для изменения проектного решения реализована в системах Sax Quality Manager (предложения по исправлению ошибок проектировщика) и ModelCHECK (улучшение изменений в виде динамического HTML-отчета).

Таким образом, для повышения качества проектных решений, выполненных в САПР, необходимо разработать метод структурно-параметрического анализа, который позволяет анализировать действия проектировщика (операции проектирования), дерево модели проектного решения (историю построения) с целью перестроения, классификации и повторного использования проектных решений, выполненных в машиностроительных САПР.

1.3 Анализ особенностей организации автоматизированных систем обучения и моделей профессиональных компетенций

Для решения рассматриваемой в контексте диссертационной работы задачи повышения качества и эффективности обучения проектировщика в проектной деятельности конструирования машиностроительных объектов САПР рассмотрим математическое и информационное обеспечение широко используемых автоматизированных обучающих систем (АОС).

Математическое обеспечение АОС состоит из математических моделей субъектов и объектов обучения, механизмов и методов исполнения тех или программных компонентов, реализуемых в АОС. В основе математических моделей лежат различные подходы к формализации обрабатываемой информации, используемой для оценки различий, возможности и эффективности использования в определенной области.

Структуру АОС составляют следующая совокупность моделей:

- модель обучаемого проектировщика;

- модель предметной области;
- модель организации обучения;
- модель формирования и хранения опыта проектных решений;
- модель формирования и хранения артефактов профессиональной зрелости проектной организации;
- модель взаимодействия АОС и САПР;
- модель интерфейса обучаемого проектировщика и АОС.

Модель обучаемого проектировщика описывает знания, умения, навыки, цели обучения, личностно-индивидуальные характеристики проектировщика. Модель обучаемого используется для построения адаптивного процесса обучения.

Модель предметной области формализует имеющиеся знания о предметной области обучения. Структура знаний, применяемая в модели предметной области, влияет на структуру всего программного комплекса АОС.

Модель организации обучения используется для оптимальной организации процесса обучения и поддержке обучаемого на всех этапах обучения. Данная модель также используется для построения адаптивной траектории обучения.

Модель формирования и хранения опыта проектных решений хранит описания полученных решений для их последующего использования как при обучении, так и при проектировании.

Модель формирования и хранения артефактов профессиональной зрелости проектной организации описывает механизмы определения степени зрелости проектной организации, с последующей возможностью их использования для создания базы знаний, содержащей проектные решения.

Модель взаимодействия АОС и САПР содержит описание алгоритмов и механизмов, с помощью которых происходит обмен информационными потоками между АОС и САПР. Использование данной модель позволит унифицировать данные от САПР и АОС.

Модель интерфейса обучаемого проектировщика и АОС состоит из алгоритмов, с помощью которых происходит взаимодействие между АОС и проектировщиком.

Центральное место в организации процесса обучения с использованием АОС занимает модель обучаемого. Большинство авторов моделей обучаемых стремятся к формализации представления его знаний. Большой список моделей обучаемого представлен в работах [20, 79-83, 86-89]. Выделяют три основных типа моделей обучаемых (рисунок 1.11):

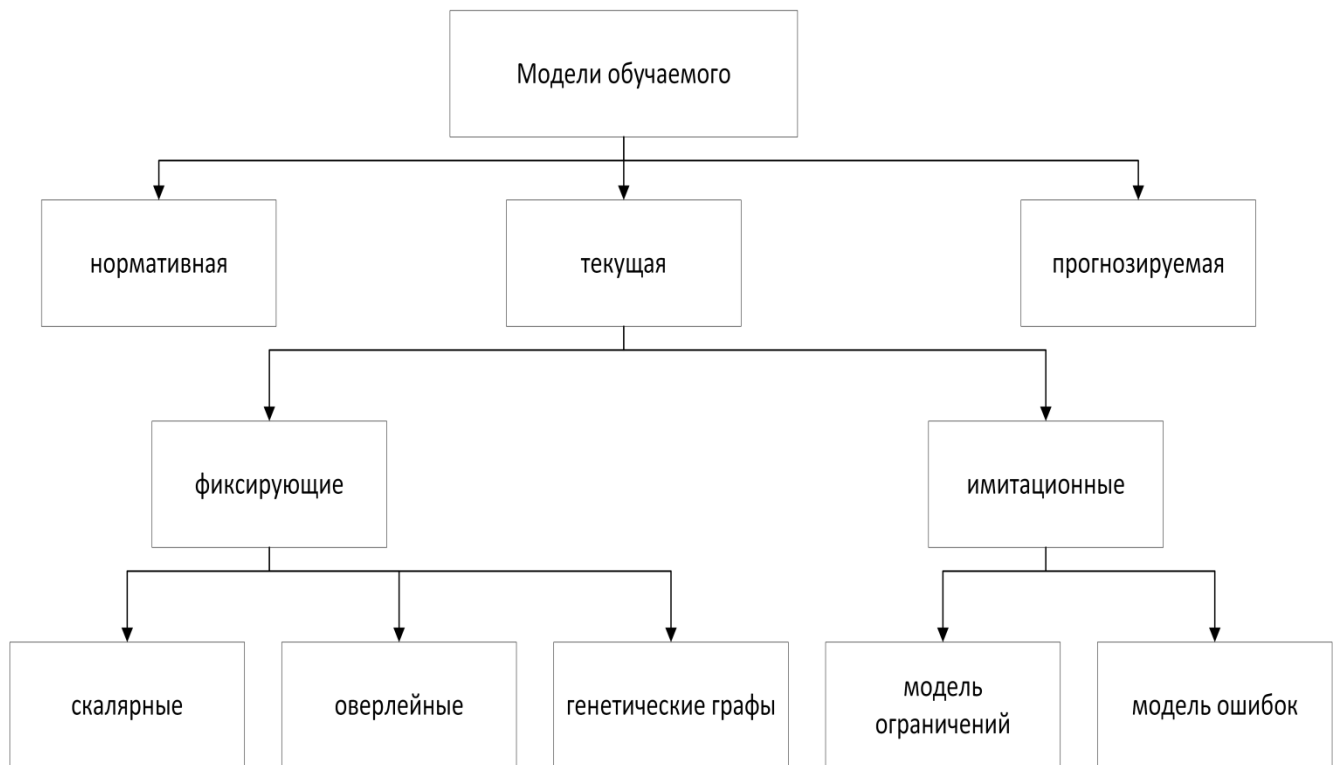


Рис. 1.11. Основные типы моделей обучаемого

С функциональной точки зрения текущую модель обучаемого можно подразделить на две основные категории [21, 22]: фиксирующие и имитационные.

Фиксирующие модели представляют собой величины, характеризующие знания и умения обучаемого. Среди фиксирующих моделей можно выделить: скалярные; оверлейные; генетические графы.

Скалярная модель является простой формой общей модели знаний. Эта модель, описанная автором [23], представляет собой совокупность оценок знаний обучаемого в области обучения в определенной (заданной) шкале. В процессе проверки знаний выясняется степень соответствия знаний обучаемого

нормативной модели и выставляется определенная оценка. Полученная оценка показывают общую ситуацию процесса обучения, без детализации какими именно знаниями владеет обучаемый, а какими нет. Преимуществом применения подобной модели является простота (скаляр задается одним числом), недостатком – отсутствие деталей оценки. Подобные модели используются в тестирующих системах или системах тестового контроля знаний.

Наиболее распространенной моделью обучаемого является оверлейная модель [21]. Оверлейная модель представляет все знания по курсу обучения независимыми частями. В соответствии со знаниями материала обучаемым, модель сопоставляет с каждым ее элементом оценку. Текущая оценка знаний обучаемого описывается вектором значений элементов. Основным преимуществом использования векторной модели является ее простота, недостатком – отсутствие отображения когнитивных процессов и методов решения контрольных и тестовых задач обучаемым. Сетевая оверлейная модель [24] является более приспособляемой под обучаемого. Данная модель представляет собой граф, в узлах которого ставятся понятия (умения), а дуги описывают отношения между этими понятиями. Каждому узлу и дуге присваивается некоторая величина или набор величин, характеризующих степень владения обучаемым данным понятием (умением).

Сетевая оверлейная модель обучаемого позволяет отобразить не только знания обучаемого, но и оценить меру этих знаний. Использование сетевой оверлейной модели при обучении умениям не является достаточно эффективным [23]. Недостатком использования такой модели обучаемого является сложность ее инициализации.

Генетическая графовая модель [25] была построена, чтобы повысить эффективность обучения умениям. Отличие данной модели от оверлейной заключается в наличии обобщений, конкретизации и отклонений от правил фактической предметной модели. Генетическая графовая модель отображает изучение знаний обучаемого от более простого к более сложному, а также от частного к общему. Предметная модель строится в виде генетического графа,

узлы которого представляют элементы знаний, описывающих возможные умения обучаемого. Узлы связываются стандартным набором дуг-отношений [25]: обобщение, отклонение, аналогия, упрощение, коррекция, конкретизация, уточнение.

Имитационные модели описывают представления обучаемого об области обучения и механизмы решения задач обучаемыми. В имитационных моделях знания обучаемого представляются как структура данных, а умения - как набор процедур и механизмов их интерпретации.

Можно выделить следующие два класса моделей в имитационных моделях [21]: модель ограничений; модель ошибок.

Модель ограничений [23, 26] описывается в виде совокупности нижних и верхних границ для уровней учебных достижений обучаемого. Предметная модель представляет собой множество изучаемых понятий и умений, нижняя граница соответствует наиболее конкретным формам понятия или умения, а верхняя граница – их наиболее общим формам. Ограничения в текущей модели получаются в результате индуктивного вывода из решения конкретной задачи. Модель может уточняться путем сравнения полученных новых значений пары ограничений с предыдущими значениями для этой пары. Старые значения ограничений заменяются новыми в случае, когда значение нижнего более конкретно и/или значение верхнего более общее, по сравнению со старым.

Модель ошибок применяется для работы с ошибками и заблуждениями обучаемого, и для определения причин его неверного поведения. Данная модель фиксирует ошибки обучаемого, совершенные им при тестировании. К недостаткам данной модели можно отнести: ограниченную законченность и точность совокупности ошибок; отсутствие объяснений причины допуска обучаемым ошибки.

С точки зрения представления знаний в модели обучаемого можно выделить следующие классы моделей [26, 27]: декларативные; процедурные; распределенные.

Декларативная модель создается при необходимости отражения предметной области моделью обучаемого. В результате моделирования обучаемому может быть присвоена некоторая интегральная характеристика, отражающая степень знания/не знания обучаемым концептов предметной области. Подобная модель может быть представлена в самом простом случае скалярной моделью. Для придания свойств адаптации [35-37, 48] под обучаемого может быть использована оверлейная модель. В основном оверлейные модели дополняют моделями ошибок.

Процедурная модель объясняет причину появления ошибки путем прослеживания всевозможных вариантов решения. Компоненты данной модели не являются независимыми элементами знания. Подобные модели являются технологической основой реализации проблемного обучения в автоматизированных обучающих системах.

Распределенная модель обучаемого представляет собой совокупность специальных агентов, каждый из которых выполняет определенную роль.

Разрабатывая модель обучаемого, необходимо учитывать следующие основные критерии:

- основные предпочтения обучаемого, к которым также относят интересы, взгляды и его цели;
- навыки обучаемого в области, относящейся к обучению;
- история запросов обучаемого во время обучения, например, интерфейс используемых функций, задач, число просьб о помощи;
- стереотипная классификация обучаемых.

Методы и средства индивидуализированного управления процессом обучения в автоматизированных системах обучения

Далее проведен анализ современных автоматизированных обучающих систем, позволяющих персонифицировать процесс обучения, а также рассмотрено их математическое обеспечение.

ELM-ART (ELM Adaptive Remote Tutor) [1, 2] - это интеллектуальная обучающая система, реализованная в контексте WWW. ELM-ART можно

рассматривать как интерактивный интеллектуальный учебник с интегрированной средой решения проблем. Он предоставляет все материалы курса в форме гипермедиа. Материал состоит из двух основных компонентов: учебника и справочного руководства. Учебник иерархически структурирован в единицы разного уровня: главы, разделы и подразделы. Справочное руководство предоставляет ознакомительный доступ к материалу курса. В курсе используются два типа ссылок: нормальные иерархические ссылки и ссылки на материал. Связи иерархии соединяют блок более высокого уровня (например, раздел) со всеми его субъединицами (например, разделы в этой главе) и в другом направлении - каждый блок с его родительским блоком.

Для поддержки обучаемого, проходящего курс, система использует две адаптивные методы гипермедиа - адаптивную аннотацию и адаптивную сортировку ссылок. Адаптивная аннотация означает, что система использует визуальные сигналы (значки, шрифты, цвета), чтобы показать тип и образовательное состояние каждой ссылки. Адаптивная сортировка используется для представления ссылок на сходство между блоками. Форма гипермедиа курса и, особенно, сходство между примерами помогают обучаемому найти соответствующий пример из своего предыдущего опыта. Важной особенностью ELM-ART является то, что система может предсказать пользовательский способ решения конкретной проблемы и найти наиболее подходящий пример из отдельной истории обучения.

Web F-SMILE [3] – персонифицированная система обучения, построенная на многоагентной архитектуре. Многоагентная система состоит из группы агентов, которые являются автономными или полуавтономными и взаимодействуют между собой для выполнения конкретных задач и достижения некоторой цели [4]. Конструкция отдельных агентов в мультиагентной системе независима от конструкции других агентов. Это значительно способствует уменьшению сложности системы [5]. Архитектура системы Web F-SMILE (рисунок 1.12) состоит из следующих агентов: агента краткосрочного обучения (STLM), агента долгосрочного обучения (LTLM), консультанта, обучающего агента и речевого

агента. Агенты следят за обучаемым и предоставляют индивидуализированные консультации и помощь в обучении, если это считается необходимым. Консультации предоставляются обучаемым, которые допустили ошибку в отношении их предполагаемых намерений. Когда обучаемый взаимодействует с Web F-SMILE, агент STLM собирает новую информацию о пользователе и обновляет модель ученика. В случае если агент STLM не может найти модель обучаемого для конкретного пользователя системы, он пытается инициализировать модель ученика, используя стереотипы [6].

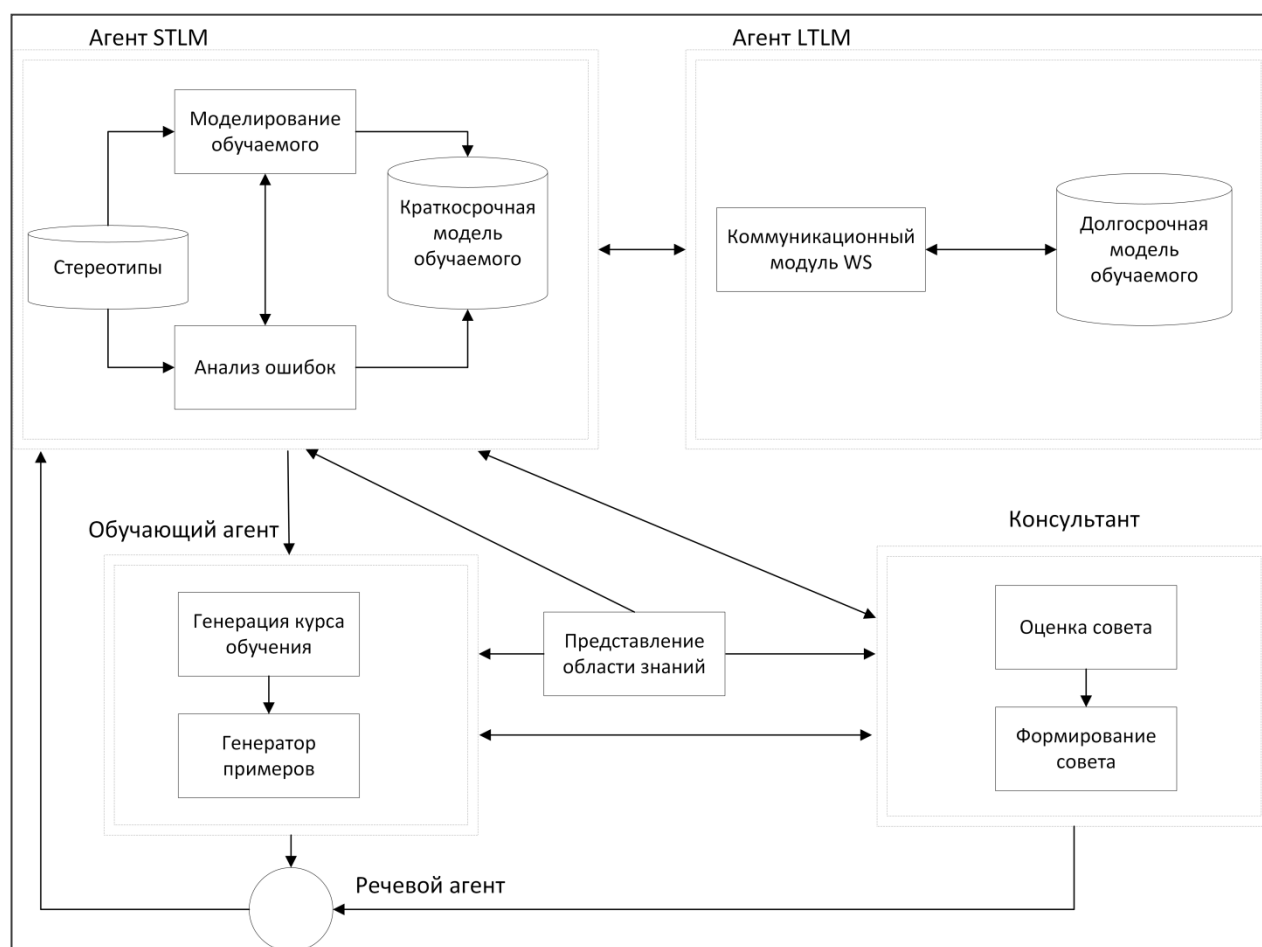


Рис. 1.12 Архитектура Web F-SMILE [3]

В работе [7] представлена интеллектуальная обучающая система **ADIS**, разработанная в качестве учебного пособия для курса по структурам данных. ADIS имеет возможность графически отображать структуры данных на экране компьютера, а также позволяет создавать графические манипуляции с созданной структурой данных. Существует учебный режим, включающий упражнения, где обучаемые могут визуально изучать основные структур данных.

Система состоит из нескольких базовых модулей.

- Персонализированные модели обучаемого, каждая из которых будет следить за ходом обучения одного обучаемого.
- Экспертная модель [40, 56, 90-93], которая хранит инструкции для каждого упражнения, а также исходное состояние (если таковые имеются). Эта модель также предоставляет шаблон, с помощью которого можно сравнивать действия обучаемых, выявлять нарушения, допущенные обучаемым.
- Репетитор, который работает с моделями обучаемых и экспертов. Он отвечает за проверку каждого шага обучения учеником в упражнении (посредством шаблона, соответствующего шагам с обеих моделей). Репетитор использует модуль обучения на основе ограничений, предложенный [8] и подробно описанный в [9].
- Графический пользовательский интерфейс (GUI) системы.

На рисунке 1.13 приведен общий схематический вид обучающей системы ADIS. Каждый пользователь системы имеет собственную копию модели «Эксперт» и «Студент».

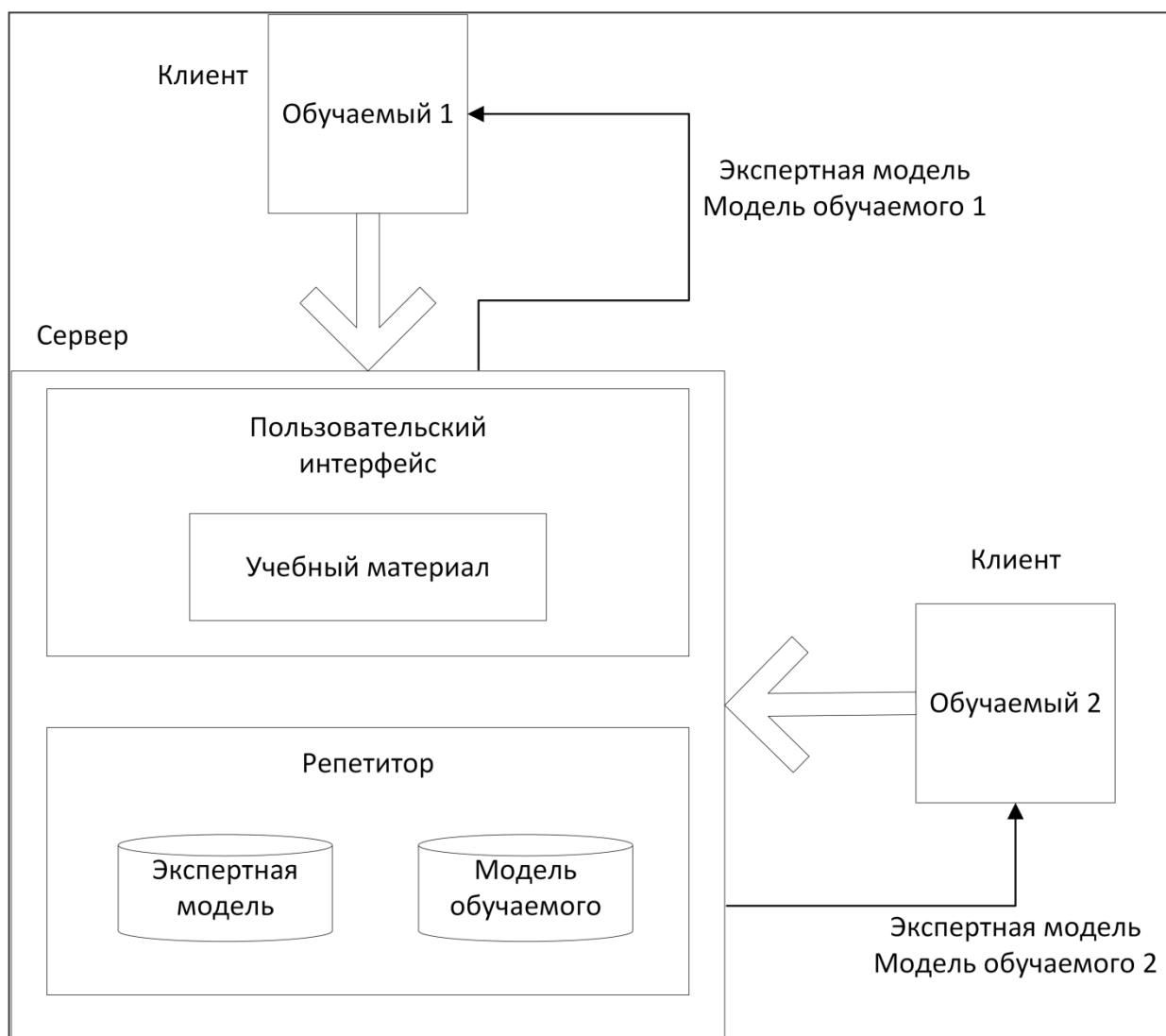


Рис. 1.13 Общая схема интеллектуальной обучающей системы ADIS [7]

В работе [10] представлен инструмент для создания интеллектуальных систем обучения под названием **«Генератор динамических курсовых выражений» (DCG)**. Он позволяет автоматически генерировать индивидуальные курсы в соответствии с целью обучения и предыдущими знаниями, которые могут динамически адаптировать курс в соответствии с успехом обучаемого в приобретении знаний [11]. Основная идея DCG – использование структуры концепции учебного материала как «дорожной карты» для формирования плана курса. Учитывая определенную цель, которую обучаемый хочет достичь, и модель обучаемого, содержащую понятия, уже известные обучаемому (инициализированные предварительным тестом), планировщик ищет подграфы, которые соединяют понятия, известные обучаемому, с целью обучения. Подграф

преобразуется в линейную последовательность понятий с использованием простой эвристики. В «интеллектуальной» версии DCG линеаризация следует определенным правилам обучения. Обучаемый видит последовательность учебных материалов, связанных с каждой концепцией из плана. В каждый момент времени обучаемый может быть проверен на знание его текущей концепции.

В работе [12] рассмотрена система обучения **АП ГИПЕРТЕСТ** [13]. Модель обучаемого в данной системе представлена следующими компонентами: персональные данные обучаемого, стиль обучения, оценки результатов подготовки и способностей обучаемого. Информационной основой для управления процессом обучения в системе ГИПЕРТЕСТ служат методы навигационной адаптации: адаптация ссылок на учебный материал (рекомендован к изучению, не рекомендован к изучению, материал изучен обучаемым), маркировка изученных модулей и элементов знаний глоссария. Для сокращения времени прохождения курса обучаемым используется метод адаптивной визуализации учебного материала, связанного с моделью обучаемого. Метод адаптации использует «И / ИЛИ» - модели отображения учебного материала.

В работе [14] представлена **адаптивная система управления учебной деятельностью обучаемого** (рисунок 1.14). Предлагаемая система идентифицирует тенденцию стилей обучения учащегося посредством набора анкет. Оценки анкеты используются системой в качестве основы для предоставления учебных материалов в зависимости от стилей обучения учащегося. Предлагаемая автором адаптивная система управления обучением сочетает в себе преимущества систем управления обучением с преимуществами адаптивных обучающих систем. Предлагаемая система реализуется с использованием инструментальной системы LAMS (Learning Activity Management System). Система использует оценочную деятельность в LAMS для реализации теста MBTI (Myers-Briggs Type Indicator) [15, 16]. Тест состоит из четырех разделов: введение, содержание, задания и упражнения [14]. Каждый раздел теста представляет собой группу из двух вопросов выбора, целью которых является изучение одного аспекта стиля обучения модели MBTI.

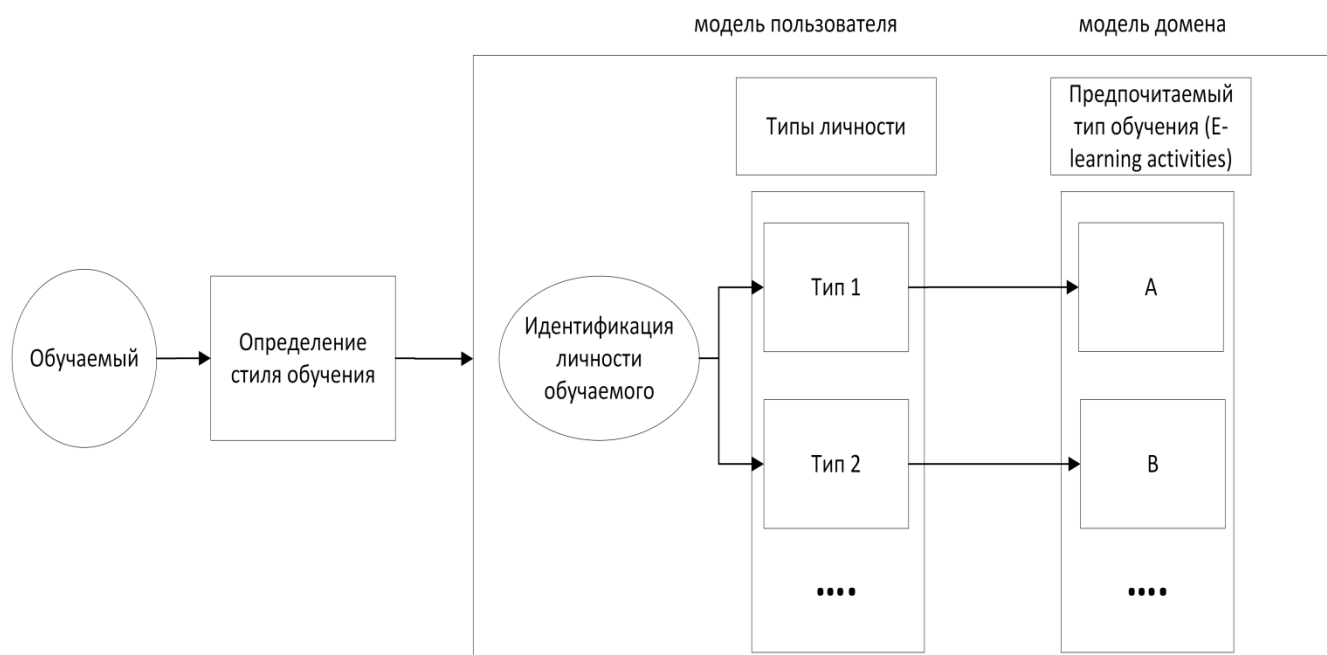


Рис. 1.14 Предлагаемая система с типом личности [14]

В системе **Protus** [17] применяются автоматические методы адаптации к интересам и уровням знаний обучаемого. Основная цель системы Protus - рекомендовать полезный и интересный материал для изучения обучаемому на основе их опыта, предпочтений, учебных целей и других значимых атрибутов. Система Protus состоит из пяти компонентов (рисунок 1.15): «domain модуль», «модель ученика», «модуль приложения», «модуль адаптации » и «мониторинг сеанса».

«Domain модуль» представляет собой хранилище для всех основных учебных материалов, учебных пособий и тестов. Содержание обучения разделено на шесть курсов, каждый из которых состоит из нескольких тем. Каждая тема может иметь неограниченное количество используемого учебного материала. В «domain модуль» также описывается структура информационного контента. «Модель ученика» представляет собой набор как статических, так и динамических данных об учащемся. Система использует эту информацию для предсказания поведения обучаемого и, тем самым, адаптируется к его индивидуальным потребностям. «Модуль адаптации» следует инструкциям, указанным «модулем приложения». В компоненте «мониторинга сеанса» система постепенно воссоздает модель обучаемого во время процесса обучения, чтобы

отслеживать действия ученика и его прогресс, обнаруживать и корректировать его ошибки. В конце сессии все предпочтения учащихся записываются в «модель ученика». Обучаемый может изменить эту информацию в любое время, отредактировав свой предпочтительный стиль обучения. «Модель ученика» используется вместе с другой информацией и знаниями для инициализации следующей сессии для того же учащегося. «Модуль адаптации» обеспечивает две общие категории персонализации, основанные на адаптивной гипермедиа и рекомендательных системах [18, 19].

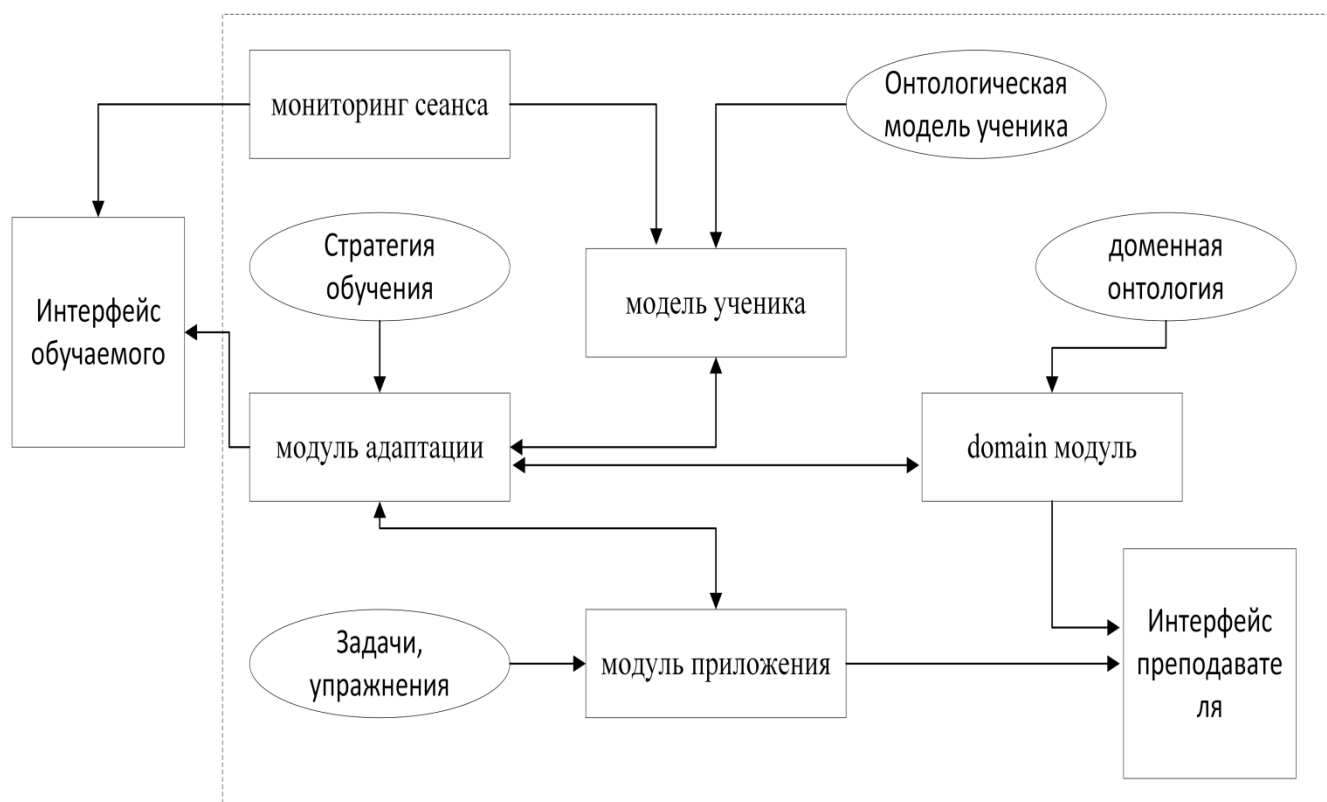


Рис. 1.15 Архитектура системы Protus [17]

В авторской автоматизированной обучающей системе Канева Д.С. [163, 164] разработана и реализована функция поддержки персонифицированного обучения проектировщика решению практических задач в области автоматизированного проектирования машиностроительных изделий. В качестве модели обучаемого используется профиль проектировщика (набор компетенций и их характеристик), построенный на основе оверлейной модели обучаемого. Модель предметной области содержит следующие уровни: практический, теоретический и уровень схемы. Адаптация процесса обучения осуществляется на

основе использования механизмов динамического взаимодействия профиля проектировщика с онтологической моделью предметной области САПР.

В таблице 1.2 приведены сравнительные характеристики рассмотренных выше автоматизированных обучающих систем. Объясним основные параметры таблицы. Параметр «Модель компетенций» определяет возможность интеграции АОС с профессиональными компетенциями проектировщика, что позволяет повысить качество и эффективность обучения проектной деятельности в САПР. Параметр «Формирование рекомендаций» определяет возможность предоставления проектировщику перечень рекомендуемых действий для повышения его знаний, умений и навыков для решения промышленных задач проектирования машиностроительных объектов САПР.

Таблица 1.2. Сравнительные характеристики АОС

Система обучения	Модель обучаемого	Модель адаптации	Теоретический / практический материал	Альтернативный сценарий обучения	Модель компетенций	Оценка эффективности обучения	Формирование рекомендаций
ELM-ART	Векторная	Адаптивная аннотация и сортировка ссылок	+ / -	+	-	-	-
Web F-SMILE	Оверлейная, стереотипная	На основе правил	+ / -	-	-	-	+
ADIS	Оверлейная	Экспертная система на основе инструкций и шаблонов.	+ / -	-	-	+	-
Авторская система Васильевой «Генератор динамических курсовых выражений»	Векторная	На основе правил	+ / -	-	-	-	-
АП ГИПЕРТЕСТ	Оверлейная	«И / ИЛИ» - модели отображения учебного материала,	+ / -	+	-	+	-

		адаптация ссылок на учебный материал, маркировка изученных модулей и элементов знаний					
Авторская система Nouran Radwan	Оверлейная	На основе правил и набора анкет	+ / +	-	-	-	-
Protus	Оверлейная	Категории персонализации, основанные на адаптивной гипермедиа и рекомендательных системах	+ / +	+	-	-	+
Авторская АОС Канева Д.С.	Оверлейная	Авторский алгоритм	+ / +	+	-	+	+

Анализ данных систем показал, что в рассмотренных АОС отсутствуют механизмы интеграции с моделью компетенциями инженера-проектировщика. Рекомендательная часть реализована лишь в системах Web F-SMILE, Protus, а также в авторской АОС Канева Д.С.

В результате анализа таблицы были выделены требования, предъявляемые к разработке автоматизированной системы обучения проектировщика проектной деятельности в САПР:

- интеграция с моделью компетенций проектировщика;
- формирование альтернативного сценария обучения проектировщика;
- оценка эффективности и качества обучения проектировщика;
- формирование рекомендаций проектировщику в процессе обучения.

Модели профессиональных компетенций инженера-проектировщика

Компетентность - это способность применять и использовать набор связанных знаний, навыков и умений, необходимых для выполнения «критических рабочих функций» или выполнения задач в определенной предметной области. Компетенции часто служат основой для формирования профессиональных стандартов, которые определяют уровень знаний, умений и навыков, необходимых для успеха на рабочем месте, а также потенциальные критерии оценки компетентности.

Профессиональная компетенция проектировщика – это набор знаний, умений, навыков и практического опыта, необходимого для выполнения и решения задач в области автоматизированного проектирования машиностроительных объектов в САПР.

Далее рассмотрим существующие стандарты, связанные с компетенциями проектировщика и его проектной деятельностью.

В профессиональном стандарте «Конструктор в автомобилестроении» [33] (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 13.03.2017 № 258н) приведены трудовые функции инженера-проектировщика (код А/02.5) по разработке конструкций компонентов

автотранспортных средств (АТС): разработка чертежей и трехмерных моделей компонентов АТС, подготовка конструкторской документации, знание типовых конструкций компонентов, знание правил проектирования трехмерных моделей компонентов АТС.

В проекте приказа Минтруда России «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по компьютерному конструированию (автоматизированному производству)» [34] (по состоянию на 22.06.2015) отсутствует описание компетенций инженера-проектировщика, но приведены обобщенные трудовые функции: эскизное проектирование конструкции механизма, разработка конструкторской документации с учетом эскизов, создание детального чертежа для производства. Для каждой трудовой функции выделены показатели уровней квалификации, характер умений и знаний, требуемых для ее осуществления.

В рабочей программе «Основы системы автоматизированного проектирования», составленной на основе стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС [59], по направлению подготовки 151000 «Технологические машины и оборудование» [28] от 2014 года выделены следующие компетенции, связанные с теоретической и практической подготовкой проектировщиков в САПР: «использование современных программных средств для разработки и редактирования проектно-конструкторской и технологической документации, владение элементами начертательной геометрии и инженерной графики (ПК-6)» [28]; «способность проектировать и конструировать типовые детали и узлы с использованием стандартных средств компьютерного проектирования (ПК-11)» [28].

В описании дополнительной профессиональной программы повышения квалификации по направлению подготовки «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» [29] от 2015 года предполагается освоение соответствующих профессиональных компетенций проектировщика: «оценка и анализ эффективности работы узлов, систем и агрегатов на этапе проектирования; использование компьютерных средств при разработке новых

технологий изготовления изделий машиностроения» [29]; «проектирование технологических процессов изготовления и сборки изделий в условиях автоматизированного производства» [29].

В единой системе сертификации специалистов от компании «АСКОН» [30], работающих с САПР, квалификация проектировщиков подтверждается по результатам сертификационных тестов. Тесты по направлению «КОМПАС - 3D. Машиностроительное направление» имеют в своем составе разные уровни сложности. Для уровней М3 («Проектирование и разработка конструкторской документации в системе КОМПАС-График» [31]) и М2 («Трехмерное моделирование деталей и сборочных единиц в системе КОМПАС-3D» [32]) выделены следующие теоретические знания, умения и навыки: изучение основных понятий, инструментов и приемов работы в САПР КОМПАС; создание параметрических эскизов, трехмерных деталей и сборок; получение на основе трехмерной модели изделия связанных комплектов конструкторской документации; создание чертежей деталей и сборок, проставление размеров, оформление технических требований и технологических обозначений; проверка и редактирование сборки и ее компонентов; использование справочников САПР КОМПАС и стандартных библиотек изделий и типовых фрагментов.

Проанализировав рассмотренные стандарты, были выделены следующие компетенции проектировщика:

- 1) знание общих сведений о САПР;
- 2) знание предметной области автоматизированного проектирования;
- 3) знание общих принципов моделирования;
- 4) умение создавать рабочий чертеж;
- 5) умение создавать сборочную единицу;
- 6) умение создавать сборку изделия;
- 7) умение создавать компонент в контексте сборки;
- 8) умение создавать сборочный чертеж сборочной единицы;
- 9) умение создавать сборочный чертеж изделия;
- 10) умение создавать спецификации;

- 11) навыки твердотельного моделирования в САПР;
- 12) навыки добавления стандартных изделий;
- 13) навыки использования тел вращения;
- 14) использование методик проектирования в САПР;
- 15) навыки коллективной работы над проектным решением;
- 16) умеет использовать элементы по сечениям;
- 17) умеет использовать пользовательские библиотеки трехмерных моделей;
- 18) навыки построения листовых деталей;
- 19) способен построить трехмерную модель по плоскому чертежу;
- 20) навыки построения кинематических компонентов и пространственных кривых.

1.4 Постановка задачи

Проведенный обзор вышеизложенных моделей, методов и средств анализа проектной деятельности и обучения инженера-проектировщика процессам конструирования машиностроительных объектов САПР показал.

1. В современных средствах анализа проектных решений отсутствуют функции классификации и автоматического перестроения проектных решений САПР, отсутствует анализ действий проектировщика.

2. В автоматизированных обучающих системах отсутствуют механизмы интеграции с профессиональными компетенциями инженера-проектировщика, отсутствует оценка эффективности его проектной деятельности.

На основании анализа предметной области автоматизированного проектирования, проведенного в первой главе, сформулированы основные исследовательские задачи.

1. Провести обзор подходов построения систем анализа проектных решений.

2. Провести анализ методов и средств управления процессом обучения в автоматизированных системах обучения.

3. Разработать метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций, выполненных в среде САПР КОМПАС-3D.

4. Разработать математическое обеспечение автоматизированной системы обучения: модель компетенций, алгоритм формирования траектории обучения, концептуальную модель АОС.

5. Реализовать предложенные модели, методы и алгоритмы в виде программного комплекса для ЭВМ.

Основные научные гипотезы диссертационного исследования формулируются следующим образом.

1. Если в процессе анализа проектных решений, выполненных в САПР, классифицировать изделия машиностроительных объектов с целью повторного использования, а также на основе оптимальных проектных операций проектирования перестроить дерево модели трехмерного твердотельного изделия, то это повысит качество проектных решений.

2. Если в процессе обучения проектировщика будет формироваться персонифицированный сценарий обучения с использованием модели профессиональных компетенций, связанных с областью автоматизированного проектирования машиностроительных объектов, то это позволит повысить эффективность и качество обучения.

1.5 Выводы

1. Рассмотрены методы параметрического анализа и оптимизации проектных решений машиностроительных объектов: метод конечных элементов, структурная оптимизация, оптимизация размеров и формы. В системах автоматизированного проектирования представлены инструменты анализа проектных решений, наиболее распространенными являются системы, позволяющие провести прочностной, кинематический и динамический анализ модели САПР. При этом в САПР отсутствует анализ дерева построения модели и

действий проектировщиков в процессе конструирования машиностроительных объектов.

2. Проведен обзор систем анализа проектных решений и широко применяемых на производстве САПР. Рассмотренные инструменты включают в себя анализ трехмерных моделей, сборок и чертежей, связанных с конкретным программным обеспечением САПР. Основными недостатками данных систем анализа проектных решений является отсутствие функций по определению неоптимальных последовательностей проектных операций, отсутствие возможности автоматического перестроения трехмерной модели машиностроительного изделия на основе анализа дерева модели проектного решения.

3. Адаптивные методы позволяют повысить эффективность и качество обучения, а также сократить время процесса обучения за счет отслеживания траектории обучения обучаемого, изменяя последовательность предоставления теоретического учебного материала и практических заданий. Используются следующие механизмы адаптации: на основе правил, адаптивная аннотация и сортировка ссылок, экспертная система на основе инструкций и шаблонов, адаптивная гипермедиа, рекомендательные системы, авторский алгоритм.

4. В современных адаптивных АОС отсутствует интеграция с компетенциями проектировщика изделий машиностроения, а также отсутствует оценка эффективности его проектной деятельности и обучения автоматизированному проектированию машиностроительных изделий.

5. Выделены основные требования, предъявляемые к разработке автоматизированной системы обучения проектировщика: интеграция с моделью компетенций проектировщика; формирование альтернативного сценария обучения проектировщика; оценка эффективности обучения проектировщика; формирование рекомендаций проектировщику в процессе обучения.

6. Определено место автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика. Для повышения качества проектных решений, выполненных в САПР, необходимо разработать метод структурно-

параметрического анализа, который позволяет анализировать действия проектировщика, дерево модели проектного решения с целью перестроения, классификации и повторного использования проектных решений, выполненных в машиностроительных САПР, что позволит обеспечить повторность их использования, сокращение количества проектных операций и приобретение проектировщиком соответствующих компетенций.

7. В рамках диссертационной работы выделены следующие компетенции проектировщика: знание общих сведений о САПР; знание предметной области автоматизированного проектирования; знание общих принципов моделирования; умение создавать рабочий чертеж; умение создавать сборочную единицу; умение создавать сборку изделия; умение создавать компонент в контексте сборки; умение создавать сборочный чертеж сборочной единицы; умение создавать сборочный чертеж изделия; умение создавать спецификации; навыки твердотельного моделирования в САПР; навыки добавления стандартных изделий; навыки использования тел вращения; использование методик проектирования в САПР; навыки коллективной работы над проектным решением; умеет использовать элементы по сечениям; умеет использовать пользовательские библиотеки трехмерных моделей; навыки построения листовых деталей; способен построить трехмерную модель по плоскому чертежу; навыки построения кинематических компонентов и пространственных кривых.

8. Сформулированы основные научные гипотезы диссертационного исследования: если в процессе анализа проектных решений, выполненных в САПР, классифицировать изделия машиностроительных объектов с целью повторного использования, а также на основе оптимальных проектных операций проектирования перестроить дерево модели трехмерного твердотельного изделия, то это повысит качество проектных решений; если в процессе обучения проектировщика будет формироваться персонифицированный сценарий обучения с использованием модели профессиональных компетенций, связанных с областью автоматизированного проектирования машиностроительных объектов, то это позволит повысить эффективность и качество обучения.

Глава 2. Разработка автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения

В данной главе предлагается новый метод структурно-параметрического анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС. Разработана классификация правил анализа проектных решений.

Предложена обобщенная схема автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика, описаны основные компоненты системы.

2.1 Разработка метода структурно-параметрического анализа проектного решения

Сущность метода заключается в поиске неоптимально выполненных проектировщиком проектных операций на основе анализа дерева модели проектного решения и анализа операций объектов трехмерного моделирования, построенных в среде САПР КОМПАС-3D. Метод позволяет перестроить дерево модели проектного решения и классифицировать изделия машиностроительных объектов для повторного использования трехмерных моделей при конструировании твердотельных изделий в САПР КОМПАС-3D.

Под моделью в САПР КОМПАС-3D понимается совокупность геометрических объектов, таких как: эскизы, пространственные кривые и точки, поверхности и тела. В свою очередь, геометрические объекты состоят из следующих компонентов: вершина, грань, ребро.

При этом под трехмерной деталью будем понимать однородную непрерывную область пространства определенной формы, а под трехмерной сборкой – трехмерную модель, объединяющую модели деталей, подборок и стандартных элементов. Таким образом, под термином «проектное решение» будем понимать описание в заданной форме объекта проектирования или его части, необходимое и достаточное для определения дальнейшего направления проектирования.

В дереве модели проектного решения отображается деталь (сборка) в виде списка объектов в том порядке, в котором они были созданы. Сборка в дереве модели проектного решения отображается в режиме «История построения». Данный режим служит для представления последовательности проектных операций и применяется для редактирования операций, в которых результат предыдущих действий проектировщика влияет на последующие. Каждый элемент дерева модели имеет определенные свойства и параметры: внешние параметры, покрытие, материал изготовления и т. д.

Пример дерева модели проектного решения, выполненного в САПР, представлен на рисунке 2.1. Выделены основные элементы дерева модели и показана взаимосвязь между ними.

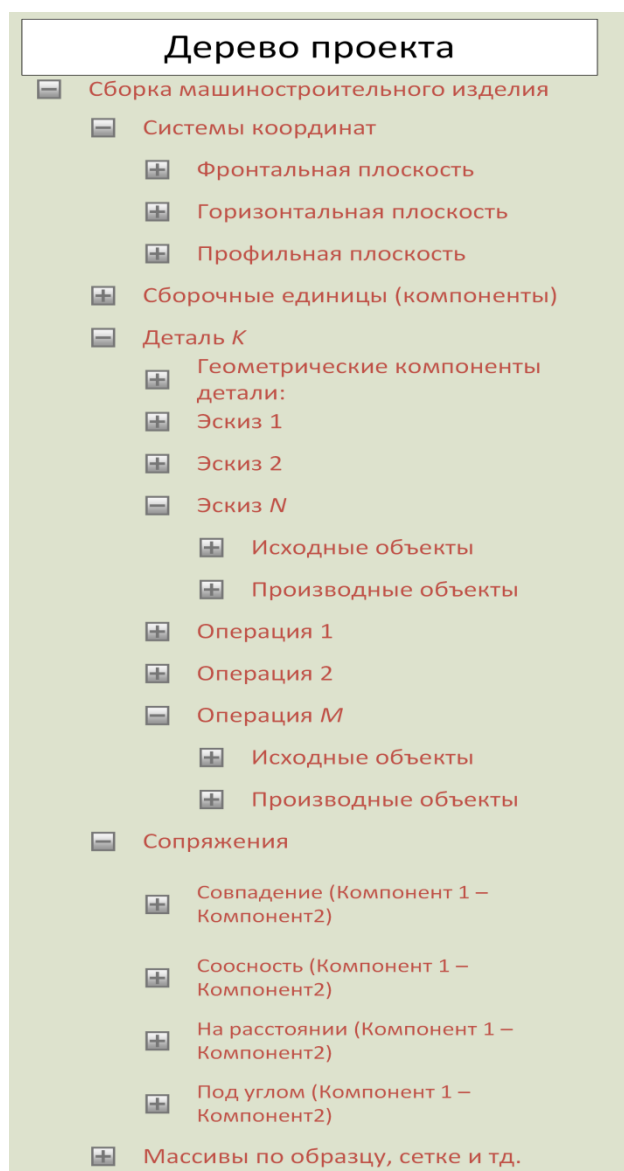


Рис. 2.1 Схема дерева модели проектного решения

Дерево проектного решения состоит из следующих компонентов: плоскостей проектирования, сборочных единиц, деталей и проектных операций для построения трехмерной твердотельной модели машиностроительного изделия.

Анализ последовательности проектных операций объектов трехмерного моделирования, выполненных в среде САПР КОМПАС-3D, осуществляется на основе правил. Правило для анализа проектных операций состоит из следующих компонентов: тип операции, текстовое описание правила, условие срабатывания правила. Если для последовательности проектных операций найдено правило, формируется соответствующая рекомендация проектировщику.

Разработаем ряд моделей, составляющих научную основу метода структурно-параметрического анализа.

Исходными данными для анализа проектных решений САПР КОМПАС является последовательность выполняемых проектных операций проектировщиком, модель которой имеет следующий вид:

$$P_PrO = (Operations, TypesOperation, ParamsOp, F_list),$$

где $Operations = \{op_i | i = 1..k\}$ – множество проектных операций,

$TypesOperation = \{o3d_i | i = 0..159\}$ – множество типов операций в САПР КОМПАС (например, $o3d_fillet = 34$ – операция «скругление»; $o3d_chamfer = 33$ – операция «фаска»),

$ParamsOp = \{pr_i | i = 1..PR\}$ – множество параметров операций со значением,

$F_list = Operations \times TypesOperation \times ParamsOp \rightarrow l_op$ – функция формирования последовательности проектных операций проектировщика при работе с САПР КОМПАС-3D.

Модель операции имеет следующий вид:

$$Operation = (id, type, params, F_xml),$$

где id – номер операции в последовательности операций,

$type \in TypesOperation$ – тип операции,

$params \in ParamsOp$ – список параметров операции со значением,

$F_xml = number \times type \times params \rightarrow l_xml$ – функция формирования XML-описания проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС-3D.

На основе предложенной модели операций генерируется XML-описание проектного решения, содержащее историю построения трехмерного твердотельного машиностроительного изделия в виде взаимосвязанных проектных операций проектирования в САПР КОМПАС-3D и их параметров со значением.

Например, для проектной операции типа «Отрезок» XML-описание имеет следующий вид:

```
<op type="Отрезок" toptype="shape" id="105196" name="Отрезок">
  <params>
```

```

<param>
  <name>sketch</name>
  <val>105195</val>
</param>
<param>
  <name>Начальная точка</name>
  <val>0,00; 0,00.</val>
</param>
<param>
  <name>Конечная точка</name>
  <val>10,00; 0,00.</val>
</param>
</params>
</op>

```

Модель исходных данных для автоматизированного перестроения объекта трехмерного моделирования имеет следующий вид:

$RebuildModel = (Details, l_{op}, l_{xml}, Rules, F_{opN}, F_{opt}, F_{rxml}, F_{rojb3D})$,

где $Details = \{dt_i | i = 1..k\}$ – множество деталей, входящих в трехмерную модель изделия САПР КОМПАС,

l_{op} – последовательность проектных операций,

l_{xml} – XML-описание проектного решения САПР КОМПАС-3D,

$Rules = \{r_i | i = 1..k\}$ – множество правил для поиска неоптимальных проектных операций и их замены на операции с меньшим количеством действий.

$F_{opN} = Details \times l_{op} \times l_{xml} \rightarrow op_N \subset Operation$ – функция формирования множества неоптимальных проектных операций, выполненных проектировщиком, для каждой трехмерной модели, входящей в сборку машиностроительного изделия,

$F_{opt} = op_N \times Rules \rightarrow l_{opOpt}$ – функция формирования оптимальной последовательности проектных операций,

$F_{rxml} = Details \times l_{opOpt} \rightarrow l_{rxml}$ – функция формирования XML-описания для перестроения трехмерного машиностроительного объекта в САПР КОМПАС-3,

$F_{robj3D} = l_{opOpt} \times l_{rxml} \rightarrow r_{project}$ – функция перестроения дерева модели проектного решения САПР КОМПАС-3D на основе оптимальной последовательности проектных операций и их XML-описания.

Такие преобразования модели на основе множества неоптимальных проектных операций и правил для поиска и замены их на последовательность с меньшим количеством действий позволяют сформировать оптимальную последовательность проектных операций трехмерной твердотельной модели машиностроительного объекта в САПР КОМПАС-3D.

Модель деталей, входящих в трехмерную модель изделия САПР КОМПАС, имеет следующий вид:

$$Details = (id, l_{op}, attribute, material, F_{class}),$$

где id – множество уникальных идентификаторов детали,

l_{op} – последовательность проектных операций проектировщика для построения детали в САПР КОМПАС-3D,

$attribute$ – множество переменных и параметров трехмерной модели,

$material$ – множество материалов для изготовления детали (например, «Сталь 10 ГОСТ 1050-88»),

$F_{class} = l_{op} \times attribute \rightarrow class$ – функция определения класса изделия машиностроительного объекта, выполненного в САПР КОМПАС-3D (например, «Кольцо», «Втулка», «Фланец» и т. д.).

Такое представление модели позволяет классифицировать трехмерный твердотельный машиностроительный объект, выполненный в САПР КОМПАС-3D, с целью повторного использования в процессе конструирования.

Модель переменных и параметров трехмерной модели имеет следующий вид:

$$attribute = (name, value, note, F_{aList}),$$

где *name* – множество обозначений переменной или параметра трехмерной модели,

value – множество значений переменной или параметра трехмерной модели,

note – множество текстовых описаний переменной или параметра трехмерной модели (например, «d = 24 – диаметр посадочной поверхности корпуса»),

$F_aList = name \times value \times note \rightarrow l_param$ – функция формирования списка параметров 3D-объекта, спроектированного в САПР КОМПАС-3D.

На основе предложенной модели формируется список параметров трехмерного твердотельного машиностроительного объекта, выполненного в САПР КОМПАС-3D, для определения класса изделия.

Например, при анализе проектного решения САПР КОМПАС-3D «PLib_Check_spring_rings_GOST_13943_911.m3d» будут выделены следующие параметры:

d = 24 //Диаметр посадочной поверхности корпуса

d1 = 25,5 //Диаметр канавки в корпусе

d2 = 25,9 //Диаметр свободного кольца наружный

d3 = 22,1 //Диаметр внутренний

d4 = 2 //Диаметр отверстия в ушке

s = 1,2 //Толщина кольца

b = 2,6 //Условный параметр

a = 4,4 //Высота ушка

l = 7 //Ширина паза по исп.2-3

r2 = 2 //Радиус скругления (не более)

r1 = 2,5 //Радиус скругления ушка

e = 0,7 //Эксцентриситет

Isp_170 = 1 //Для диаметров более 170 мм (при d>170 мм равно 0)

Isp1 = 1 //Круглое ушко (при d>170 мм равно 1)

Isp2 = 0 //Рубленое ушко (при d>170 мм равно 1)

IspSb = 0 //Кольцо в корпусе (сборка)

Модель правила [72] имеет следующий вид:

$$Rules = (template, result),$$

где $template = \{tpl_i | i = 1..k\}$ – формула логики первого порядка для поиска неоптимальных операций в последовательности проектных операций,

$result = \{res_i | i = 1..n\}$, $res = (type, params)$ – множество оптимальных проектных операций (тип операции, параметр операции со значением), где тип операции – константа, а параметр операции со значением – формула логики первого порядка.

Зададим алфавит символов для формул логики первого порядка:

- предметные переменные: $OP = \{opt \in TypesOperation\}$ – множество типов проектных операций в САПР КОМПАС-3D;
- символы логических операций: $\wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$;
- термы:
 - $type = Operations \rightarrow TypesOperation$ – получение типа проектной операции;
 - $optParam = ParamsOp \times type \rightarrow pr$ – получение параметра проектной операции со значением.

Рассмотрим пример формирования оптимального множества проектных операций при выполнении операции «Скругление», являющейся базовой операцией при создании 3D-объектов, подготовленных в САПР КОМПАС. Если данная операция имеется во множестве проектных операций, то осуществляется поиск правила по базе, в результате которого находится следующее правило “*Не используйте операцию «Скругление» для каждого ребра в отдельности, параметры для которых одинаковы*”. Шаблон данного правила имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} &type(opt1) = \text{Скругление} \wedge type(opt1) = \text{Скругление} \wedge optParam(opt1, \text{Признак} \\ &\text{продолжения скругления по касательным ребрам}) = optParam(opt1, \text{Признак} \\ &\text{продолжения скругления по касательным ребрам}) \wedge optParam(opt2, \text{Радиус} \\ &\text{второго скругления}) = optParam(opt2, \text{Радиус второго скругления}). \end{aligned}$$

Формула для построения оптимального множества операций для операции «Скругление» имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} (1, \text{Тип, Скругление}), \\ (1, \text{Признак продолжения скругления, optParam(opt1, Радиус первого скругления)}), \\ (1, \text{Радиус первого скругления, optParam(opt1, Радиус первого скругления)}), \\ (1, \text{Радиус второго скругления, optParam(opt2, Радиус второго скругления)}), \\ (1, \text{Ребро, optParam(opt1, Радиус)}), (1, \text{Ребро, optParam(opt2, Радиус)}) \end{array} \right\}$$

Шаблон правила в общем виде имеет следующую структуру:

$$TPL = (id, type, txt, action),$$

где id – множество идентификаторов правил,

$type \in TypesOperation$ – множество типов проектных операций,

txt – множество описаний правил,

$action$ – множество условий срабатывания правил.

Модель исходных данных для классификации изделия машиностроительных объектов имеет следующий вид:

$$ClassDetails = (detail, l_{op}, ClassTemplates, F_{class}),$$

где $detail \in Details$ – множество деталей, входящих в трехмерную модель изделия (сборку) САПР КОМПАС,

l_{op} - последовательность проектных операций проектировщика для построения детали в САПР КОМПАС-3D,

$ClassTemplates = \{ctpl_i | i = 1..k\}$ – множество шаблонов построения дерева модели проектных решений для определенного класса изделия,

$F_{class} = detail \times l_{op} \times ClassTemplates \rightarrow class$ – функция определения класса изделия машиностроительного.

Предложенная модель позволяет классифицировать трехмерный машиностроительный объект на основе имеющегося множества шаблонов построения трехмерных моделей, присущих определенным классам изделий.

Повышение качества проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, и эффективности работы проектировщика изделий машиностроения осуществляется за счёт поиска неоптимальной

последовательности проектных операций и замены их на последовательность проектных операций с меньшим количеством действий.

Алгоритм формирования последовательности оптимальных проектных операций представлен на рисунке 2.2 и состоит из следующих пунктов.

1. Начало работы проектировщика с проектом.
2. Генерация проектных операций (исходные данные – текстовое XML-описание проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС).
3. Формирование последовательности проектных операций.
4. Поиск правила в базе правил (которому соответствует последовательность проектных операций). Если правило не найдено, переход к пункту 9.
5. Формирование оптимальной последовательности проектных операций.
6. Формирование рекомендации проектировщику по замене неоптимальных операций на основе последовательностей оптимальных и неоптимальных проектных операций.
7. Замена множества неоптимальных проектных операций на последовательность с меньшим количеством действий.
8. Перестроение дерева модели проектного решения на основе последовательности из пункта 7.
9. Сохранение проектного решения и отображение его в САПР КОМПАС.
10. Завершение работы проектировщика с проектом.

Алгоритм классификации изделий машиностроительных объектов представлен на рисунке 2.3 и состоит из следующих пунктов.

1. Начало работы проектировщика.
2. Поиск проектного решения в базе изделий, если такое проектное решение уже существует, тогда переход к пункту 8.
3. Генерация проектных операций (исходные данные – текстовое XML-описание проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС).
4. Формирование последовательности проектных операций.
5. Формирование списка переменных и параметров изделия.

6. Поиск шаблона построения дерева модели, который соответствует последовательности проектных операций. Если найден шаблон, переход к пункту 8.
7. Анализ структуры проектного решения. Использование модулей анализа классов изделий на основе последовательности проектных операций для построения дерева трехмерной модели проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС, и списка параметров для присвоения класса машиностроительному объекту.
8. Присвоение класса изделия машиностроительному объекту.
9. Завершение работы проектировщика.

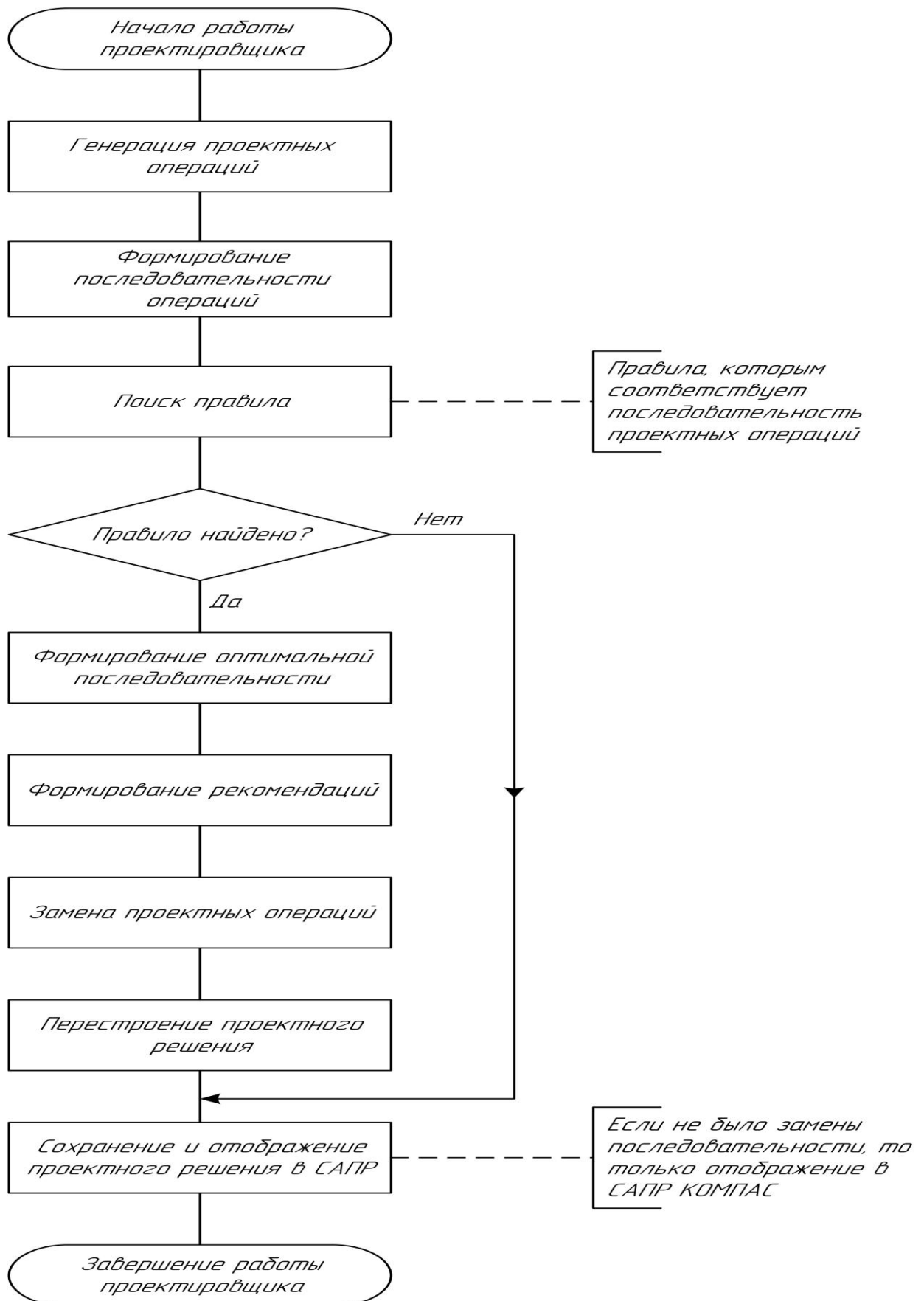


Рис. 2.2 Алгоритм формирования последовательности оптимальных проектных операций

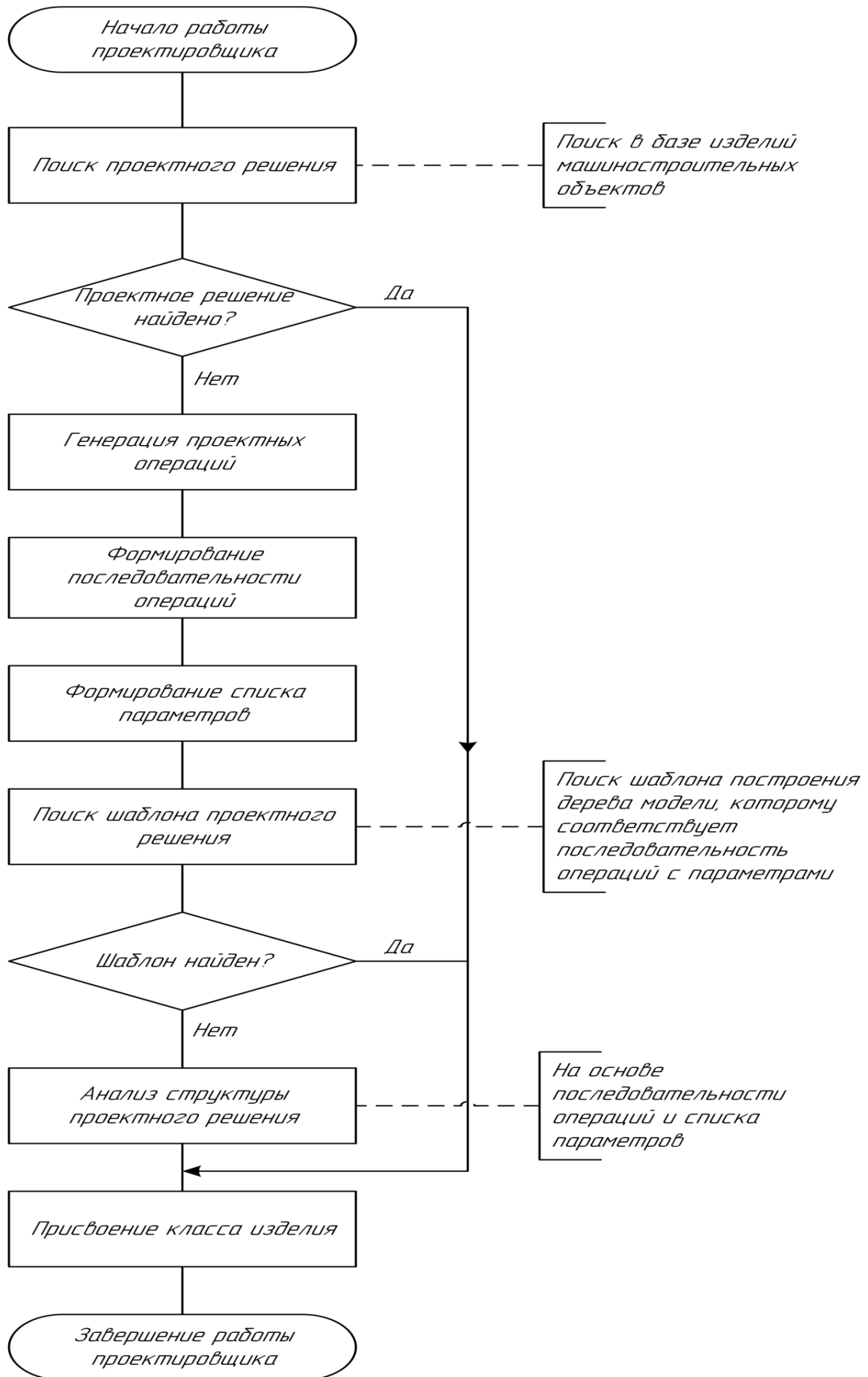


Рис. 2.3 Алгоритм классификации изделий машиностроительных объектов

2.2 Организация системы анализа проектных решений

Автоматизированная система анализа проектных решений (рисунок 2.4), выполненных в среде САПР КОМПАС, состоит из следующих частей:

- 1) генератора операций,
- 2) системы поиска неоптимальных проектных операций,
- 3) системы классификации изделий машиностроительных объектов.

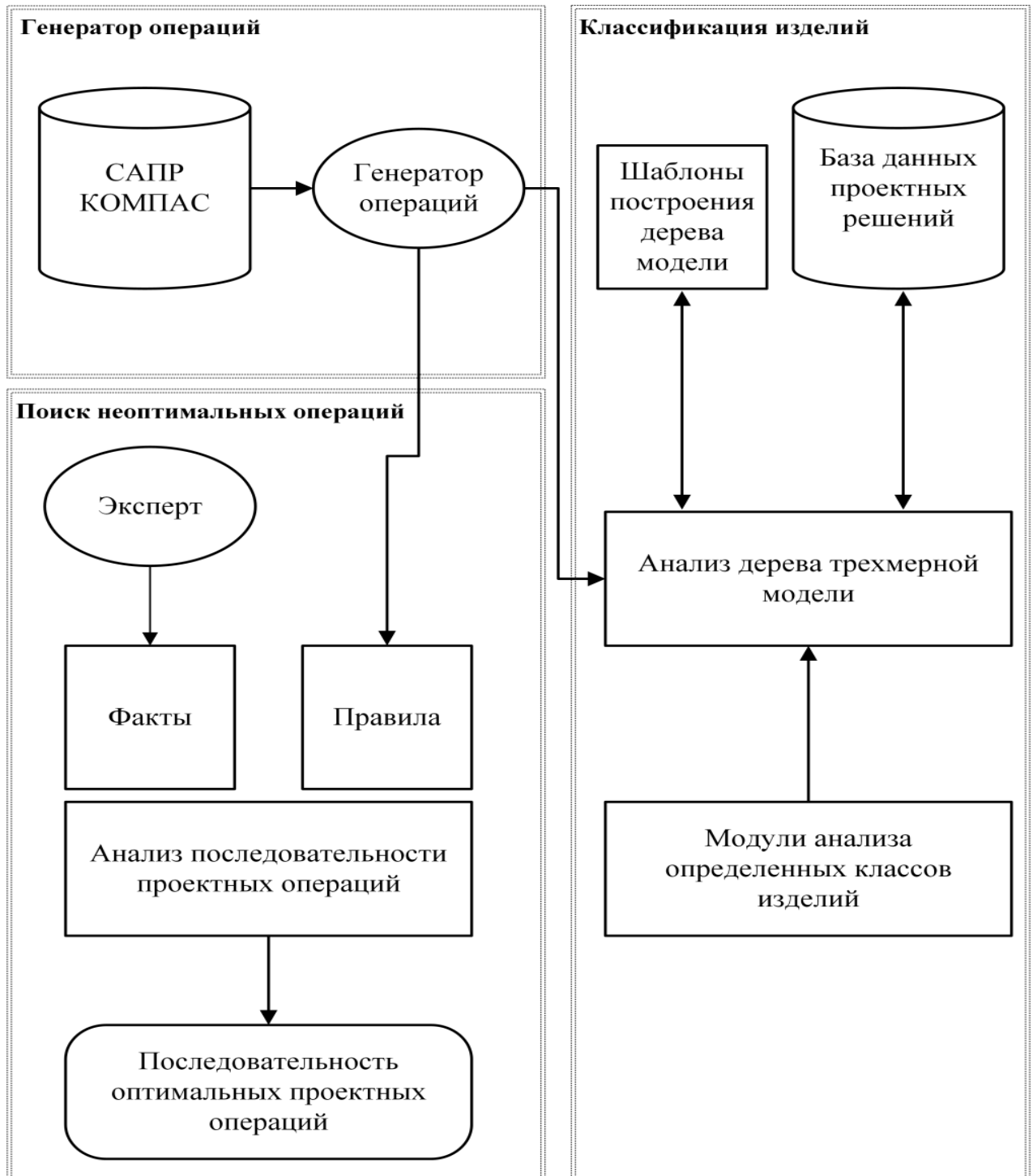


Рис. 2.4 Структурная схема системы анализа проектных решений

Генератор операций реализуется на платформе .NET Framework с использованием API-интерфейса (технология OLE Automation). Основная задача – перевод проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС, в последовательность проектных операций в формате eXtensible Markup Language (XML).

Генератор операций поддерживает анализ операций твердотельного моделирования, представленных ниже.

1. Построение геометрических объектов:

- точки,
- прямые,
- отрезки,
- окружности,
- эллипсы,
- дуги,
- многоугольники,
- ломаные,
- кривые Безье,
- NURBS.

2. Операции твердотельного моделирования:

- выдавливание,
- вращение,
- кинематическая,
- по сечениям-эскизам,
- булева операция,
- отсечение,
- скругление,
- фаска,
- круглое отверстие,
- уклон.

3. Построение массивов:

- по сетке,
- по концентрической сетке,
- вдоль кривой,
- по точкам,
- по таблице,
- зеркальный,
- по образцу.

4. Построение сопряжений:

- совпадение,
- касание,
- соосность,
- параллельность,
- перпендикулярность,
- расстояние,
- угол.

Исходными данными для поиска неоптимальной последовательности проектных операций является XML-описание, полученное от «Генератора операций». Поиск правила, которое соответствует последовательности операций, осуществляется перебором из базы правил. Используется шаблон правила, предложенный в методе структурно-параметрического анализа проектных решений, содержащий: тип операции, условие срабатывания правила и описание правила. При нахождении неоптимальной последовательности проектных операций производится ее замена на последовательность с меньшим количеством действий, а также формируется рекомендация проектировщику.

Система классификации изделий машиностроительных объектов состоит из шаблонов построения деревьев для определенных классов изделий, различных модулей анализа классов изделий и базы данных со списком изделий и перечнем их параметров. В базе данных хранятся проектные решения, выполненные в

САПР КОМПАС со списком геометрических параметров (основных и дополнительных), свойственных определенному классу изделия. Поиск по базе изделий осуществляется в соответствии с условиями, которые задает пользователь системы: выбор класса изделия, выбор параметра для поиска, значение параметра.

2.3 Формирование классификации и списка правил анализа проектных решений

Для анализа проектных решений объектов машиностроения, выполненных в САПР КОМПАС, разработана следующая система классификации правил анализа, показанная на рисунке 2.5.



Рис.2.5 Классификация правил анализа проектных решений

К морфологическим правилам относится анализ на геометрическую и топологическую корректность модели САПР. Данный вид правил включает в себя следующие проверки проектных решений:

- проверка кривых и чертежей;
- проверка поверхностей;
- проверка граней;
- проверка топологии;
- проверка твердых тел.

Семантические правила анализа проектных решений определяют способность модели САПР к модификации и повторному использованию.

Синтаксические правила анализа проектных решений осуществляют проверки материала изготовления трехмерных объектов машиностроения, покрытия детали, проверки на соответствие стандартам оформления

спецификации и документов, проставления размеров в чертежах, эскизах, выполненных в САПР КОМПАС.

Примеры морфологических правил, использующихся при структурно-параметрическом анализе проектных решений машиностроительных изделий, выполненных в САПР КОМПАС-3D, приведены ниже. Рассмотрим правила построения эскизов элемента вращения:

- ось вращения должна быть изображена в эскизе отрезком со стилем линии «Осевая»;
- ось вращения должна быть единственной;
- в эскизе основания детали может быть один или несколько контуров;
- если контуров несколько, все они должны быть замкнуты, один из них должен быть наружным, остальные – вложенными в него;
- ни один из контуров не должен пересекать ось вращения.

Далее приведены правила и рекомендуемые решения при возникновении следующих типов ошибок: непрерывность позиции, тангенциальная непрерывность, идентичные элементы, расстояние до узла. Источник приведенных правил и рекомендуемых решений является справочная документация для модуля проверки геометрии GeomIntegrityCHECK Checks [157].

Подробнее рассмотрим основные проверки проектных решений.

Непрерывность позиции

В проводной геометрии (рисунок 2.6):

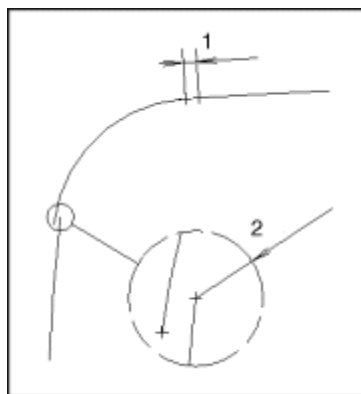


Рис. 2.6 Непрерывность позиции в проводной геометрии

При проверке непрерывности положения сообщает о разрывах в точках перехода кривой и кривой, которые превышают допустимый допуск конфигурации. Такие ошибки могут вызвать проблемы в последующих операциях, которые основываются на единстве путей кривой, особенно после масштабирования и переноса в системной среде с высокой точностью.

Кривые проверяются на непрерывность положения, градиента и кривизны по отношению к их сегментам. Конечные и начальные точки соседних кривых сегментов или кривых проверяются на достаточное расстояние с помощью трехмерного разрешающего допуска. Если расстояние превышает допуск, сообщается ошибка.

Рекомендуемое решение: Вставьте небольшой заполнитель, возможно крошечный элемент, в зазор, который делает разрыв слишком большим.

В поверхностях (рисунок 2.7):

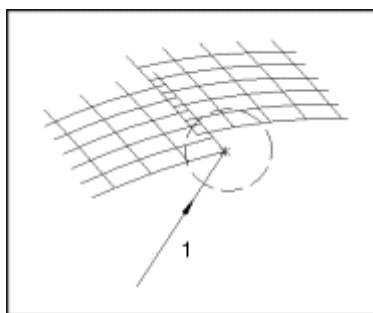


Рис. 2.7 Непрерывность позиции в поверхностях

Проверяются отдельные ограниченные поверхности и их сегменты на непрерывность в положении, градиенте и кривизне в нескольких точках. В случае ошибки сообщается о разрывах.

Рекомендуемое решение: Восстановите поверхности, используя правильные фундаментальные условия.

Тангенциальная непрерывность

В проводной геометрии (рисунок 2.8):

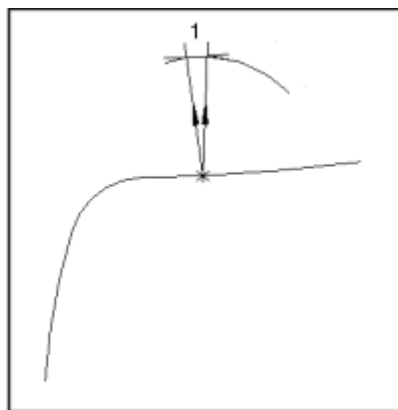


Рис. 2.8 Тангенциальная непрерывность в проводной геометрии

Тангенциальная непрерывность означает отсутствие перегиба двух кривых без изменения тангенциального угла. Тангенциальный разрыв обычно заметен и ощущается. Тангенциальные разрывы могут быть необходимы в фасках, символьных линиях, но в других типах моделей они обычно считаются ошибками.

Находятся сегменты кривой или кривые, тангенциальные углы которых превышают значение угла конфигурации.

Рекомендуемое решение: Интерактивно корректировать кривые, воссоздавая их с одинаковыми касательными условиями или округляя их с помощью дополнительной кривой с соответствующими касательными характеристиками.

В поверхностях (рисунок 2.9):

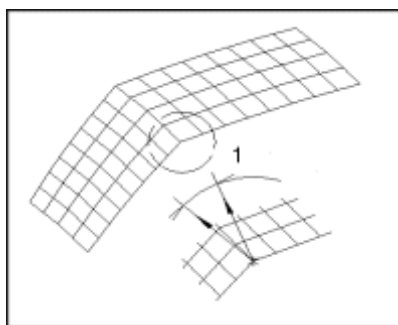


Рис. 2.9 Тангенциальная непрерывность в поверхностях

Измеряются и сравниваются тангенциальные углы двух сегментов вдоль общей границы. Если максимальная разница между углами превышает допустимый угол наклона конфигурации, сообщается о поврежденной границе сегмента.

В топологиях:

Угол касания или нормальные углы двух граней в общей граничной кривой проверяются в нескольких точках. Если разность углов превышает разрешающий угол, сообщается о поврежденной граничной кривой.

Идентичные элементы (мм)

В проводной геометрии (рисунок 2.10):

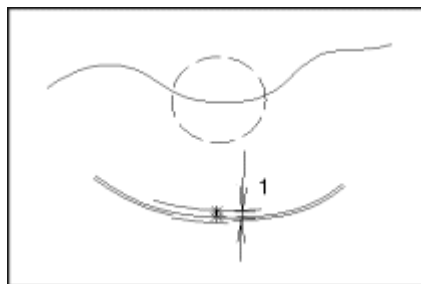


Рис. 2.10 Идентичные элементы в проводной геометрии

Находятся те элементы, которые идентичны другим элементам в той же модели. Возникновение таких элементов часто связано с импортом геометрии в модель. Идентичные или двойные элементы излишне увеличивают требования к пространству модели.

Рекомендуемое решение: Тщательно определите, какой из идентичных элементов удалить, а затем удалите его.

В поверхностях (рисунок 2.11):

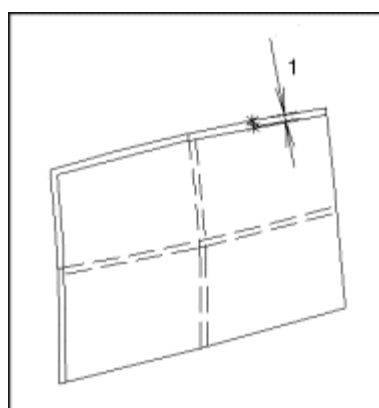


Рис. 2.11 Идентичные элементы в поверхностях

Идентичные элементы препятствуют автоматическому созданию топологии.

Рекомендуемое решение: Удалить один из двойных элементов в одинаковой паре. Убедитесь, что вы сохранили требуемый элемент.

Расстояние до узла

В проводной геометрии (рисунок 2.12):

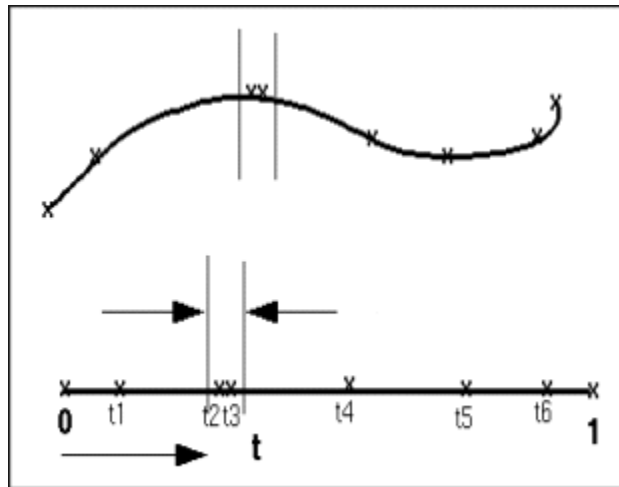


Рис. 2.12 Расстояние до узла в проводной геометрии

Исследуются векторы узлов кривых NURBS для пар одинаковых узлов в пределах допуска переменной.

Для определения кривых NURBS и B-Spline необходим вектор узла. Вектор определяет, среди прочего, количество сегментов кривой и непрерывность переходов между отдельными сегментами кривой.

Векторы определяются через ряд действительных чисел. Отдельные узлы могут располагаться друг над другом, что называется множественным взвешиванием узлов или несколькими узлами.

Рекомендуемое решение: Регенерируйте кривые с достаточно большими зазорами узла.

В поверхностях (рисунок 2.13):

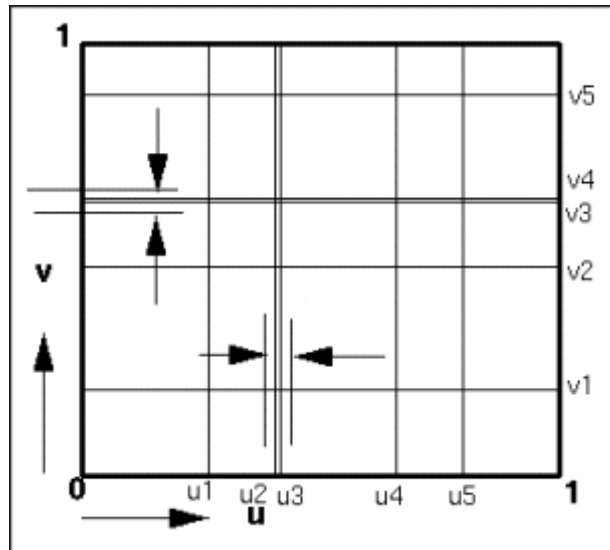


Рис. 2.13 Расстояние до узла в поверхностях

Как и в случае кривых NURBS и B-Spline, для определения поверхностей NURBS и B-Spline необходим вектор узлов для каждого направления параметров. Они определяют количество сегментов поверхности в направлениях параметров u и v и непрерывность переходов между собой. Вектор узла определяется через ряд действительных чисел.

После переноса узлов в системную среду с более грубыми допусками возможно, что соседние узлы могут быть идентичными в этой новой среде, и, следовательно, внутренняя непрерывность внутри поверхности может стать нежелательной.

Угол между граничными кривыми (рисунок 2.14). Проверяется, находится ли угол между граничными кривыми естественно ограниченных поверхностей в критической области от 0° до 180° или нет. Измеряются углы между касательными соседних граничных кривых и сравниваются их значения с указанным значением конфигурации.

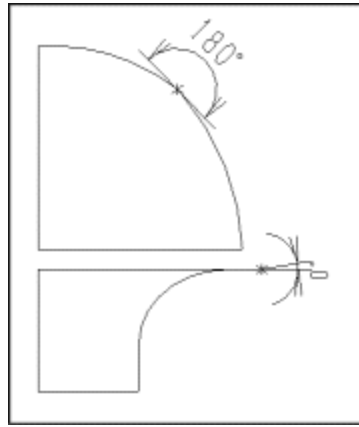


Рис. 2.14 Проверка угла между граничными кривыми

Эта ошибка может привести к неопределенным нормальям в угловых точках.

Рекомендуемое решение: Разделите поверхность или увеличьте ее и создайте требуемую область в качестве грани.

Правила формирования рекомендаций проектировщику

Данный тип правил используется в методе структурно-параметрического анализа проектных решений САПР.

Для формирования рекомендаций проектировщику в результате анализа проектных решений машиностроительных объектов, выполненных в САПР КОМПАС-3D, используются следующие правила, примеры которых представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 Примеры правил для формирования рекомендаций проектировщику

Описание правила	Условие срабатывания	Тип	Цель	Рекомендация
Построение операции «Фаска» в зависимости от параметров одной из сторон	$(\text{Операция}[0].\text{Тип} = \text{Фаска}) \wedge (\text{Операция}[0].\text{Параметр.Сторона1} = \text{Операция}[0].\text{Параметр.Сторона2}) \wedge (\text{Операция}[0].\text{Код} = \text{Операция}[-1].\text{Код}) \wedge (\text{Операция}[0].\text{Параметр.Направление} \neq \text{Операция}[-1].\text{Параметр.Направление})$	Действие не влияет	Уменьшение количества действий	Если стороны фаски равны, то результат ее построения не будет зависеть от направления первой стороны.

Описание правила	Условие срабатывания	Тип	Цель	Рекомендация
	1].Параметр.Направление)			
Множественные действия над операциями «Фаска»	(Операция[0].Тип=Фаска)^ $\exists t \wedge \text{Операция}[t].\text{Параметры} = \text{Операция}[0].\text{Параметры}$	Множественное действие	Уменьшения количества действий и объектов в дереве построения	При построении фаски для ребер, параметры фаски которых одинаковы, при создании фаски укажите все ребра.
Множественные действия над операциями «Скругление»	(Операция[0].Тип=Скругление)^ $\exists t \wedge \text{Операция}[t].\text{Параметры} = \text{Операция}[0].\text{Параметры}$	Множественное действие	Уменьшения количества действий и объектов в дереве построения	При выполнении операции скругление указывайте как можно больше ребер, которые необходимо скруглить с одинаковым радиусом.
Множественные действия над операциями «Уклон»	(Операция[0].Тип=Уклон)^ $\exists t \wedge \text{Операция}[t].\text{Параметры} = \text{Операция}[0].\text{Параметры}$	Множественное действие	Уменьшения количества действий и объектов в дереве построения	При выполнении операции уклон к граням необходимо указать как можно больше граней, угол уклона которых к основанию одинаков.
Скругление ребер	(Операция[0].Тип=Скругление)^(Операция[0].Параметр.Грань $l \in$ УклоняемаяГрань)	Ошибка	Ошибка	Если требуется скруглить одно или несколько ребер, ограничивающих

Описание правила	Условие срабатывания	Тип	Цель	Рекомендация
				уклоняемую грань, сделайте это после придания грани уклона.
Сечение элемента	(Операция[0].Тип=Выдавливание)^(Операция[0].Параметр.Сечение=Пусто)	Сокращение времени	Уменьшение количества действий	Сечение элемента выдавливания можно указать перед выполнением операции

Полный список правил конструирования и рекомендаций, использующихся в разрабатываемой системе анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, представлен в приложении 2.

Семантические правила

Данный тип правил используется как для определения класса изделия машиностроительных объектов, выполненных в САПР КОМПАС, так и для перестроения дерева модели проектного решения в САПР КОМПАС-3D.

Для каждого класса изделий выделены основные параметры и переменные трехмерной модели, а также шаблоны деревьев и эскизов построения твердотельной трехмерной модели в САПР КОМПАС-3D. Семантические правила используются при структурно-параметрическом анализе проектных решений САПР.

Далее рассмотрим основные переменные и параметры трехмерной модели для классов машиностроительных изделий типа «Кольцо», «Шайба», «Заклёпка».

Для класса изделий «Кольцо» выделены следующие основные параметры и переменные:

- диаметр внутренний;
- диаметр наружный;
- ширина кольца;
- угол выреза;

- материал изготовления.

На рисунке 2.15 представлен типовой эскиз трехмерной модели машиностроительного изделия класса «Кольцо».

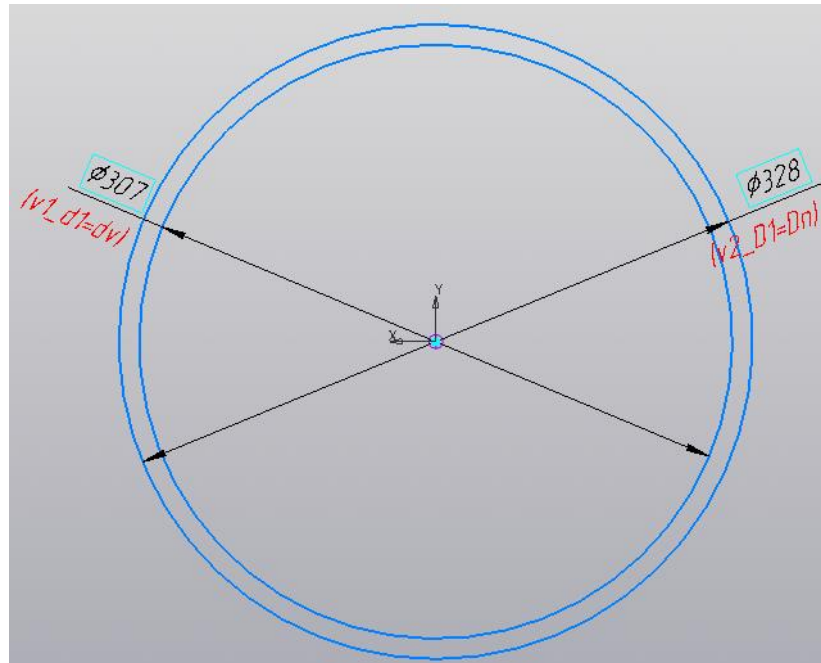


Рис. 2.15 Типовой эскиз для класса изделий типа «Кольцо»

Для класса изделий «Шайба» выделены следующие основные параметры и переменные:

- диаметр внутренний;
- диаметр наружный;
- толщина шайбы;
- материал изготовления.

На рисунке 2.16 представлен типовой эскиз трехмерной модели машиностроительного изделия класса «Шайба».

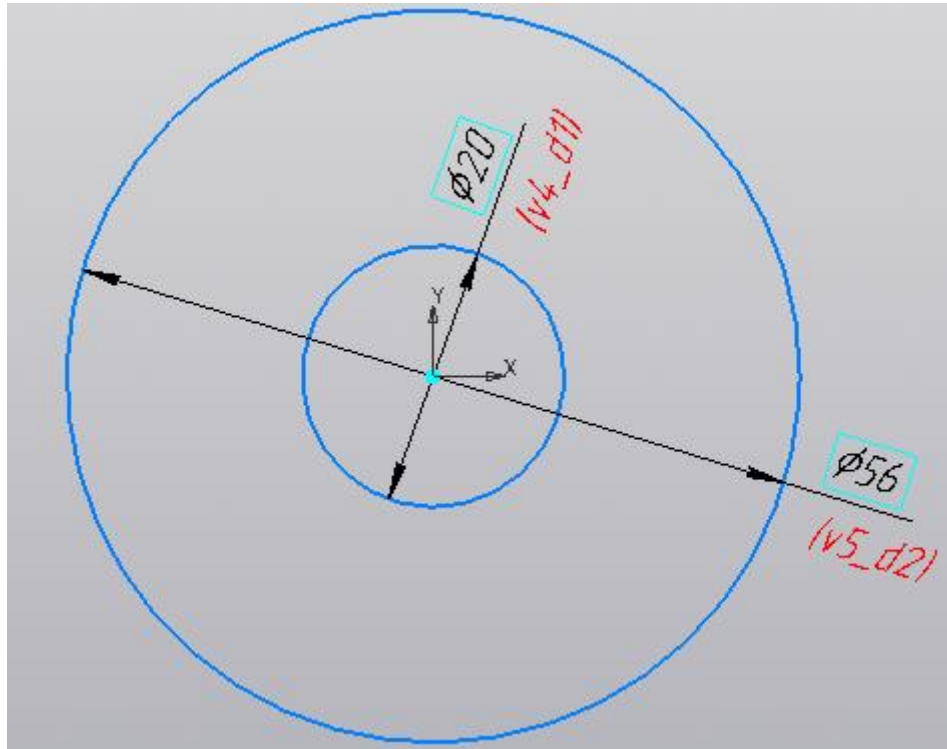


Рис. 2.16 Типовой эскиз для класса изделий типа «Шайба»

Для класса изделий «Заклёпка» выделены следующие основные параметры и переменные:

- диаметр тела заклёпки;
- диаметр головки заклёпки;
- толщина тела заклёпки;
- длина исходная заклёпки;
- материал изготовления.

На рисунке 2.17 представлен типовой эскиз трехмерной модели машиностроительного изделия класса «Заклёпка».

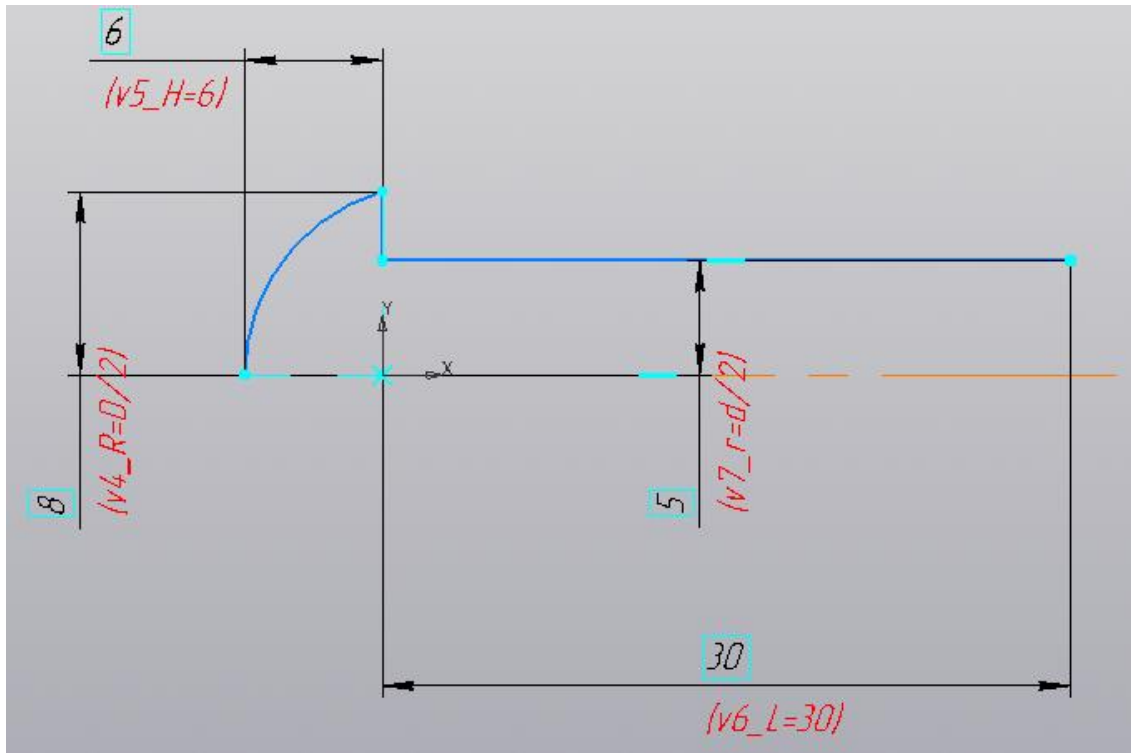


Рис. 2.17 Типовой эскиз для класса изделий типа «Заклёпка»

Метод структурно-параметрического анализа проектных решений позволяет классифицировать машиностроительные изделия следующих типов:

- кольцо;
- заклёпка;
- шайба;
- гайка;
- фланец;
- втулка;
- пружина;
- болт;
- шпилька;
- штифт;
- винт;
- ось.

Полный список классификации машиностроительных изделий приведен в приложении 1.

Метод структурно-параметрического анализа проектных решений также позволяет автоматически перестроить дерево трехмерной твердотельной модели, выполненной в САПР КОМПАС-3D.

Алгоритм перестроения дерева модели состоит из следующих шагов, представленных ниже:

- 1) формирование последовательности проектных операций для построения трехмерной модели;
- 2) определение связей между проектными операциями;
- 3) определение исходных и производных объектов проектных операций;
- 4) анализ полученной последовательности проектных операций с использованием морфологических правил, а также правил формирования рекомендаций проектировщику;
- 5) формирование оптимальной последовательности проектных операций;
- 6) замена последовательности из шага 1 на последовательность из шага 5;
- 7) определение новых связей между проектными операциями;
- 8) повторное определение исходных и производных объектов проектных операций;
- 9) формирование перестроенного проектного решения и отображение его в САПР КОМПАС-3D.

Далее приведены примеры перестроенных проектных решений, из которых видно, что при перестроении трехмерной модели, уменьшается количество элементов в дереве модели. Уменьшение количества связей и объектов в дереве модели повышает производительность САПР КОМПАС-3D [165].

На рисунке 2.18 приведен пример исключения повторяющихся операций «Фаска» с одинаковыми параметрами. В результате дерево модели содержит одну операцию «Фаска», связанную с несколькими гранями.



Рис. 2.18 Пример перестроенного дерева модели для повторяющейся операции с одинаковыми параметрами

На рисунке 2.19 приведён пример замены одних проектных операций другими, с меньшим количеством связей между объектами дерева модели. В результате дерево модели содержит меньшее количество проектных операций, необходимых для построения твердотельного трехмерного объекта.

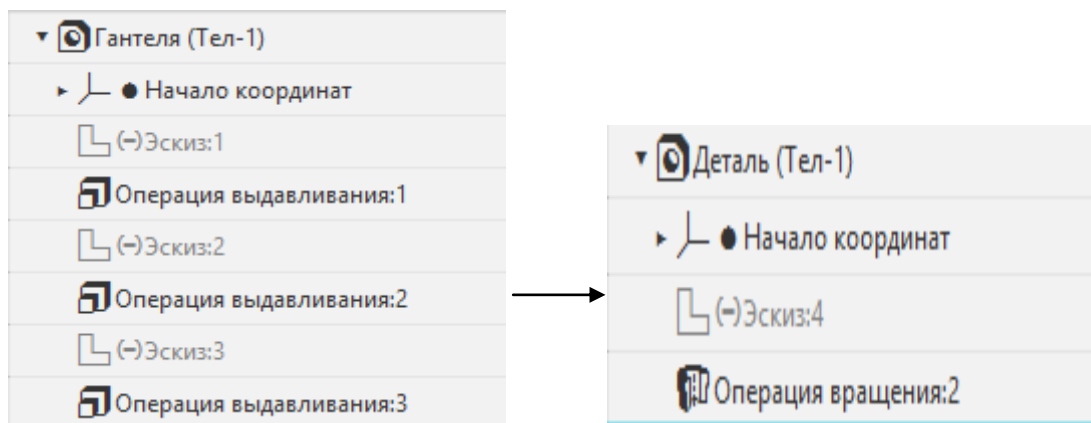


Рис. 2.19 Пример перестроенного дерева модели с заменой одних проектных операций другими

Синтаксические правила

Оформление графических чертежей согласно требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Перечень нормативных документов представлен ниже.

- ГОСТ 2.301-68 ЕСКД – установлены форматы листов чертежей;
- ГОСТ 2.302-68 ЕСКД – установлены масштабы изображений;
- ГОСТ 2.303-68 ЕСКД – установлены основные обозначений линий и их начертаний;
- ГОСТ 2.304-81 ЕСКД – установлены наносимые на чертежи шрифты;

- ГОСТ 2.305-2008 ЕСКД – изложены правила изображения изделий на чертежах;
- ГОСТ 2.306-68 ЕСКД – изложены правила графического обозначения материалов и их нанесения на чертежи;
- ГОСТ 2.307-68 ЕСКД – изложены правила нанесения размеров и предельных отклонений на чертежах;
- ГОСТ 2.308-79 ЕСКД – изложены правила указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах;
- ГОСТ 2.309-73 ЕСКД – установлены обозначения шероховатости поверхностей и правила их нанесения на чертежи;
- ГОСТ 2.310-68 ЕСКД – изложены правила нанесения обозначений покрытий на чертежах;
- ГОСТ 2.311-68 ЕСКД – изложены правила изображения и нанесения резьбы на чертежах;
- ГОСТ 2.312-72 (2000) ЕСКД – установлены условные изображения и обозначения швов сварных элементов в конструкторских документах;
- ГОСТ 2.313-82 ЕСКД – установлены условные изображения и обозначения соединений, получаемых клепкой, пайкой на чертежах;
- ГОСТ 2.314-68 ЕСКД – изложены правила нанесения на чертежи указаний о маркировке и клеймении изделий;
- ГОСТ 2.315-68 ЕСКД – установлены упрощенные и условные изображения крепежных деталей на сборочных чертежах;
- ГОСТ 2.316-2008 ЕСКД – изложены основные правила нанесения технических требований, надписей и таблиц на графических документах;
- ГОСТ 2.317-69 ЕСКД – установлены аксонометрические проекции, применяемые в чертежах;
- ГОСТ 2.318-81 ЕСКД – изложены правила упрощенного нанесения размеров отверстий на чертежах;

- ГОСТ 2.320-82 (2000) ЕСКД – изложены общие правила нанесения размеров, предельных отклонений и допусков формы конусов и посадок конических соединений на чертежах;
- ГОСТ 2.321-84 ЕСКД – установлены основные буквенные обозначения, применяемы в конструкторских документах.

2.4 Разработка метода автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений

Сущность метода заключается в автоматическом заполнении шаблонов правил анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, на основе определения зависимостей между проектными операциями проектировщика. Метод позволяет автоматизировано формировать новые правила для анализа проектных решений на основе уже имеющихся фактов и правил. Полученные правила пополняют базу правил анализа проектных решений и используются в методе структурно-параметрического анализа.

Корректность сгенерированных правил проверяет эксперт. В рамках диссертационного исследования экспертами выступали ведущие инженеры АО «Ульяновский механический завод», подтверждающие корректность правил, используемых в разрабатываемой системе структурно-параметрического анализа проектных решений.

Шаблоны правил заполняются в результате поэлементного анализа последовательности проектных операций при построении трехмерного объекта в САПР КОМПАС-3D.

Разработаем ряд моделей, составляющих научную основу метода автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений.

Модель шаблона имеет следующую структуру:

$$TMP = (id, type, initial, derivatives, paparms, Fc, Fa),$$

где id – множество идентификаторов правил,

$type \in TypesOperation$ – множество типов операций,

$initial$ – множество исходных объектов для выполнения проектной операции,

$derivatives$ – множество производных объектов после выполнения проектной операции,

$params \in ParamsOp$ – множество параметров операции со значением,

$Fc = initial \times derivatives \rightarrow condition$ – функция формирования условия выполнения правила анализа проектного решения,

$Fa = condition \times type \rightarrow action$ – функция, определяющая действия при срабатывании правила.

Модель сформированного нового правила для анализа проектных решений имеет следующий вид:

$$NR = (id, type, txt_c, txt_a),$$

где id – множество идентификаторов правил,

$type \in TypesOperation$ – множество типов операций,

txt_c – множество описаний условий срабатывания правил,

txt_a – множество рекомендуемых действий при срабатывании правил, например: замена неоптимальных действий проектировщика на оптимальную последовательность проектных операций.

Алгоритм автоматизированной генерации правил состоит из 11 шагов и представлен ниже.

Шаг 1. Запуск проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС, на анализ.

Шаг 2. Анализ истории построения трехмерного машиностроительного объекта. Формируется последовательность проектных операций построения трехмерной модели – XML-описание истории построения.

Шаг 3. Формирование шаблона правила для анализа, содержащего следующие компоненты:

- объект анализа;
- тип проектной операции ($type$);
- исходные объекты проектной операции ($initial$);
- производные объекты проектной операции ($derivatives$);

- параметры проектной операции (*params*).

Шаг 4. Автоматическое определение взаимосвязей между проектными операциями в результате использования метода структурно-параметрического анализа.

Шаг 5. Автоматическое извлечение параметров проектных операций.

Шаг 6. Автоматическое заполнение компонентов шаблона правила для анализа.

Шаг 7. Анализ исходных (*initial*) и производных (*derivatives*) объектов проектных операций. Формирование условия для срабатывания правила (*condition*).

Шаг 8. Анализ сформированного условия (*condition*) и типа проектных операций для формирования действий (*action*) при срабатывании правила.

Шаг 9. Формирование шаблона нового правила для анализа на основе шагов 7 и 8.

Шаг 10. Проверка сгенерированного нового правила на корректность экспертом.

Шаг 11. Занесение нового правила в базу правил анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D.

Рассмотрим автоматизированное заполнения шаблона правила анализа проектных решений на примере детали «Крышка», выполненной в среде САПР КОМПАС-3D v17.

Анализируя историю построения твердотельной трехмерной модели (последовательность проектных операций), заполняются «ячейки» шаблона: определяется тип анализируемого объекта, формируется список операций твердотельного моделирования, устанавливается взаимосвязь между проектными операциями, а также с помощью разработанного метода структурно-параметрического анализа извлекаются из проектного решения параметры объектов (параметры проектных операций).

В результате последовательность проектных операций в виде XML-описания будет иметь следующий вид:

```
<op type="Операция приклеенного выдавливания" toptype="entity"
id="100018" name="Операция выдавливания:1">
```

```
<params>
```

```
<param>
```

```
<name>sketch</name>
```

```
<val>100001</val>
```

```
</param>
```

```
<param>
```

```
<name>Направление</name>
```

```
<val>Прямое направление</val>
```

```
</param>
```

```
<param>
```

```
<name>Глубина выдавливания в прямом направлении</name>
```

```
<val>20</val>
```

```
</param>
```

```
<param>
```

```
<name>Глубина выдавливания в обратном направлении</name>
```

```
<val>0</val>
```

```
</param>
```

```
<param>
```

```
<name>Угол уклона в прямом направлении</name>
```

```
<val>0</val>
```

```
</param>
```

```
<param>
```

```
<name>Угол уклона в обратном направлении</name>
```

```
<val>0</val>
```

```
</param>
```

```
<param>
```

```
<name>Тип выдавливания в прямом направлении</name>
```

```
<val>Строго на глубину</val>
```

```

</param>
<param>
  <name>Тип выдавливания в обратном направлении</name>
  <val>Строго на глубину</val>
</param>
</params>
</op>
<op type="Фаска" totype="entity" id="100019" name="Фаска:2">
  <params>
    <param>
      <name>Признак продолжения фаски по касательным ребрам</name>
      <val>Продолжать фаску по касательным ребрам</val>
    </param>
    <param>
      <name>Признак направления фаски</name>
      <val>Да</val>
    </param>
    <param>
      <name>Размер первого катета фаски</name>
      <val>5</val>
    </param>
    <param>
      <name>Размер второго катета фаски</name>
      <val>2,88675134594813</val>
    </param>
  </params>
</op>
<op type="Фаска" totype="entity" id="100020" name="Фаска:3">
  <params>
    <param>

```

```

<name>Признак продолжения фаски по касательным ребрам</name>
<val>Продолжать фаску по касательным ребрам</val>
</param>
<param>
  <name>Признак направления фаски</name>
  <val>Да</val>
</param>
<param>
  <name>Размер первого катета фаски</name>
  <val>5</val>
</param>
<param>
  <name>Размер второго катета фаски</name>
  <val>2,88675134594813</val>
</param>
</params>
</op>

```

Таким образом, для проектных операций «Выдавливание 1», «Фаска 1» и «Фаска 2» ячейка с параметрами содержит следующие данные, представленные на рисунке 2.20.

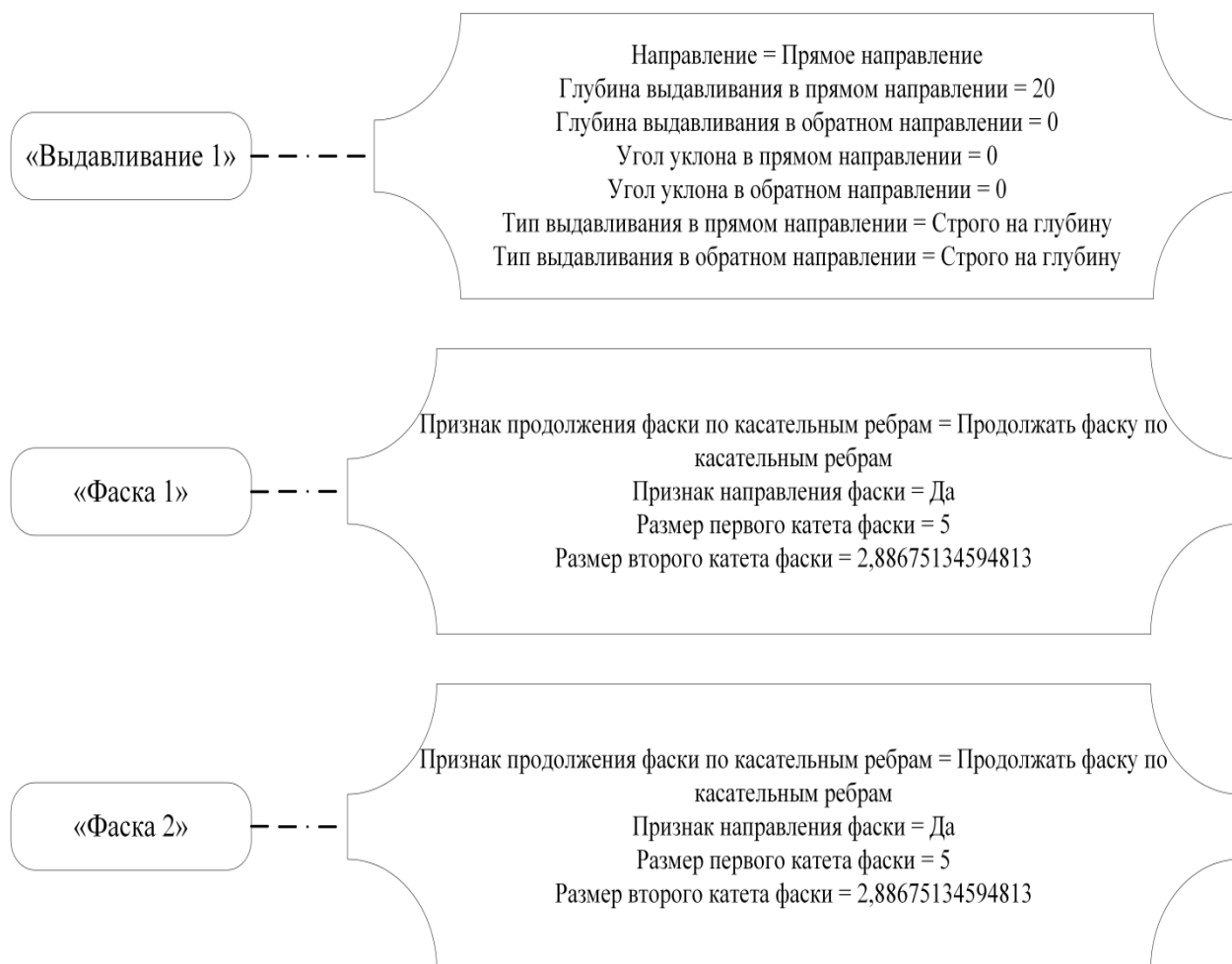


Рис. 2.20 Параметры проектных операций для детали «Крышка»

Пример процесса заполнения шаблона правила для анализа представлен на рисунке 2.21.

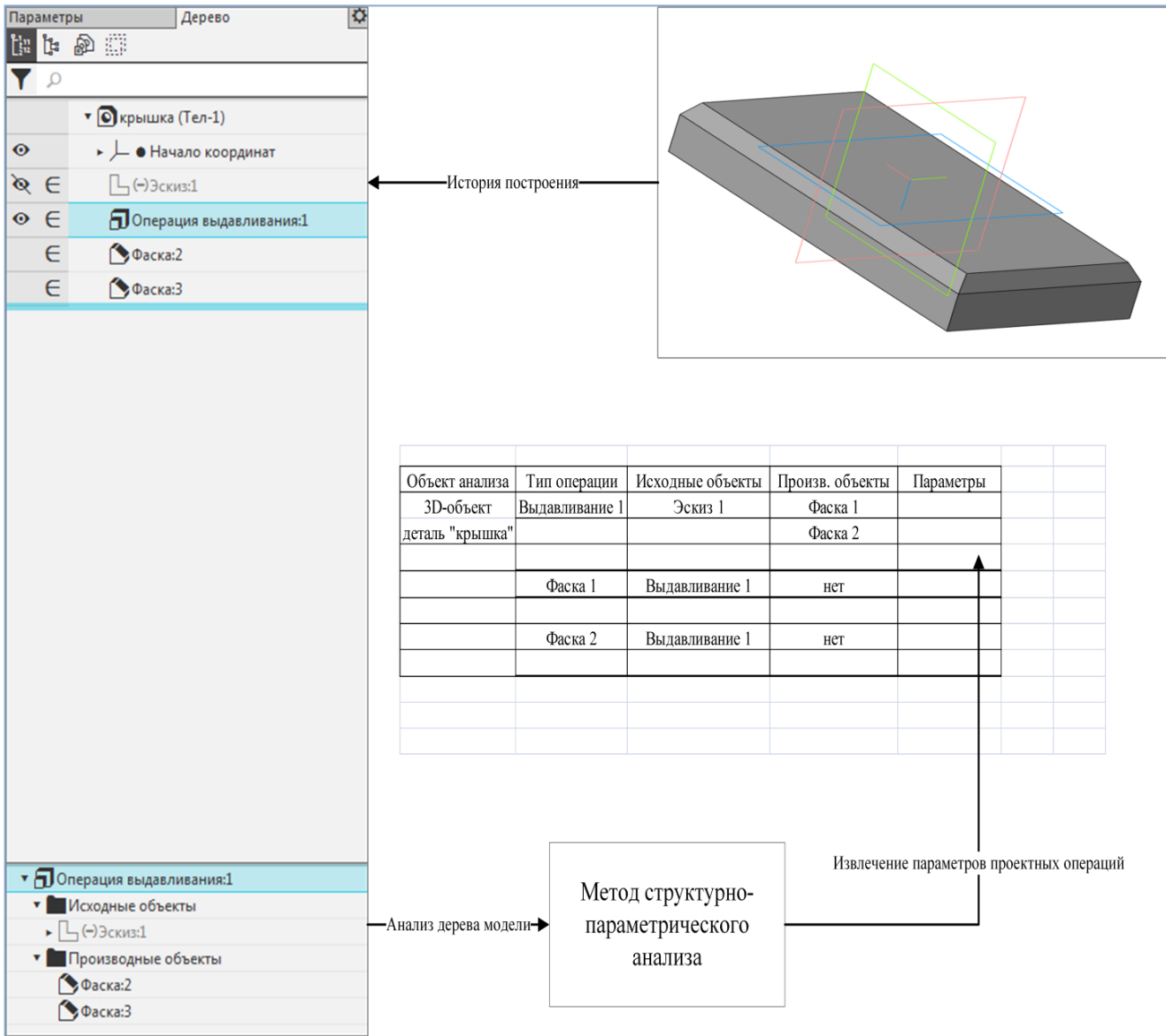


Рис. 2.21 Пример заполнения шаблона анализа проектного решения

2.5 Концептуальная схема архитектуры автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения

Обобщенная схема автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика представлена на рисунке 2.22.

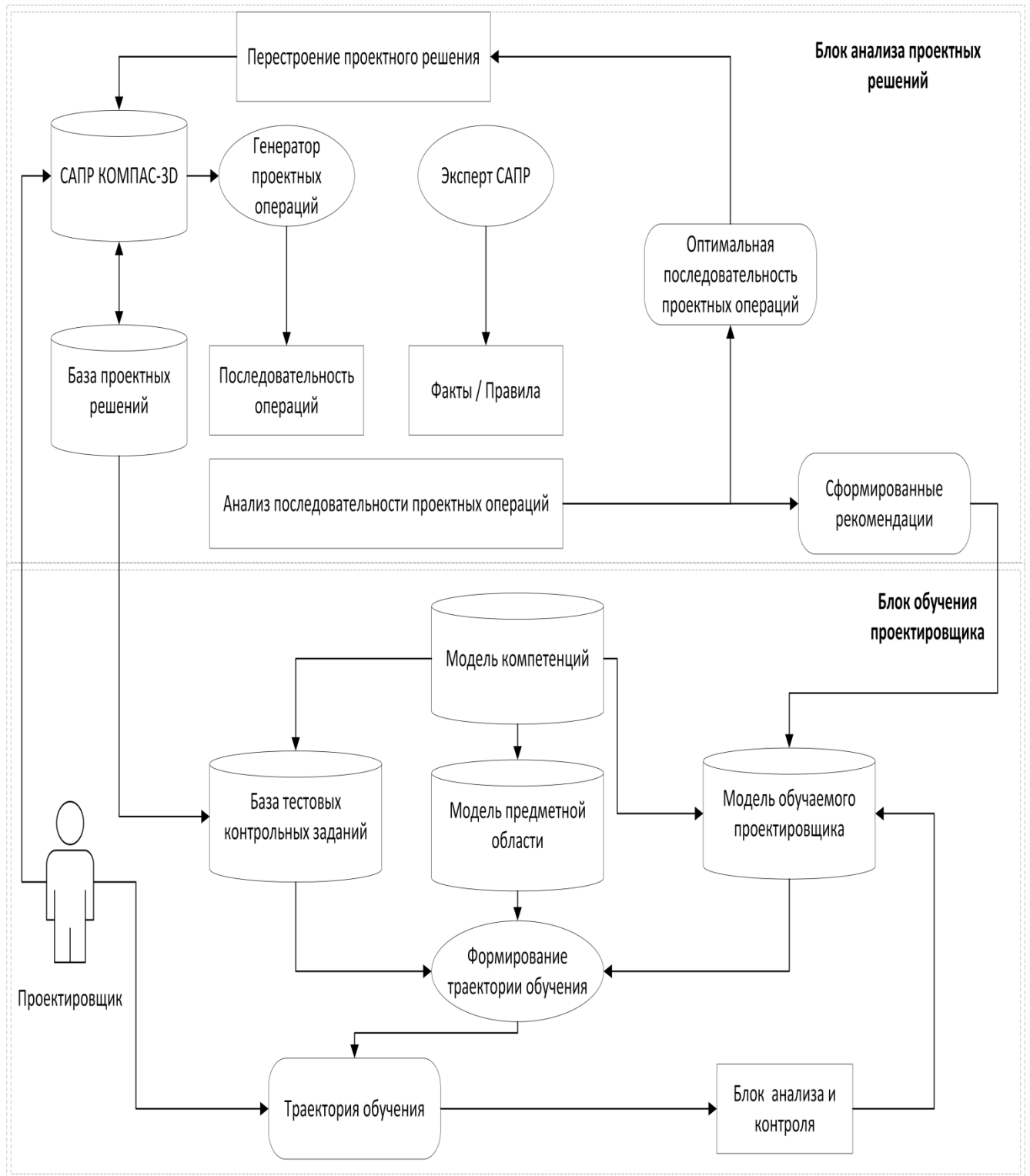


Рис. 2.22 Схема автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика

Система состоит из следующих блоков.

Блок анализа проектных решений – предназначен для управления анализом проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС-3D, с составлением рекомендаций и корректировки модели обучаемого проектировщика с учетом

сформированных рекомендаций. Обеспечивает перестроение проектного решения на основе оптимальной последовательности проектных операций. Включает в себя следующие компоненты.

- САПР КОМПАС-3D – система автоматизированного проектирования, позволяющая проектировщику создавать двух-, трехмерные объекты машиностроительных изделий.
- База проектных решений – хранит информацию о проектных решениях, выполненных в САПР КОМПАС-3D.
- Генератор проектных операций – формирует и кодирует последовательность проектных операций обучаемого проектировщика для последующего анализа.
- Эксперт САПР – эксперт в области автоматизированного проектирования машиностроительных объектов, формирует правила для анализа проектных решений и подбора необходимых рекомендаций обучаемому проектировщику.
- Факты / Правила – база фактов, полученная из множества проектных операций и истории построения дерева модели проектного решения.
- Анализ последовательности проектных операций – механизм формирования оптимальной последовательности проектных операций на основе имеющихся фактов и правил анализа проектных решений.
- Сформированные рекомендации – подобранный обучаемому проектировщику список рекомендаций в результате анализа выполненного им в САПР КОМПАС-3D проектного решения.
- Оптимальная последовательность проектных операций – последовательность проектных операций, позволяющая уменьшить количество действий проектировщика.
- Перестроение проектного решения – перестроение трехмерной модели проектного решения, выполненного проектировщиком в САПР КОМПАС-

3D, на основе оптимальной последовательности проектных операций.
Обновление проектного решения в базе проектных решений.

Блок обучения проектировщика – предназначен для обучения проектировщика автоматизированному проектированию машиностроительных объектов, выполненных в среде САПР КОМПАС-3D (формирование учебного материала, контрольных заданий, траектории обучения). Включает в себя следующие компоненты.

- База тестовых заданий – теоретический тестовый материал и практические задания для оценки степени усвоения обучаемым проектировщиком профессиональных компетенций. Практические задания подбираются для обучаемого проектировщика из базы проектных решений.
- Модель предметной области – множество дидактических единиц учебного материала, тем и вопросов для изучения проектировщиком, набора компетенций и отношений между ними.
- Модель обучаемого проектировщика – хранит цель обучения, знания обучаемого внутри изучаемой дисциплины (текущее состояние процесса обучения), результаты выполнения контрольных заданий и т.д.
- Модель компетенций – набор необходимых компетенций для выполнения теоретических и практических заданий в области машиностроительного проектирования объектов САПР обучаемым проектировщиком.
- Формирование траектории обучения – формирование альтернативного сценария обучения для конкретного обучаемого проектировщика с подбором тестового теоретического и практического материала на основе анализа модели обучаемого и данных из модели предметной области автоматизированного проектирования.
- Траектория обучения – предоставление обучаемому проектировщику необходимой учебной информации для изучения (в определенной последовательности) и набора теоретических и тестовых заданий для самостоятельного выполнения.

- Блок анализа и контроля – проверка степени усвоения обучаемым проектировщиком знаний, умений и навыков. Проверяет выполненные проектировщиком практические и тестовые задания, производится корректировка модели обучаемого.

2.6 Выводы и рекомендации

1. Предложен метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций, выполненных в САПР КОМПАС.

2. Предложен метод автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений на основе уже имеющихся фактов и правил, отличающийся анализом зависимости между операциями твердотельного моделирования в САПР КОМПАС-3D и позволяющий формировать новые правила для анализа проектных решений.

3. Разработан алгоритм классификации машиностроительных изделий, позволяющий присвоить класс изделия машиностроительному объекту (детали) с целью повторного использования трехмерных моделей изделий в проектной деятельности.

4. Разработан алгоритм формирования последовательности оптимальных проектных операций, позволяющий перестроить дерево проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС-3D, на основе замены неоптимальных проектных операций проектировщика в процессе моделирования сборки (детали).

5. Рекомендуются использование разработанных алгоритмов классификации изделий машиностроения для повторного использования проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, а также сокращения времени проектной деятельности проектировщика в процессах конструирования трехмерных изделий.

6. Предложены классификация и список правил анализа проектных решений. Выделены морфологические, семантические и синтаксические правила анализа проектных решений. К морфологическим правилам относится анализ на геометрическую и топологическую корректность модели САПР. Семантические правила анализа проектных решений определяют способность модели САПР к

модификации и повторному использованию. Синтаксические правила анализа проектных решений осуществляют проверки материала изготовления трехмерных изделий машиностроения, а также проверки на соответствие стандартам оформления спецификации и документов, проставления размеров в чертежах, эскизах, выполненных в САПР КОМПАС.

7. Разработан алгоритм автоматизированной генерации правил, позволяющий на основе анализа истории построения трехмерного изделия машиностроения и зависимостей между проектными операциями сформировать новые правила для анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D.

8. Разработан алгоритм автоматического перестроения проектного решения, отличающийся анализом последовательности проектных операций с использованием морфологических правил, а также правил формирования рекомендаций проектировщику и позволяющий формировать перестроенное проектное решение и отображать его в САПР КОМПАС-3D.

9. Рекомендуется использовать разработанный алгоритм автоматического перестроения проектного решения с целью уменьшения количества объектов в дереве построения изделия машиностроения. Уменьшение количества связей и объектов в дереве модели повышает производительность САПР КОМПАС-3D.

10. Разработана автоматизированная система анализа проектных решений и обучения проектировщика, которая состоит из двух основных подсистем: блок анализа проектных решений (компоненты: САПР КОМПАС, база проектных решений, генератор операций, факты и правила анализа, эксперт САПР, анализ последовательности проектных операций, сформированные рекомендации, оптимальная последовательность проектных операций, перестроение проектного решения) и блок обучения проектировщика (компоненты: база тестовых заданий, модель предметной области, модель обучаемого проектировщика, модель компетенций, формирование траектории обучения, траектория обучения, блок анализа и контроля).

Глава 3 Разработка математического обеспечения автоматизированной системы обучения проектной деятельности в САПР

В данной главе разрабатывается математическое обеспечение автоматизированной системы обучения: модель компетенций, модель предметной области, алгоритм формирования персонифицированной траектории обучения.

Предложена концептуальная модель автоматизированной системы обучения проектировщика, описаны ее основные компоненты.

3.1 Разработка модели компетенций

Модель компетенций – это список компетенций, требуемых для успешного выполнения определенной работы в конкретной организации. Модель компетенций может состоять из различного множества знаний, умений, навыков, а также и индивидуально-личностных характеристик. Основное требование, которое к ним предъявляется, – они должны быть описаны в форме индикаторов поведения.

Для выделенных в п.1.3 компетенций сформирована четырехуровневая матрица компетентности проектировщика в САПР КОМПАС-3D (таблица 3.1), выделены знания, умения и навыки проектировщика.

Таблица 3.1 Матрица компетентности проектировщика в САПР КОМПАС

Область автоматизированного проектирования	Уровень			
	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4
Знания:				
Общие сведения о САПР	Знает назначение САПР	Знает основные компоненты и элементы пользовательского интерфейса САПР	Знает основные понятия 3D- модели: грань, ребро, вершина и т.д.	Знает назначение коллективной работы в САПР
Знание предметной области автоматизированного проектирования	Не знает о термине «предметная область»	Работал хотя бы с одним продуктом в предметной области	Работал над несколькими продуктами в предметной области	Спроектировал и реализовал несколько решений в предметной области, является экспертом в области САПР
Знание общих принципов моделирования	Знает принципы твердотельного моделирования, технологии поверхностного моделирования	Знает принципы гибридного и сплайнового моделирования	Знает принципы прямого вариационного моделирования	Знает принципы моделирования листовых деталей
Умения:	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4
Создавать рабочий чертеж	Умеет выбрать ориентацию для главного вида чертежа, создавать и настраивать чертеж. Умеет создавать стандартные виды	Умеет компоновать чертеж, устанавливать проекционные связи. Умеет создавать разрез и выносимые элементы на чертеже	Умеет создавать текстовые ссылки, проставляет размеры и технологические обозначения на чертеже	Умеет оформлять технические требования и заполнять на чертеже основную надпись

	чертежа			
Создавать сборочную единицу	Умеет планировать сборку детали и определять ее свойства	Умеет использовать библиотеки и добавлять детали из файла	Умеет добавлять компоненты сборки по координатам и опорной точке	Использует при проектировании детали или сборки сопряжение компонентов
Создавать сборку изделия	Умеет добавлять в проектное решение детали, под сборки, сборки	Умеет размещать сборочные единицы по сопряжениям	Умеет обозначать позиции элементов в сборке	Умеет создавать разнесенные виды сборок, использует проверку пересечений
Создавать компонент в контексте сборки	Умеет выбрать плоскость для создания компонента в контексте сборки, использует способ работы «Создание геометрии в контексте сборки»	Умеет проецировать объекты, создавать ребра жесткости. Умеет использовать операцию «Выдавливание» без эскиза	Умеет редактировать компоненты сборки на месте и в окне, использует привязки к проекциям объектов трехмерной модели	Умеет строить отверстия с помощью библиотеки «Стандартные изделия», создавать массивы по сетке
Создавать сборочный чертеж сборочной единицы	Использует удаление и погашение вида	Использует разрыв проекционных связей между видами	Умеет проставлять размеры с посадками, обозначает качества и предельные отклонения	Использует справочники кодов и наименований документа
Создавать сборочный чертеж изделия	Использует авторасстановку позиций	Умеет исключать компоненты из разреза или сечения	Умеет работать с деревом чертежа	Умеет создавать местный вид, использует штриховку
Создавать спецификации	Умеет настроить и выбрать стиль спецификации	Умеет создавать спецификацию, подключать к спецификации	Умеет использовать объекты спецификации, синхронизацию	Умеет создавать раздел «Документация» и оформлять основную

		сборочный чертеж и позиционных линий выносок	документов	надпись
Навыки:	Уровень 1	Уровень 2	Уровень 3	Уровень 4
Твердотельное моделирование в САПР	Может произвести предварительную настройку САПР. Планирует процесс построения детали	Работает в режиме отображения эскиза. Применяет параметризацию в эскизах и проставляет размеры. Применяет операцию «выдавливание». Управляет ориентацией модели в трехмерном пространстве	Создает зеркальные массивы, добавляет скругления. Рассчитывает МЦХ сборки или детали. Рассечение модели плоскостями	Проставляет размеры, обозначения, технические требования в проектном решении
Добавление стандартных изделий	Использует библиотеку «Стандартные изделия»	Добавляет в сборку крепежные элементы	Создает массивы по образцу, создает слои в трехмерных моделях сборок	Строит сечения и зоны трехмерной модели изделия
Использование тел вращения	Создание эскиза тела вращения	Создает по эскизу тела вращения	Использует операцию вращения без эскиза	Использует приложения для построения тел вращения
Использование методик проектирования в САПР	Не использует методики проектирования	Использует методику «Снизу вверх» с предварительным размещением и компоновкой компонентов	Использует методику «Сверху вниз» для преобразования тел в компоненты сборки с предварительной компоновкой	Другие дополнительные способы проектирования
Коллективная работа	Может создавать	Может определить	Может размещать	Контролирует

над проектным решением	локальную систему координат движущихся компонентов	структуру изделия, создавать коллекции и файл окончательной сборки	модели компонентов в сборке	результат сборки, может спроектировать компоненты
Использование элементов по сечениям	Для создания эскизов использует буфер обмена	Может построить элемент по сечениям и условное пересечение геометрических объектов	Использует библиотеку эскизов, может построить паз	Может построить элемент по сечениям с использованием осевой линии
Использование пользовательских библиотек трехмерных моделей	Может создавать пользовательские библиотек и добавлять в нее трехмерные модели	Редактирует библиотечные модели	При проектировании изделия вставляет библиотечные модели в проектное решение	Использует таблицы внешних переменных в библиотечных трехмерных моделях
Построение листовых деталей	Может создать и провести предварительную настройку листового тела	Может построить сгибы по эскизу, ребру, в подсечках. Управляет углом и боковыми сторонами сгиба	Может построить вырез листовой детали, использует плоскую параметрическую симметрию	Создает массивы по точкам эскиза, чертеж с видом развертки листовой детали
Построение трехмерной модели по плоскому чертежу	Не может построить трехмерную модель по чертежу	При построении трехмерной модели использует буфер обмена	Использует автоматическую параметризацию эскиза	Использует ручную параметризацию эскиза
Построение кинематических компонентов и пространственных кривых	Знает общие сведения	Может построить и редактировать пространственную ломаную	Может создать кинематический элемент	При построении кинематических компонентов использует зеркальное отражение объектов

Описание модели компетенций проектировщика.

Модель компетенций представляется в виде графа

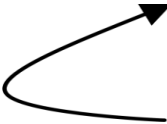
$$G(V, D),$$

в котором V – множество вершин, D - множество дуг.

Множество V состоит из множеств вершин V^F присваивания, V^R распараллеливания и V^L соединения. Множество D состоит из множеств дуг D^P разветвления, D^R распараллеливания и D^L соединения, т. е. $D = D^P \cup D^R \cup D^L$.

Выделены следующие типы связей:

 - последовательное освоение компетенций проектировщика;

 - освоение нового уровня компетенции;

Типы вершин:

- распараллеливания (рисунок 3.1);
- соединения (рисунок 3.2);
- присваивания (рисунок 3.3).

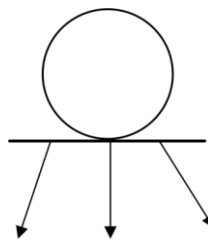


Рис 3.1 Вершина распараллеливания

Вершины распараллеливания позволяют осваивать обучаемому проектировщику несколько компетенций одновременно. Освоение компетенций происходит независимо друг от друга с различным интервалом времени.

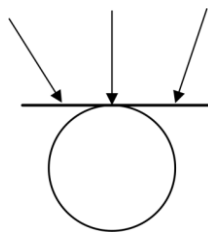


Рис. 3.2 Вершина соединения

Вершины соединения позволяют осваивать обучаемому проектировщику новую компетенцию только тогда, когда были освоены все предшествующие компетенции.

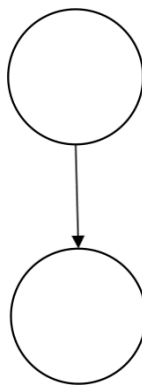


Рис. 3.3 Вершина присваивания

Вершины присваивания позволяют обучаемому проектировщику последовательно осваивать компетенции одну за другой.

На рисунке 3.4 представлена разработанная модель компетенций, в качестве теоретической базы использовался аппарат параллельных сетевых схем алгоритмов [166, 167]. Из этой модели видно, что определенные компетенции можно осваивать параллельно либо освоение компетенций происходит последовательно одна за другой.

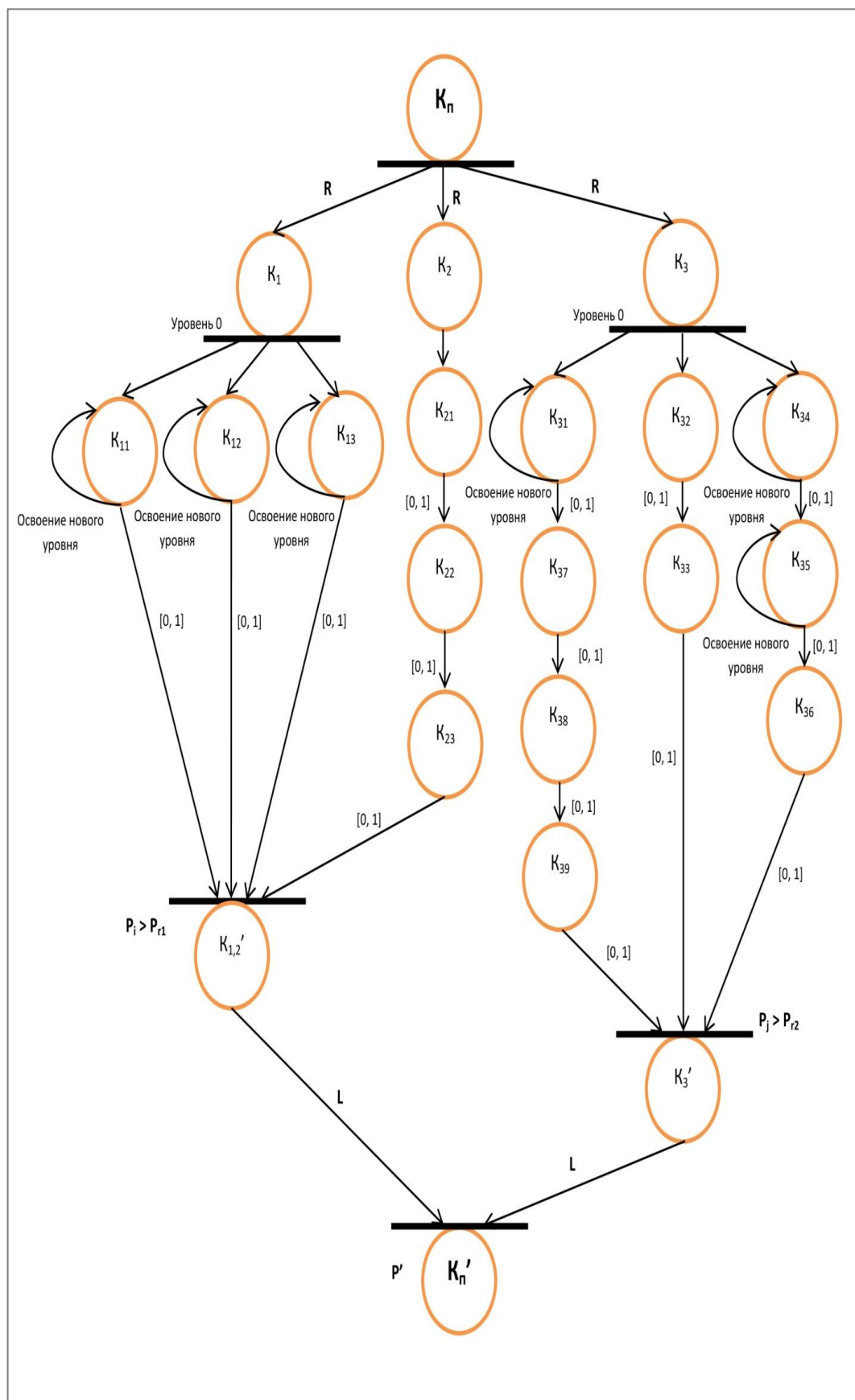


Рис. 3.4 Модель компетенций

В разработанной модели было выделено 3 блока (класса) основных компетенций в области автоматизированного проектирования трехмерных объектов (компетенции проектировщика): К1 – знание теории, К2 – знание умения проектировщика в области САПР, К3 – навыки проектировщика в области САПР [52, 55, 58].

Выделены следующие категории проектировщика трехмерных твердотельных машиностроительных изделий, выполненных в САПР КОМПАС-3D:

- без категории (молодой специалист);
- инженер-конструктор 3 категории;
- инженер-конструктор 2 категории;
- инженер-конструктор 1 категории;
- ведущий инженер-конструктор.

Далее рассмотрим знания, умения и навыки, связанные с каждой из приведенной категории проектировщика.

Без категории (молодой специалист)

Данная категория подразумевает наличие у проектировщика следующих знаний, умений и навыков в области автоматизированного проектирования трехмерных машиностроительных объектов.

Блок К1:

- К11 – знает основные компоненты и элементы пользовательского интерфейса САПР (уровень 2);
- К12 – не знает о термине «предметная область» (уровень 1);
- К13 – знает принципы твердотельного моделирования, технологии поверхностного моделирования (уровень 1);

Блок К2:

- К21 – умеет выбрать ориентацию для главного вида чертежа, создавать и настраивать чертеж, умеет создавать стандартные виды чертежа (уровень 1);

- К22 – умеет использовать библиотеки и добавлять детали из файла (уровень 2);
- К23 – умеет размещать сборочные единицы по сопряжениям (уровень 2);
- К24 – умеет выбрать плоскость для создания компонента в контексте сборки, использует способ работы «Создание геометрии в контексте сборки» (уровень 1);
- К25 – использует удаление и погашение вида (уровень 1);
- К26 – умеет исключать компоненты из разреза или сечения (уровень 2);
- К27 – умеет настроить и выбрать стиль спецификации (уровень 1);

Блок К3:

- К31 – может произвести предварительную настройку САПР, планирует процесс построения детали (уровень 1);
- К32 – добавляет в сборку крепежные элементы (уровень 2);
- К33 – создает по эскизу тела вращения (уровень 2);
- К34 – не использует методики проектирования (уровень 1);
- К35 – может создавать локальную систему координат движущихся компонентов (уровень 1);
- К36 – для создания эскизов использует буфер обмена (уровень 1);
- К37 – редактирует библиотечные модели (уровень 2);
- К38 – может создать и провести предварительную настройку листового тела (уровень 1);
- К39 – при построении трехмерной модели использует буфер обмена (уровень 2);
- К310 – знает общие сведения (уровень 1).

Инженер-конструктор 3 категории

Данная категория подразумевает наличие у проектировщика следующих знаний, умений и навыков в области автоматизированного проектирования трехмерных машиностроительных объектов.

Блок К1:

- K11 – знает основные понятия 3D- модели: грань, ребро, вершина и т.д. (уровень 3);
- K12 – работал хотя бы с одним продуктом в предметной области (уровень 2);
- K13 – знает принципы гибридного и сплайнового моделирования (уровень 2);

Блок K2:

- K21 – умеет компоновать чертеж, устанавливать проекционные связи, умеет создавать разрез и выносимые элементы на чертеже (уровень 2);
- K22 – умеет использовать библиотеки и добавлять детали из файла (уровень 2);
- K23 – умеет размещать сборочные единицы по сопряжениям (уровень 2);
- K24 – умеет проецировать объекты, создавать ребра жесткости, умеет использовать операцию «Выдавливание» без эскиза (уровень 2);
- K25 – использует разрыв проекционных связей между видами (уровень 2);
- K26 – умеет работать с деревом чертежа (уровень 3);
- K27 – умеет создавать спецификацию, подключать к спецификации сборочный чертеж и позиционных линий выносок (уровень 2);

Блок K3:

- K31 – работает в режиме отображения эскиза, применяет параметризацию в эскизах и проставляет размеры, применяет операцию «выдавливание», управляет ориентацией модели в трехмерном пространстве (уровень 2);
- K32 – добавляет в сборку крепежные элементы (уровень 2);
- K33 – создает по эскизу тела вращения (уровень 2);
- K34 – использует методику «Снизу вверх» с предварительным размещением и компоновкой компонентов (уровень 2);
- K35 – может определить структуру изделия, создавать коллекции и файл окончательной сборки (уровень 2);

- К36 – может построить элемент по сечениям и условное пересечение геометрических объектов (уровень 2);
- К37 – при проектировании изделия вставляет библиотечные модели в проектное решение (уровень 3);
- К38 – может построить сгибы по эскизу, ребру, в подсечках, управляет углом и боковыми сторонами сгиба (уровень 2);
- К39 – при построении трехмерной модели использует буфер обмена (уровень 2);
- К310 – может построить и редактировать пространственную ломаную (уровень 2).

Инженер-конструктор 2 категории

Данная категория подразумевает наличие у проектировщика следующих знаний, умений и навыков в области автоматизированного проектирования трехмерных машиностроительных объектов.

Блок К1:

- К11 – знает основные понятия 3D- модели: грань, ребро, вершина и т.д. (уровень 3);
- К12 – работал над несколькими продуктами в предметной области (уровень 3);
- К13 – знает принципы гибридного и сплайнового моделирования (уровень 2);

Блок К2:

- К21 – умеет создавать текстовые ссылки, проставляет размеры и технологические обозначения на чертеже (уровень 3);
- К22 – умеет добавлять компоненты сборки по координатам и опорной точке (уровень 3);
- К23 – умеет обозначать позиции элементов в сборке (уровень 3);

- К24 – умеет редактировать компоненты сборки на месте и в окне, использует привязки к проекциям объектов трехмерной модели (уровень 3);
- К25 – использует разрыв проекционных связей между видами (уровень 2);
- К26 – умеет работать с деревом чертежа (уровень 3);
- К27 – умеет использовать объекты спецификации, синхронизацию документов (уровень 3);

Блок К3:

- К31 – создает зеркальные массивы, добавляет скругления, рассчитывает МЦХ сборки или детали, рассечение модели плоскостями (уровень 3);
- К32 – добавляет в сборку крепежные элементы (уровень 2);
- К33 – использует операцию вращения без эскиза (уровень 3);
- К34 – использует методику «Сверху вниз» для преобразования тел в компоненты сборки с предварительной компоновкой (уровень 3);
- К35 – может размещать модели компонентов в сборке (уровень 3);
- К36 – использует библиотеку эскизов, может построить паз (уровень 3);
- К37 – при проектировании изделия вставляет библиотечные модели в проектное решение (уровень 3);
- К38 – может построить вырез листовой детали, использует плоскую параметрическую симметрию (уровень 3);
- К39 – использует автоматическую параметризацию эскиза (уровень 3);
- К310 – может построить и редактировать пространственную ломаную (уровень 2).

Инженер-конструктор 1 категории

Данная категория подразумевает наличие у проектировщика следующих знаний, умений и навыков в области автоматизированного проектирования трехмерных машиностроительных объектов.

Блок К1:

- К11 – знает назначение коллективной работы в САПР (уровень 4);

- K12 – работал над несколькими продуктами в предметной области (уровень 3);
- K13 – знает принципы прямого вариационного моделирования (уровень 3);

Блок K2:

- K21 – умеет создавать текстовые ссылки, проставляет размеры и технологические обозначения на чертеже (уровень 3);
- K22 – использует при проектировании детали или сборки сопряжение компонентов (уровень 4);
- K23 – умеет создавать разнесенные виды сборок, использует проверку пересечений (уровень 4);
- K24 – умеет строить отверстия с помощью библиотеки «Стандартные изделия», создавать массивы по сетке (уровень 4);
- K25 – умеет проставлять размеры с посадками, обозначает квалитеты и предельные отклонения (уровень 3);
- K26 – умеет создавать местный вид, использует штриховку (уровень 4);
- K27 – умеет создавать раздел «Документация» и оформлять основную надпись (уровень 4);

Блок K3:

- K31 – создает зеркальные массивы, добавляет скругления, рассчитывает МЦХ сборки или детали, рассечение модели плоскостями (уровень 3);
- K32 – создает массивы по образцу, создает слои в трехмерных моделях сборок (уровень 3);
- K33 – использует приложения для построения тел вращения (уровень 4);
- K34 – использует методику «Сверху вниз» для преобразования тел в компоненты сборки с предварительной компоновкой (уровень 3);
- K35 – может размещать модели компонентов в сборке (уровень 3);
- K36 – может построить элемент по сечениям с использованием осевой линии (уровень 4);

- К37 – использует таблицы внешних переменных в библиотечных трехмерных моделях (уровень 4);
- К38 – создает массивы по точкам эскиза, чертеж с видом развертки листовой детали (уровень 4);
- К39 – использует ручную параметризацию эскиза (уровень 4);
- К310 – может создать кинематический элемент (уровень 3).

Ведущий инженер-конструктор 1 категории

Данной категории соответствуют все компетенции проектировщика с уровнем освоения 4.

Компетенции блоков К1, К3 можно осваивать параллельно, в то время как компетенции блока К2 осваиваются последовательно. Определенные компетенции содержат возможность освоения нового уровня компетенции (К11, К12, К13 и др.).

В результате анализа матрицы компетентности проектировщика были выделены следующие компетенции, представленные в разработанной модели (таблица 3.2). Каждая вершина модели содержит 4 уровня освоения компетенции.

Таблица 3.2. Компетенции проектировщика

Блок	Вершина	Название компетенции
К1	K11	знание общих сведений о САПР
	K12	знание предметной области автоматизированного проектирования
	K13	знание общих принципов моделирования
К2	K21	умение создавать рабочий чертеж
	K22	умение создавать сборочную единицу
	K23	умение создавать сборку изделия
	K24	умение создавать компонент в контексте сборки
	K25	умение создавать сборочный чертеж сборочной единицы

Блок	Вершина	Название компетенции
	K26	умение создавать сборочный чертеж изделия
	K27	умение создавать спецификации
К3	K31	навыки твердотельного моделирования в САПР
	K32	навыки добавления стандартных изделий
	K33	навыки использования тел вращения
	K34	использование методик проектирования в САПР
	K35	навыки коллективной работы над проектным решением
	K36	умеет использовать элементы по сечениям
	K37	умеет использовать пользовательские библиотеки трехмерных моделей
	K38	навыки построения листовых деталей
	K39	способен построить трехмерную модель по плоскому чертежу
	K310	навыки построения кинематических компонентов и пространственных кривых

Поскольку умение — это освоенный человеком способ действия, то системе учебных действий соответствует определенная система умений (4-х уровневая матрица компетентности). Основанием для построения системы умений является последовательный характер формирования умений, условие наличия ранее сформированных умений в структуре умений, которые будут формироваться в последующем. Причем перед формированием последующих умений предыдущие умения должны быть сформированы на уровне навыка.

Вершина K12' – освоенные компетенции в знании теории и дополнительного материала в области автоматизированного проектирования машиностроительных объектов. Вершина K3' – освоенные компетенции в области

проектирования объектов машиностроения. Вершина K_p' – освоенные компетенции проектировщика.

Значения показателей (K_{11}, K_{12} и тд.) формируются по результатам контрольных испытаний либо зафиксированным результатам деятельности (в дальнейшем задание). Каждое задание соотносится с некоторыми показателями умений. По результатам выполнения заданий можно определить соответствующие значения показателей умений (изменение от 0 до 1). Эти показатели интерпретируются как вероятность успешного выполнения соответствующего задания данной компетенции.

Значение показателей $K_{1,2}'$ и K_3' формируется как среднеарифметическая сумма входящих в вершину набора компетенций. Для прохождения данных вершин устанавливается пороговое значение для показателей $P_r \in (0, 1]$.

3.2 Разработка концептуальной модели автоматизированной обучающей системы

В настоящее время существует значительное число разработок в области создания автоматизированных обучающих систем (АОС). Вместе с тем, пока не существует единой методологии в вопросах исследования и построения АОС, отсутствуют четкая классификация средств обучения и критерии применения средств обучения в тех или иных областях знаний.

Предлагаемая концептуальная модель автоматизированной обучающей системы дает возможность интенсифицировать (за счет минимизации времени изучения определенного объема информации) и индивидуализировать (за счет максимизации объема изучаемой информации за определенное время) учебный процесс.

Схема концептуальной модели автоматизированной обучающей системы (АОС) обучения приведена на рисунке 3.5.

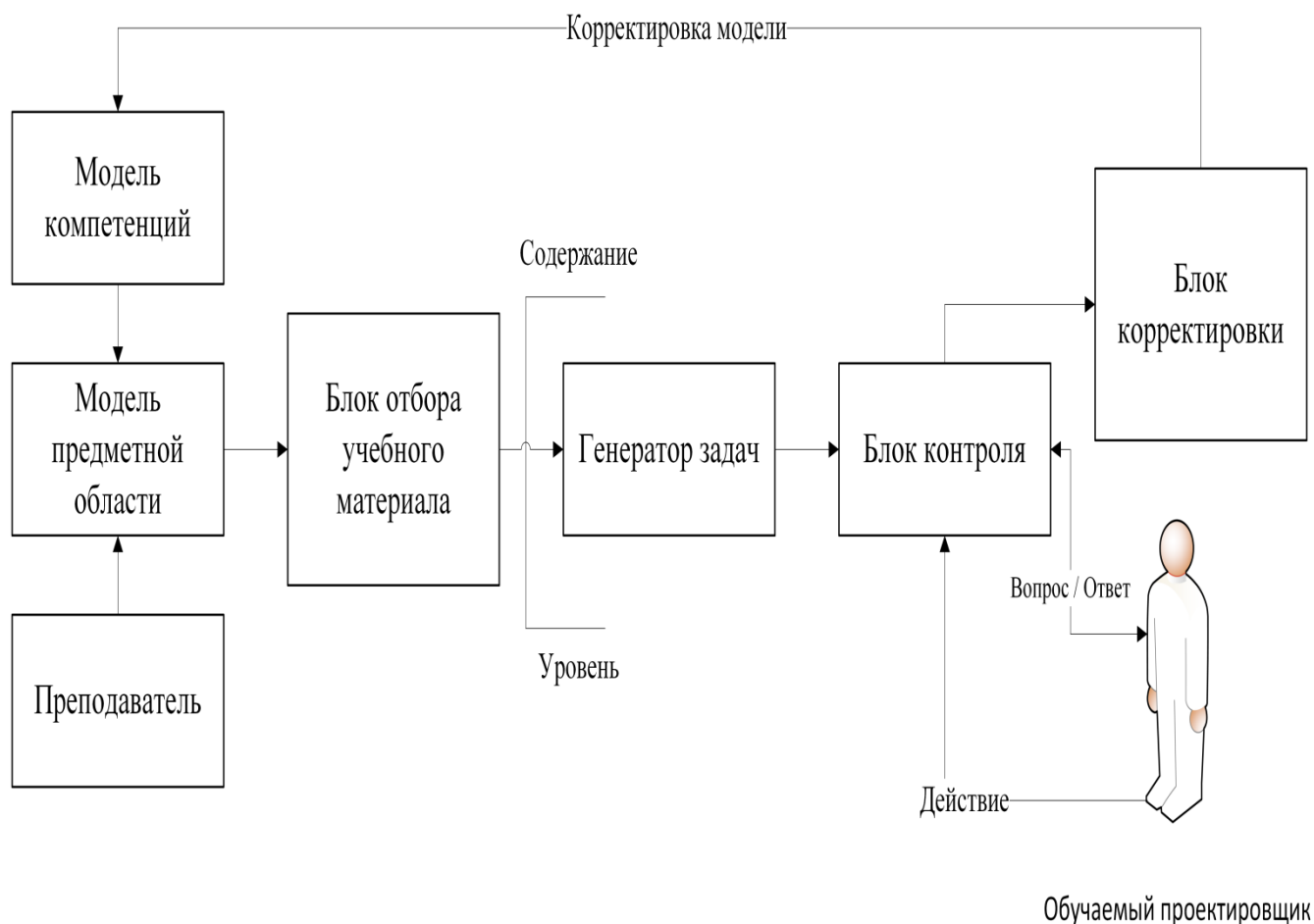


Рис. 3.5 Концептуальная модель АОС

Процесс автоматизированного обучения состоит в деятельности преподавателя, обучаемого и функционировании самой АОС. Деятельность преподавателя заключается в подготовке необходимого учебного материала, его формализации и ввода в модель предметной области, а также задания необходимых критериев и ограничений. Функционирование АОС заключается в построении оптимального сценария обучения для конкретного обучаемого и контроле усвоения учебного материала.

Структура автоматизированной обучающей системы содержит следующие компоненты.

1) **Блок отбора учебного материала** включает в себя:

- **Формулирование входных контрольных заданий (КЗ).** Необходимо выделить, какие умения должны быть сформированы у обучаемого, какие задачи необходимо уметь решать. Входные КЗ вводятся в систему.

- Формирование целей обучения и возможного дерева обучения. Связь с моделью предметной области, которая представлена в виде дерева обучения.
- Формирование учебного материала (УМ). Заполнение каждой ветви дерева обучения обучающей программой (ОП) по теме, соответствующей данной ветви. ОП по каждой теме должны содержать набор входных КЗ. Материал, преподносимый обучаемому в рамках этой темы, должен быть разбит на отдельные "порции", причем по каждой "порции" учебного материала необходимо составить набор КЗ, позволяющих судить о степени усвоения обучаемым предложенной порции" учебного материала.
- Формирование выходных КЗ. Зная конечные цели обучения, формируются набор КЗ, позволяющих судить о степени усвоения обучаемым всего предложенного материала. Необходимо также сформировать критерии, по которым будут оцениваться ответы обучаемого. Выходные КЗ вводятся в систему.
- Обучение. Этот этап заключается в выдаче необходимой обучаемому учебной информации, в определенной последовательности, учитывая индивидуальные особенности конкретного обучаемого.

Цель: сформировать индивидуальную программу обучения с тем, чтобы привить обучаемому необходимые знания, умения и навыки в определенной предметной области (ПО).

Обучаемому выдаются порции учебного материала, который он изучает в режиме с обратной связью; после изучения каждой порции учебного материала обучаемому задается ряд вопросов, контролирующих усвоение им необходимых понятий; затем выдается следующая порция материала (в соответствии со сценарием обучения) и т.д., пока не будет изложен весь необходимый для конкретного обучаемого учебный материал по этой теме.

- 2) **Генератор задач** – формируются тестовые задачи и задания (ТЗ) для входного, промежуточного или итогового контроля обучаемого. ТЗ

подбираются по текущему уровню освоения обучаемым компетенции (или группы компетенций) в соответствии с целью и траекторией обучения. В соответствии с матрицей компетентности проектировщика выделяется 4 уровня (1,2,3,4).

- 3) **Блок контроля** заключается в проверке степени усвоения обучаемым тех знаний, умений и навыков, которые он должен был приобрести в процессе обучения обучаемому одно за другим выдаются выходные КЗ, ранее сформированные и введенные в систему преподавателем. Обучаемому необходимо ответить на все эти КЗ, используя свои знания, полученные им при изучении данной темы, при этом системе необходимо фиксировать характеристики ответа обучаемого на каждое КЗ. При окончании прохождения всех КЗ формируется вектор обучаемого $I_e = \{O_1, O_2, \dots, O_i\}$, где O_i – оценка по i -ой теме. Данный вектор используется для классификации обучаемого по уровням знаний (уровни 1 – 4, матрица компетентности). Далее происходит корректировка модели обучаемого, если был достигнут положительный эффект в обучении.

Цель: выяснить, усвоены ли обучаемым необходимые знания, приобретены ли им необходимые умения и навыки, достигнуты ли обучаемым цели обучения или нет.

- 4) **Блок корректировки.** Корректировка модели компетенций согласно вектору обучаемого проектировщика I_e .

Алгоритм формирования персонифицированной траектории обучения автоматизированному проектированию состоит из следующих шагов.

1. Формирование входных контрольных заданий (КЗ): теоретический тест, практические задачи.
2. Выполнение проектировщиком входных КЗ.
3. Анализ текущего уровня освоения обучаемым проектировщиком компетенций (группы компетенций).
4. Формирование цели обучения.
5. Формирование учебного материала (УМ).

6. Изучение УМ проектировщиком.
7. Формирование выходных КЗ.
8. Выполнение проектировщиком практического задания.
9. Анализ степени освоения проектировщиком предложенного УМ. Если цель обучения достигнута, переход к шагу 15.
10. Выбор дидактических единиц (ДЕ), необходимых для дальнейшего изучения.
11. Формирование вспомогательного УМ и контрольных КЗ.
12. Изучение проектировщиком вспомогательного УМ.
13. Выполнение проектировщиком контрольных КЗ.
14. Анализ контрольных КЗ. Если компетенции проектировщика не удовлетворяют цели обучения, переход к шагу 10.
15. Завершение обучения проектировщика. Корректировка цели обучения

3.3 Разработка модели предметной области в автоматизированной обучающей системе

Модель предметной области (МПО) формирует учебный материал, который в свою очередь подразделяется на составные части - порции (структурные единицы). В качестве минимальной структурной единицы учебного материала выступает дидактическая единица (ДЕ) – это такая логически самостоятельная часть учебного материала, которая по своему объему и структуре соответствует определенным компонентам содержания учебного материала, а именно: понятие, гипотеза, факт, теория, закон и тп.

Совокупность всех дидактических единиц является основой, на которой основывается предлагаемая МПО. Следующем уровень иерархии состоит из учебного материала, тестовые задания и контрольные задания (входной, промежуточный, итоговый контроль), которые в свою очередь входят в состав тем для изучения обучаемым. Множество тем изучения обучаемым составляют следующий уровень модели предметной области - уровень компетенций. Совокупность компетенций образует верхний уровень направления обучения (рисунок 3.6).

Каждая компетенция (К) может формироваться набором тем для изучения. В свою очередь каждая из тем формирует ряд компетенций. Из этого можно установить, что между множеством тем для изучения и множеством компетенций устанавливается связь «многое – ко - многим».

Каждая тема (Т) для изучения состоит из набора учебного материала (УМ), тестовых (ТЗ) и контрольных заданий (КЗ). Отдельному учебному материалу сопоставляется ряд дидактических единиц. Для отдельно выбранной дидактической единицы имеется возможность составлять несколько тестовых заданий. Каждое контрольное задание может предполагать усвоение знаний по ряду дидактических единиц. Таким образом, между учебным материалом и множеством дидактических единиц, множеством дидактических единиц и множеством тестовых заданий, а также между множеством контрольных заданий и множеством дидактических единиц образуется связь «один – ко - многим».

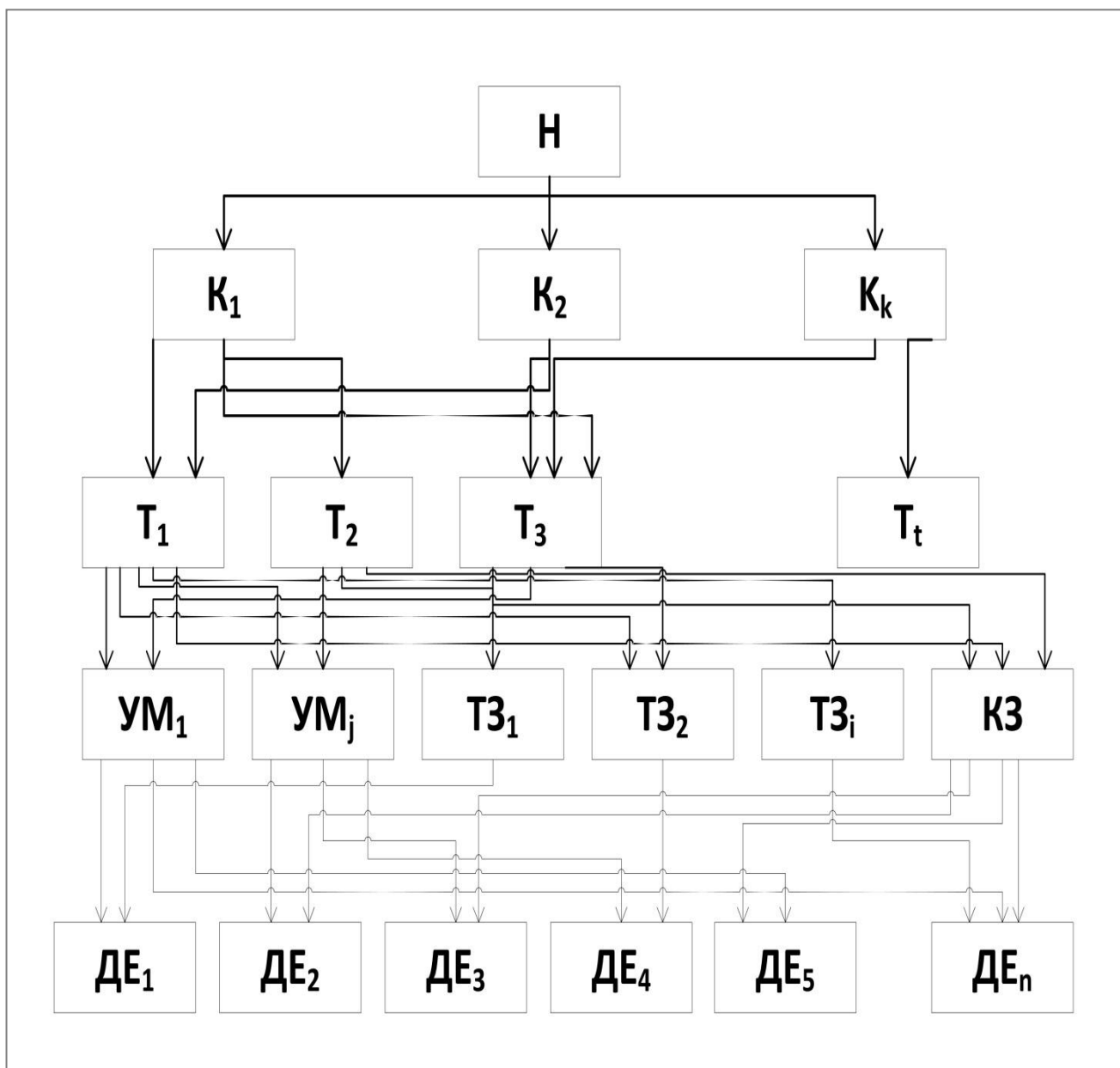


Рис. 3.6 Модель предметной области

Для упрощения модели считается, что:

- знание конкретной дидактической единицы формируется только в рамках одного учебного материала, с которым она связана;
- тестовое задание соединяется с одной конкретной дидактической единицей, на проверку которой направлено само тестовое задание;
- проверка знания дидактической единицы обучаемым происходит в рамках выполнения одного конкретного контрольного задания и произвольного множества тестовых заданий.

Такое упрощение системы возможно исходя из того, что процесс обучения строится из последовательного повышения уровня знаний, умений и навыков. Из этого можно сделать вывод, что несмотря на то, что успешное выполнение определенного тестового задания или контрольного задания может требовать от обучаемого знание нескольких дидактических единиц, связь с частью из них, проверенных ранее, может быть опущена.

Можно в приведенной МПО также выделить отношения «предыдущий — последующий» между множеством дидактических единиц, так как для освоения многих из них необходимо наличие у обучаемого также знание других дидактических единиц определенной предметной области. Такие отношения предопределяются экспертами или экспертными группами, в качестве которых могут выступать преподаватели.

На рисунке 3.7, в качестве примера, показаны отношения «предыдущий — последующий» между множеством дидактических единиц некоторой предметной области. Для успешного изучения ДЕ₂ и ДЕ₄, т.е. дидактических единиц № 2 и № 4, необходимо предварительно изучить ДЕ₁, для успешного изучения ДЕ₃ и ДЕ₇, необходимо сначала изучить ДЕ₂ и так далее.

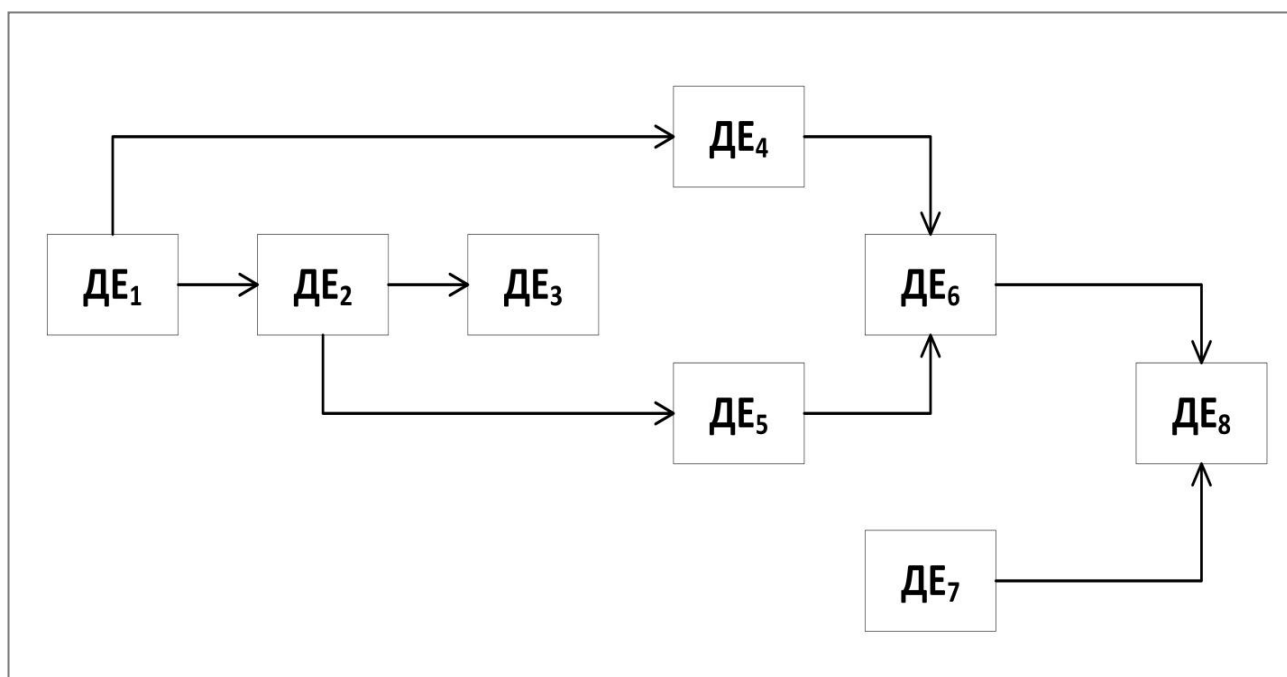


Рис. 3.7 Схема отношений «предыдущий — последующий» между множеством дидактических единиц предметной области

3.4 Выводы и рекомендации

1. Сформирована четырехуровневая матрица компетентности проектировщика в САПР КОМПАС-3D, выделены основные знания, умения и навыки, необходимые для решений промышленных задач в области автоматизированного проектирования машиностроительных изделий.

2. Разработана концептуальная модель автоматизированной обучающей системы, позволяющая формировать индивидуальную программу обучения с целью сформировать у обучаемого проектировщика необходимые знания, умения и навыки в определенной предметной области.

3. Предлагаемая концептуальная модель автоматизированной обучающей системы дает возможность интенсифицировать (за счет минимизации времени изучения определенного объема информации) и индивидуализировать (за счет максимизации объема изучаемой информации за определенное время) учебный процесс.

4. Предложена модель предметной области в автоматизированной обучающей системе в виде иерархической сети, структурирующая учебный материал, разделяя его на порции (структурные единицы).

5. Разработана ассоциативно-ориентированная модель компетенций проектировщика, отличающаяся установлением взаимосвязей между знаниями, умениями и навыками, связанных с предметной областью автоматизированного проектирования машиностроительных объектов, и позволяющая сформировать последовательность освоения компетенций и адаптировать процесс обучения автоматизированному проектированию в САПР КОМПАС-3D.

6. Разработан алгоритм формирования персонифицированной траектории обучения, отличающийся использованием ассоциативно-ориентированной модели компетенций проектировщика и позволяющий повысить эффективность и качество обучения.

7. Выделены следующие категории проектировщика трехмерных твердотельных машиностроительных изделий, выполненных в САПР КОМПАС-3D: без категории (молодой специалист); инженер-конструктор 3 категории;

инженер-конструктор 2 категории; инженер-конструктор 1 категории; ведущий инженер-конструктор. Описаны основные знания, умения и навыки, связанные с каждой из приведенной категории проектировщика.

8. Рекомендуется применение разработанной ассоциативно-ориентированной модели компетенций и алгоритма формирования персонифицированной траектории обучения для оценки эффективности и качества обучения проектировщика изделий машиностроения.

Глава 4 Реализация автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения

В данной главе рассматриваются вопросы реализации практической части диссертационной работы: разработка автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика.

Описаны наиболее важные компоненты системы. Функциональное назначение и поведение системы представлено в виде UML диаграмм.

4.1 Разработка компонентной архитектуры автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения

В данной параграфе описано поведение и функционирование автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика в виде UML-диаграмм.

Диаграмма деятельности

Диаграмма деятельности (англ. activity diagram) — UML-диаграмма, на которой отображены действия, состояния которых описано на диаграмме состояний. Под термином «деятельность» (англ. activity) подразумевается спецификация исполняемого поведения в виде организованного последовательного и параллельного выполнения зависимых элементов — вложенных видов деятельности и отдельных активностей (англ. action), связанных между собой потоками, которые следуют от выходов одного узла к входам другого. Диаграммы деятельности включают в себя ограниченный ряд фигур, соединённых между собой стрелками. Основные фигуры состоят из следующих компонентов:

- прямоугольники с закруглениями — отображение действия;
- ромбы — отображение решения;
- широкие полосы обозначают начало (разветвление) и окончание (схождение) ветвления действий;
- чёрный круг — начало процесса (начальный узел);
- чёрный круг с обводкой — окончание процесса (финальный узел);

- стрелки идут от начала к концу процесса и показывают потоки управления или потоки объектов (данных).

На рисунке 4.1 показана uml-диаграмма деятельности в разработанной автоматизированной обучающей системе (АОС). Были выделены 3 области диаграммы деятельности («дорожки»), которые отображают только те действия, за который отвечает определенный объект. Служат они для разбиения диаграммы деятельности в соответствии с распределением ответственности за действия. Имя дорожки, чаще всего, означает роль или объект, которому она соответствует (обучаемый, АОС, преподаватель).

Построенная диаграмма позволяет реализовывать особенности процедурного и синхронного управления, обусловленного завершением внутренних деятельностей и действий. Диаграмма представляет собой совокупность отдельных действий и вычислений, приводящих к конечному результату. Результат деятельности может привести к корректировке состояния автоматизированной обучающей системы и возвращению определенного значения или набора значений (оценка за прохождение итогового контроля, промежуточного контроля, входного контроля). Для синхронизации параллельных процессов использовался переход «разделение - слияние»

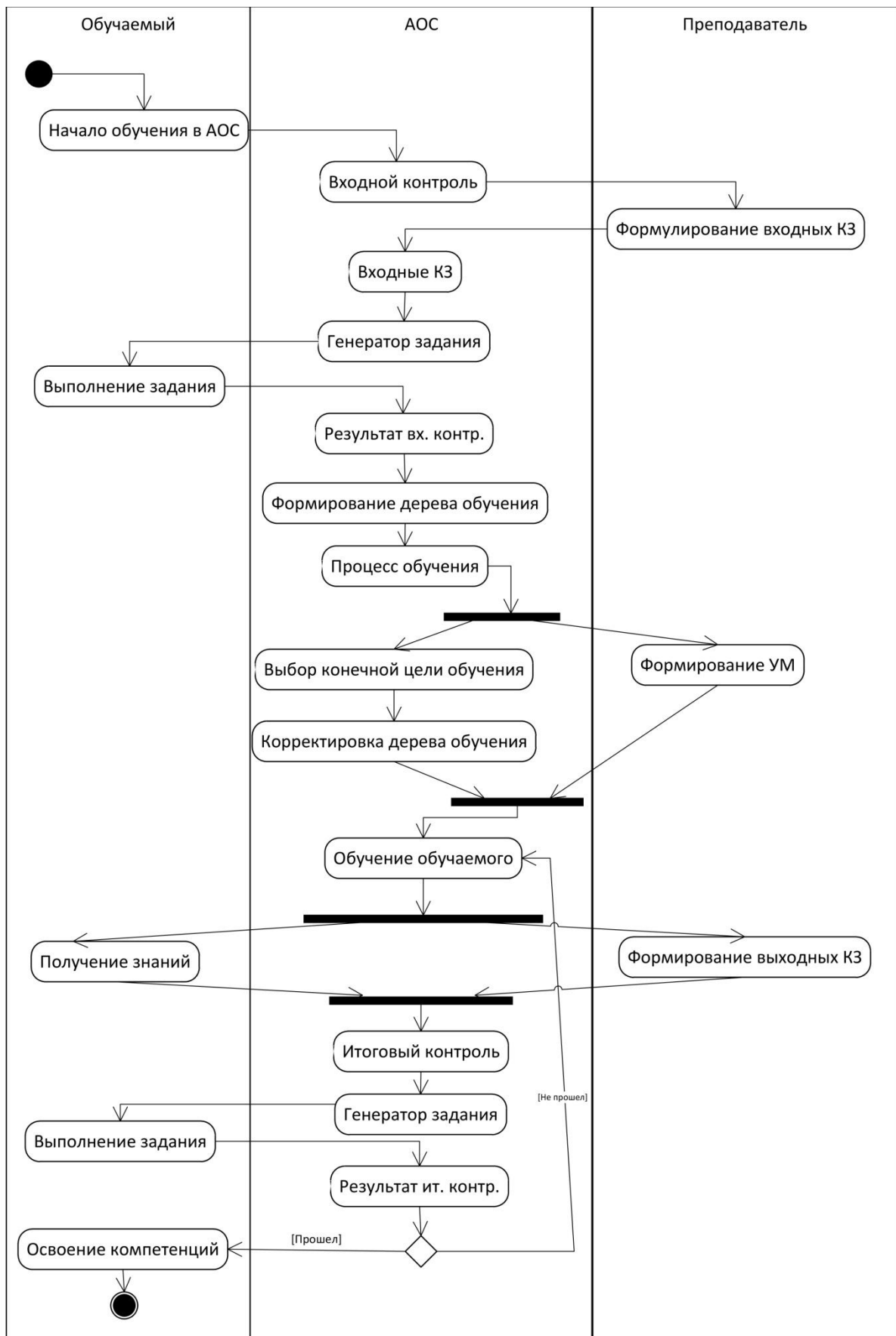


Рис. 4.1. UML диаграмма деятельности на основе концептуальной модели
АОС

Диаграмма вариантов использования

Диаграмма вариантов использования (use case diagram) — диаграмма, на которой показываются отношения между актерами и вариантами использования. Назначение данной диаграммы состоит в следующем: проектируемая программная система представляется в форме так называемых вариантов использования, с которыми взаимодействуют внешние сущности, т.е. актеры (действующее лицо). При этом актером или действующим лицом является любой объект, субъект или система, которые взаимодействуют с моделируемой автоматизированной обучающей системой извне. Вариант использования предназначен для описания служб или сервисов, которые система предоставляет актеру. Отдельный вариант использования определяет совокупность действий, совершаемый системой при диалоге с актером.

На рисунке 4.2 показана uml-диаграмма вариантов использования в разработанной автоматизированной обучающей системе (АОС). Вариант использования (use case) — это внешняя спецификация последовательности действий, которые автоматизированная обучающая система может выполнять в процессе взаимодействия с действующими лицами (обучаемый, преподаватель).

Вариант использования отображает спецификацию общих особенностей поведения или функционирования моделируемой автоматизированной обучающей системы без детального рассмотрения внутренней структуры этой системы. Каждый вариант использования отображается на диаграмме эллипсом, внутри которого находится его краткое имя в форме существительного или глагола с пояснительными словами. Актер представляет собой любую внешнюю по отношению к моделируемой системе сущность, которая взаимодействует с системой и использует ее функциональные возможности для достижения определенных целей или решения частных задач. Каждый актер может рассматриваться как некая отдельная роль относительно конкретного варианта использования.

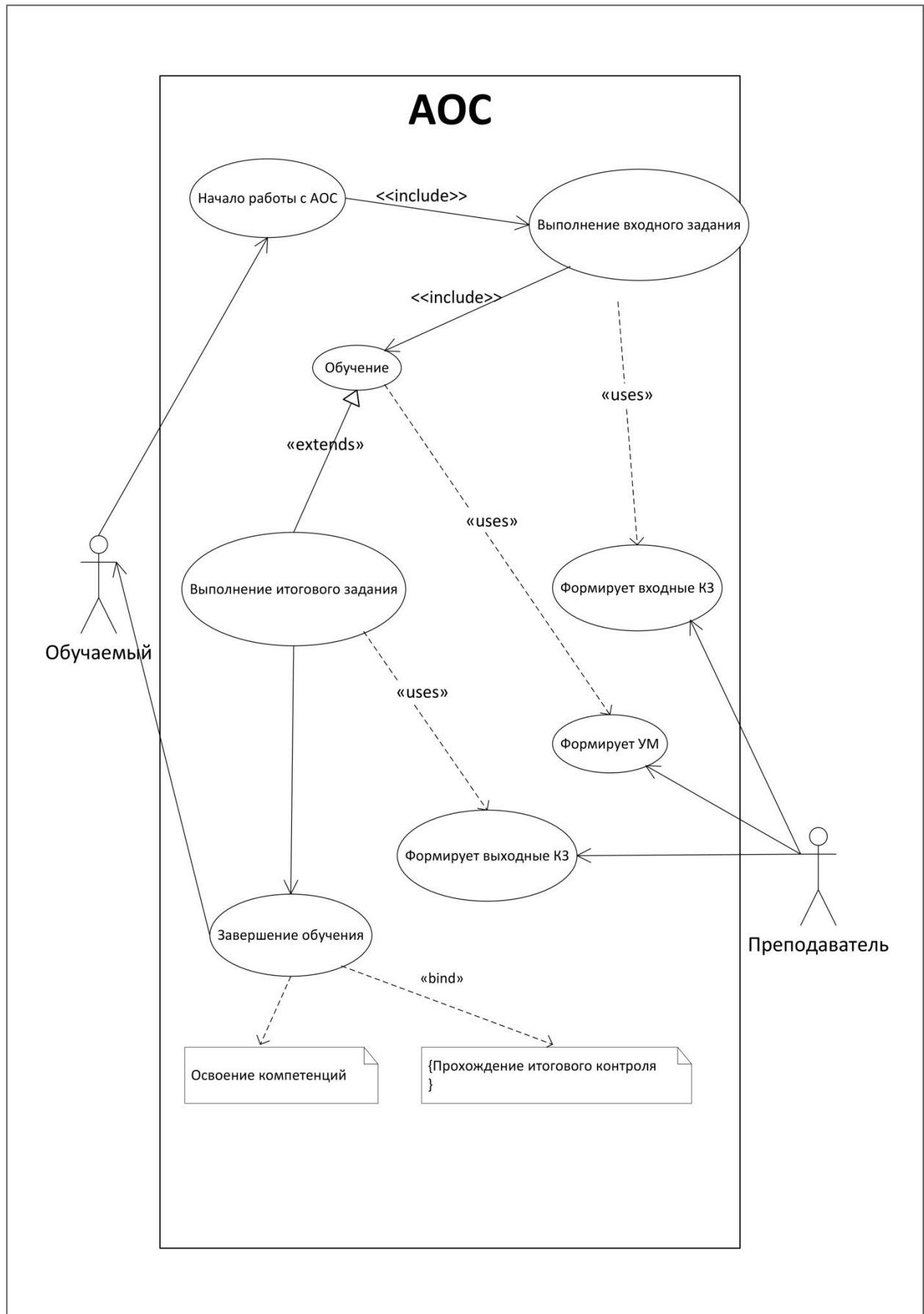


Рис. 4.2. UML диаграмма вариантов использования на основе концептуальной модели АОС

Диаграмма последовательности

Диаграмма последовательностей показывает взаимодействие объектов автоматизированной обучающей системы в динамике. В UML под взаимодействием объектов подразумевается обмен информацией между самими объектами. Вместе с тем информация принимает вид сообщений. Помимо того, что сообщение несет конкретную информацию, оно определенным образом также влияет на получателя.

Диаграмма последовательностей относится к диаграммам взаимодействия UML, которые описывают поведенческие аспекты системы, но при этом рассматривает взаимодействие объектов системы во времени. Диаграмма последовательностей отображает временные особенности передачи и приема сообщений объектами.

На рисунке 4.3 показана uml-диаграмма последовательности в разработанной автоматизированной обучающей системе (АОС). Объекты на диаграмме обозначаются в виде прямоугольников с подчеркнутыми именами, сообщения (вызовы методов) отображаются в виде линий со стрелками, возвращаемые результаты обозначаются на диаграмме как пунктирные линиями со стрелками. Прямоугольники на вертикальных линиях под каждым из объектов показывают "линию жизни" (фокус) объектов.

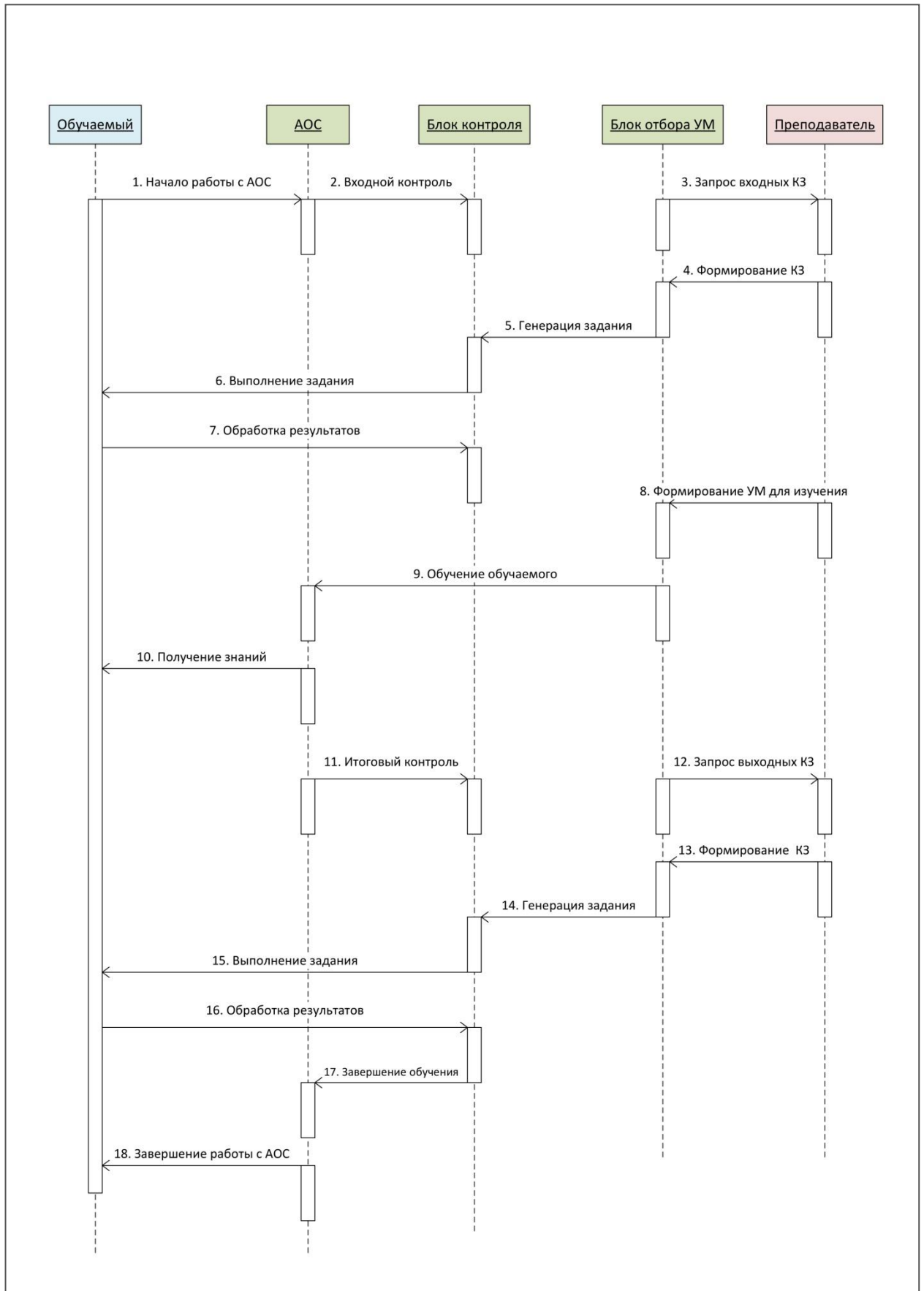


Рис. 4. 3 UML Диаграмма последовательности на основе концептуальной модели АОС

4.2 Реализация системы поиска неоптимальных проектных операций проектировщика

Разработанная система обеспечивает управление анализом проектных решений, позволяет классифицировать изделия машиностроительных объектов, а также имеет возможность просмотра рекомендаций [39]. Интерфейс программы поддерживает следующие режимы работы:

1) построение дерева модели – автоматизированное создание справочника к сборке/детали, который содержит дерево построения трехмерной модели и описание проектных операций [49, 51];

2) анализ проектного решения – запуск анализа проектного решения с составлением рекомендаций по каждой детали, перестроение проектного решения на основе сформированных рекомендаций;

3) анализ изделий – состоит из различных модулей анализа определенных классов изделий;

4) поиск по базе данных изделий машиностроительных объектов.

Режим «Построение дерева модели» обеспечивает автоматическое построение модели предметной области на основе анализа сборки САПР КОМПАС-3D. Модель предоставлена в виде справочника сборки/детали, включающего:

- дерево построения;
- описание операций и их параметров.

Режим «Анализ проектного решения» обеспечивает формирование рекомендаций на основе анализа проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС-3D [76]. Результаты добавляются в индивидуальный список рекомендаций и выводятся проектировщику на экран. На основе сформированного списка рекомендаций осуществляется автоматизированное перестроение проектного решения и отображение его в среде САПР КОМПАС-3D.

Режим «Анализ изделий» позволяет структурировать и классифицировать выбранные пользователем файлы изделий машиностроительных объектов.

Режим «Поиск изделий по БД» позволяет найти те готовые проектные решения, которые удовлетворяют условию поиска: класс изделия, параметр для поиска, значение параметра и критерий поиска (больше, меньше, равно).

Рассмотрим правило поиска неоптимальных операций на примере операции «Скругление». Данное правило имеет следующее описание:

«Не используйте операцию «Скругление» для каждого ребра в отдельности. Если это возможно, указывайте как можно большее количество ребер, параметры для которых одинаковы».

Условие срабатывания правила – наличие нескольких операций «Скругление» с одинаковыми параметрами.

Рассмотрим в качестве примера деталь «Кожух», дерево модели которой до анализа проектного решения представлено на рисунке 4.4.

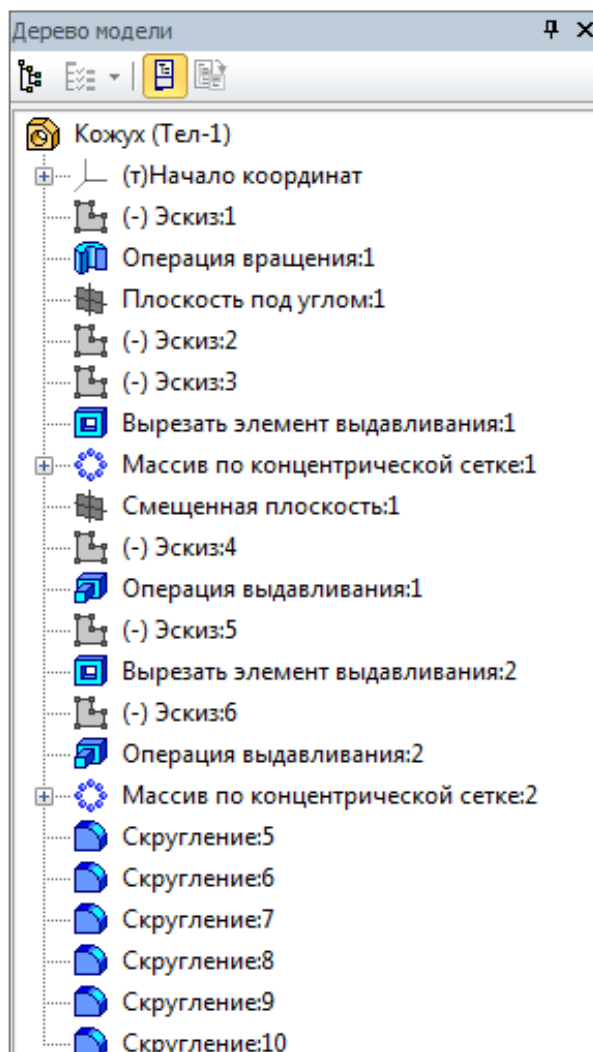


Рис. 4.4 Дерево модели детали «Кожух» до анализа проектного решения

Для данной детали в результате анализа проектного решения будет сформирована следующая рекомендация:

У вас 6 одинаковых операций («Скругление:5», «Скругление:6», «Скругление:7», «Скругление:8», «Скругление:9», «Скругление:10»). Не используйте операцию «Скругление» для каждого ребра в отдельности. Если это возможно, указывайте как можно большее количество ребер, параметры для которых одинаковы, это уменьшит количество действий на 63%. При выполнении рекомендаций общее количество действий уменьшится с 395 до 380 или на 4%.

Выполнение сформированной рекомендации позволяет уменьшить количество действий относительно выполнения операции «Скругление» над каждым ребром в отдельности, а также уменьшает количество получаемых объектов в дереве модели (рисунок 4.5) в результате перестроения проектного решения.

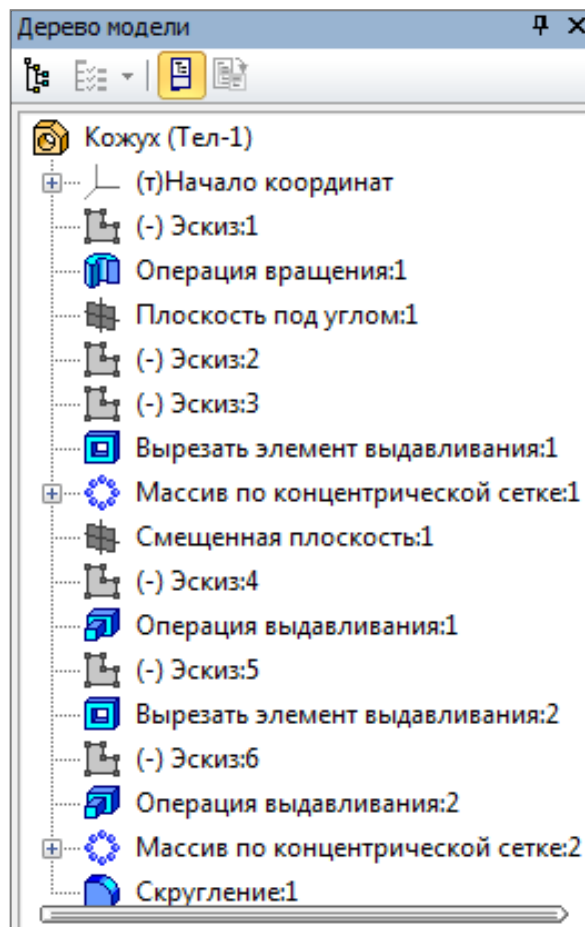


Рис. 4.5 Дерево модели детали «Кожух» после анализа проектного решения

Организация взаимодействия программного комплекса с САПР

На рисунке 4.6 представлена схема взаимодействия программного комплекса с САПР КОМПАС-3D.

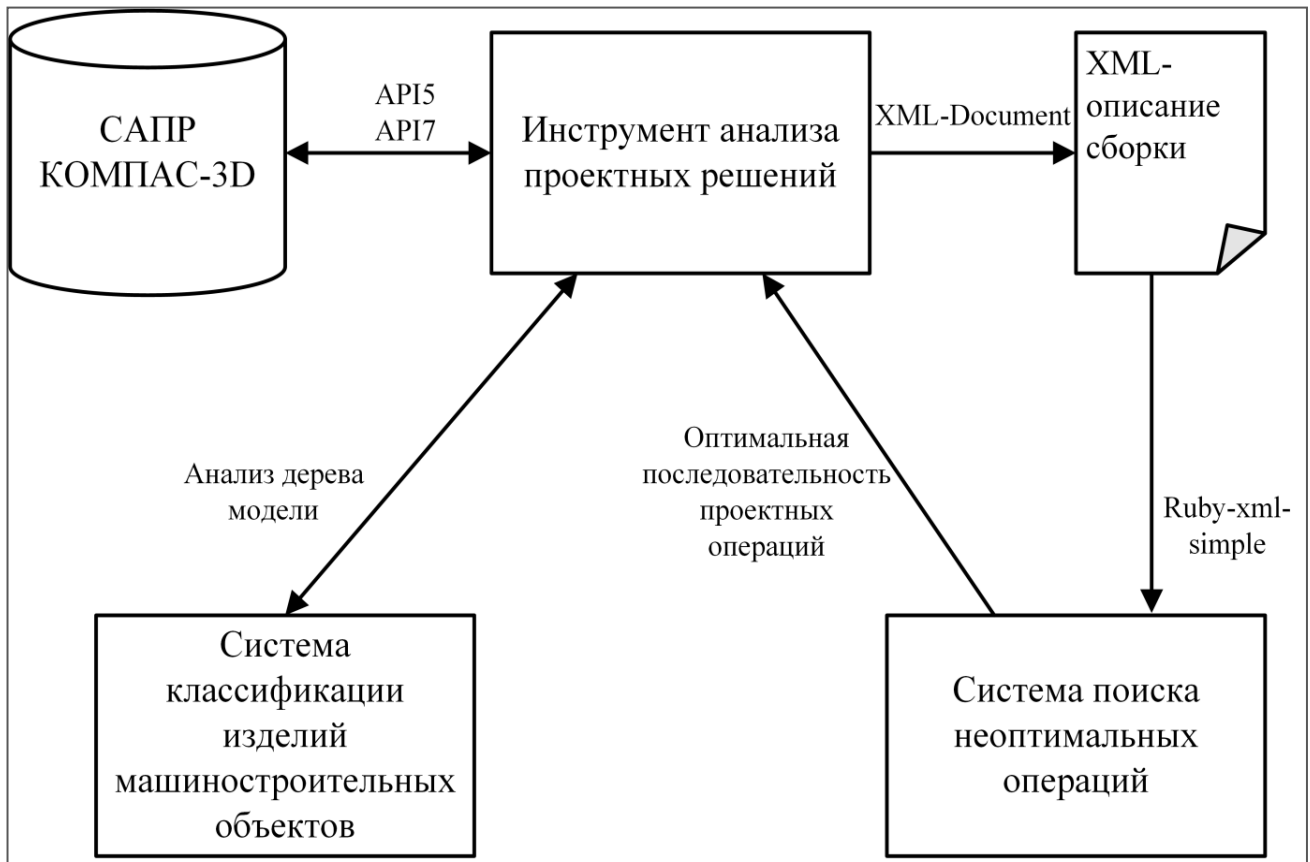


Рис. 4.6 Схема взаимодействия программного продукта с САПР КОМПАС

Автоматизированная система анализа проектных решений взаимодействует с САПР КОМПАС с использованием программных API-интерфейсов, содержащих методы трехмерного моделирования и математические функции ядра САПР. В САПР КОМПАС-3D осуществляется поддержка двух версий API-интерфейсов: API5 (интерфейс KompasObject) и API7 (интерфейс IKompasAPIObject).

Для формирования текстового описания твердотельной трехмерной модели проектного решения САПР КОМПАС-3D разработан авторский универсальный инструмент [53, 73], который обеспечивает автоматизированное создание справочника к сборке/детали. Полученный справочник содержит дерево построения трехмерной модели и проектное описание (какие проектные операции

были выполнены и в какой последовательности, чтобы построить трехмерную модель).

Инструмент написан на языке программирования C#. Справочная информация о проектном решении автоматически генерируется из справочных систем помощи КОМПАС-3D (Азбука Компас-График, Азбука Компас-3D) и сохраняется в отдельном файле в формате XML [49, 51, 53, 54] для дальнейшего использования при анализе проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС.

Для описания документа, содержащего трехмерную модель, использовался интерфейс `ksDocument3D`. Для описания трехмерной модели использовался интерфейс `ksPart`, полученный с помощью метода `GetPart`. Для описания отдельных объектов детали использовался интерфейс `ksEntity`. Для формирования XML-описания сборки использовался класс `XmlDocument`. Анализ последовательности проектных операций реализован с помощью пакета `ruby-xml-simple`. Сформированная последовательность оптимальных проектных операций с помощью формата обмена данными JavaScript Object Notation передается в инструмент анализа проектных решений, где при помощи метода `RebuildModel` интерфейса `ksPart` происходит перестроение дерева модели проектного решения.

Система классификации изделий машиностроительных объектов использует интерфейс `ksVariableCollection`, который возвращает массив переменных трехмерной модели. Для выбора каталога поиска изделий используется компонент `OpenFileDialog` (с возможностью множественного выбора `Multiselect`). Для получения типа открытого в САПР КОМПАС файла используется функция `ksGetDocumentTypeByName`.

В таблице 4.1 представлены используемые в системе методы API-интерфейсов.

Метод	Описание
<code>ActiveDocument2D</code>	Получение указателя на активный двухмерный документ

Метод	Описание
ActiveDocument3D	Получение указателя на активный трехмерный документ
Document2D	Получение указателя на интерфейс чертежа
Document3D	Получение указателя на интерфейс трехмерной модели
GetDynamicArray	Получение указателя на интерфейс динамического массива компонентов
GetMathematic2D	Получение указателя на интерфейс, необходимый для работы с математическими функциями в двухмерном документе
GetParamStruct	Получение интерфейса на структуры параметров заданного типа (параметры штриховки, окружности, размеров, прямоугольника и т.д.)
ksDrawKompasDocument	Позволяет отрисовать документ САПР КОМПАС в выбранном окне
ksError	Возвращает сообщение об ошибке
ksGetApplication7	Получение указателя на интерфейс приложения КОМПАС-3D API7
ksGetDocOptions	Получение определенной структуры набора параметров настроек активного документа
ksSetDocOptions	Установка определенной структуры набора параметров настроек активного документа
ksGetHWindow	Получение дескриптора главного окна

Метод	Описание
	приложения КОМПАС-3D
ksGetSystemVersion	Получение версии приложения КОМПАС-3D
SpcDocument	Получение указателя на интерфейс КОМПАС-документа со спецификацией
SpcActiveDocument	Получение указателя на интерфейс активного в текущий момент КОМПАС-документа со спецификацией
ksDocument3D.EntinityCollection	Получение указателя на массив выбранных в активно документе элементов
ksDocument3D.GetObjectParam	Получение параметров объекта
ksDocument3D.GetPart	Получение указателя на интерфейс компонента в контексте трехмерной сборки
ksDocument3D.Open	Открытие документа на редактирование трехмерной модели
ksDocument3D.GetObjectType	Получение типа трехмерной модели КОМПАС
ksDocument3D.PartCollection	Получение указателя на интерфейс массива компонентов, находящихся в активной сборке
ksPart.GetPlacement	Получение указателя на интерфейс местоположения объекта в контексте сборки
ksPart.NewEntinity	Создание интерфейса для нового трехмерного объекта, получение указателя на созданный объект

Метод	Описание
ksPart.BeginEdit	Запуск режима редактирования компонента
ksPart.EndEdit	Закрытие режима редактирования компонента
ksPart.IsDetail	Определяет, является ли текущий компонент деталью
ksPartCollection	Получение интерфейса массива компонентов активной сборки
ksMacro3DDefinition	Получение интерфейса трехмерного макрообъекта
ksMateConstraintCollection	Получение интерфейса набора сопряжений активной сборки
ksMateConstraint	Получение интерфейса структуры параметров сопряжений
ILibHPObject	Получение интерфейса для работы с характерными точками графического элемента

4.3 Реализация системы классификации машиностроительных изделий

В настоящее время во многих проектно-конструкторских подразделениях отечественных предприятий используются технологии производства с использованием автоматизированных систем трехмерного моделирования изделий. Как показывает практика, на определенном предприятии может использоваться несколько таких систем, базирующихся на различных, не интегрированных между собой платформах. При этом, становится непростой задача просмотра проектного решения в целом или его частей, например между специалистами, осуществляющими мониторинг проектных работ или проверку технических решений, а также поиск по имеющимся на предприятии проектным решениям.

Особую актуальность эта проблема приобретает, когда над одним проектом работают несколько проектно-конструкторских подразделений.

Решить эти и ряд других задач призваны системы управления инженерными данными SmartPlant Foundation корпорации Intergraph, Windchill корпорации PTC, ЛОЦМАН:PLM компании АСКОН, TDMS компании CSoft Development и т.д.

Концепция хранения и отображения данных в большинстве таких систем базируется на представлении проектируемого объекта в виде иерархического дерева, что само по себе задача трудоемкая и нетривиальная [84].

Разработанная система обеспечивает управление структурно-параметрическим анализом изделий, выполненных в среде САПР КОМПАС [38]. Поиск проектных решений осуществляется на основе шаблонов и правил (шаблоны дерева проектных решений для конкретного класса изделий). Подобный функционал в упомянутых выше системах управления инженерными решениями отсутствует.

Далее на примере системы трехмерного проектирования КОМПАС – 3D предлагается упрощенный вариант мониторинга, проверки и поиска проектных решений. Архитектура системы (рисунок 4.7) состоит из следующих частей:

- база изделий;
- программа анализа изделий - состоит из различных модулей анализа определенных классов изделий;
- база данных об изделиях с классификацией изделий и перечнем их параметров;
- программа поиска изделий в соответствии с условиями, которые задает пользователь (класс изделия, поиск по значению параметра), и выводом результата в виде списка изделий.

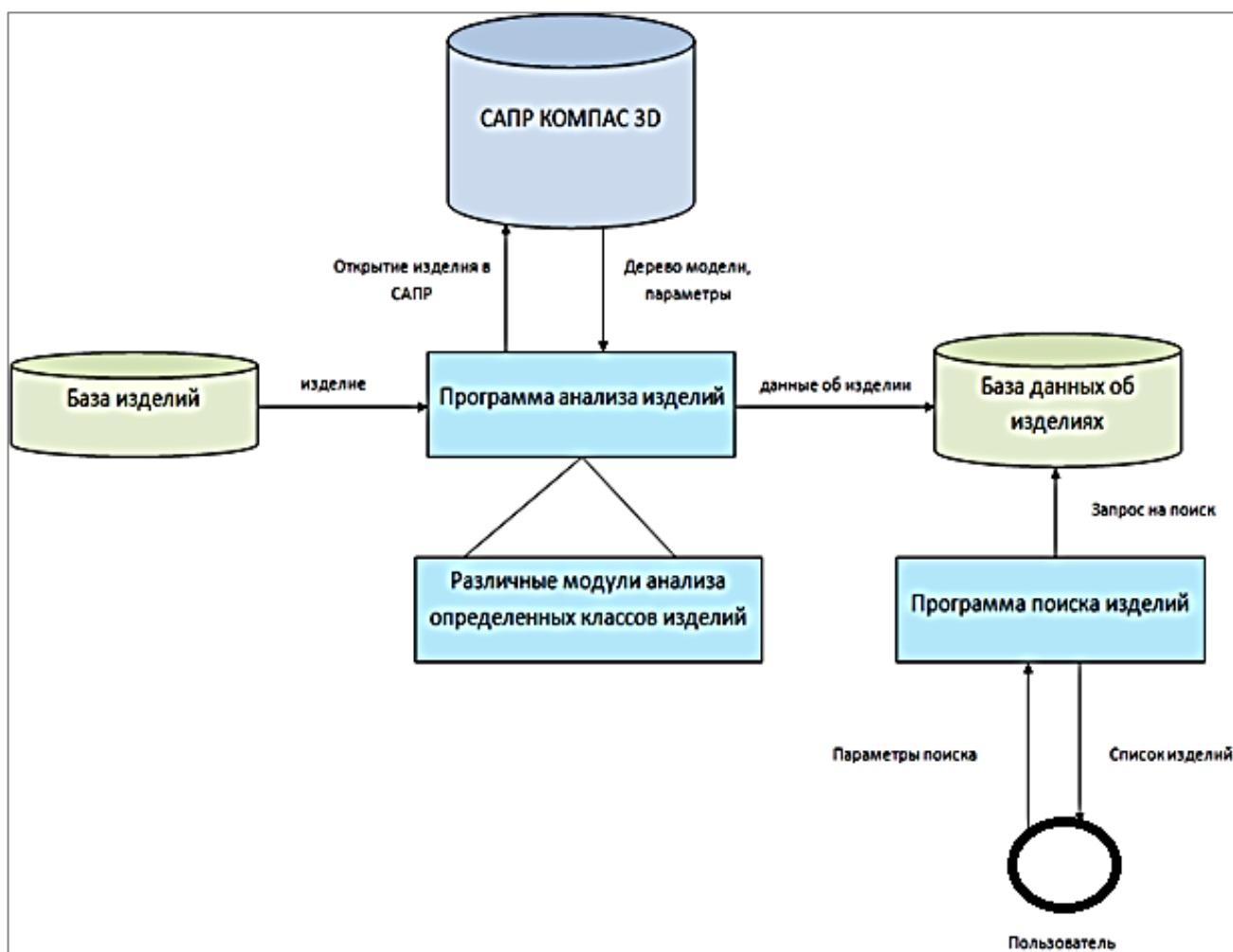


Рис. 4.7. Архитектура системы

Компоненты системы приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 Описание основных компонентов системы

Компонент системы	Описание
DObject.cs	Определение структуры коллекций в базе данных
DetailsParameter.cs	Определение структуры хранения параметров для каждого класса изделий
Manager.cs	Построение дерева трехмерной модели
DictEntity.cs	Формирование справочного материала по проектным операциям
Model.cs	Модель проектного решения
Aggregation.cs	Связь между элементами дерева модели

insertInDB	Запись документа в базу данных
params_to_file	Запись параметров трехмерной модели изделия в файл
search_onclass	Функция поиска изделий в базе данных в соответствии с пользовательскими условиями поиска
InsertInFileStore	Запись в файловое хранилище трехмерной модели изделия
ProcessList	Вывод результата поиска в табличном виде
ProcessTextBox	Вывод результата поиска в виде списка
TypeNode.cs	Определение типа элемента дерева модели, формирование его справочного описания
XmlExtends.cs	Формирование XML-файла с описанием проектных операций

Формирование классификации изделий со списком параметров

В результате анализа библиотеки «Стандартные изделия» (рисунок 4.8) автоматизированной системы трехмерного моделирования КОМПАС – 3D были выделены классы изделий объектов машиностроения, а также база изделий, которая представляет собой совокупность 3D-моделей, выполненных в САПР КОМПАС – 3D.

Разработанная программа анализа изделий позволяет классифицировать детали из базы изделий. Это осуществляется за счет извлечения дерева построения (дерево модели в КОМПАС) и проектного описания (какие операции были выполнены при построении детали) 3D-модели детали из САПР КОМПАС – 3D [41-47]. В результате анализа элементов дерева модели происходит сопоставление данной детали с определенным классом изделия.

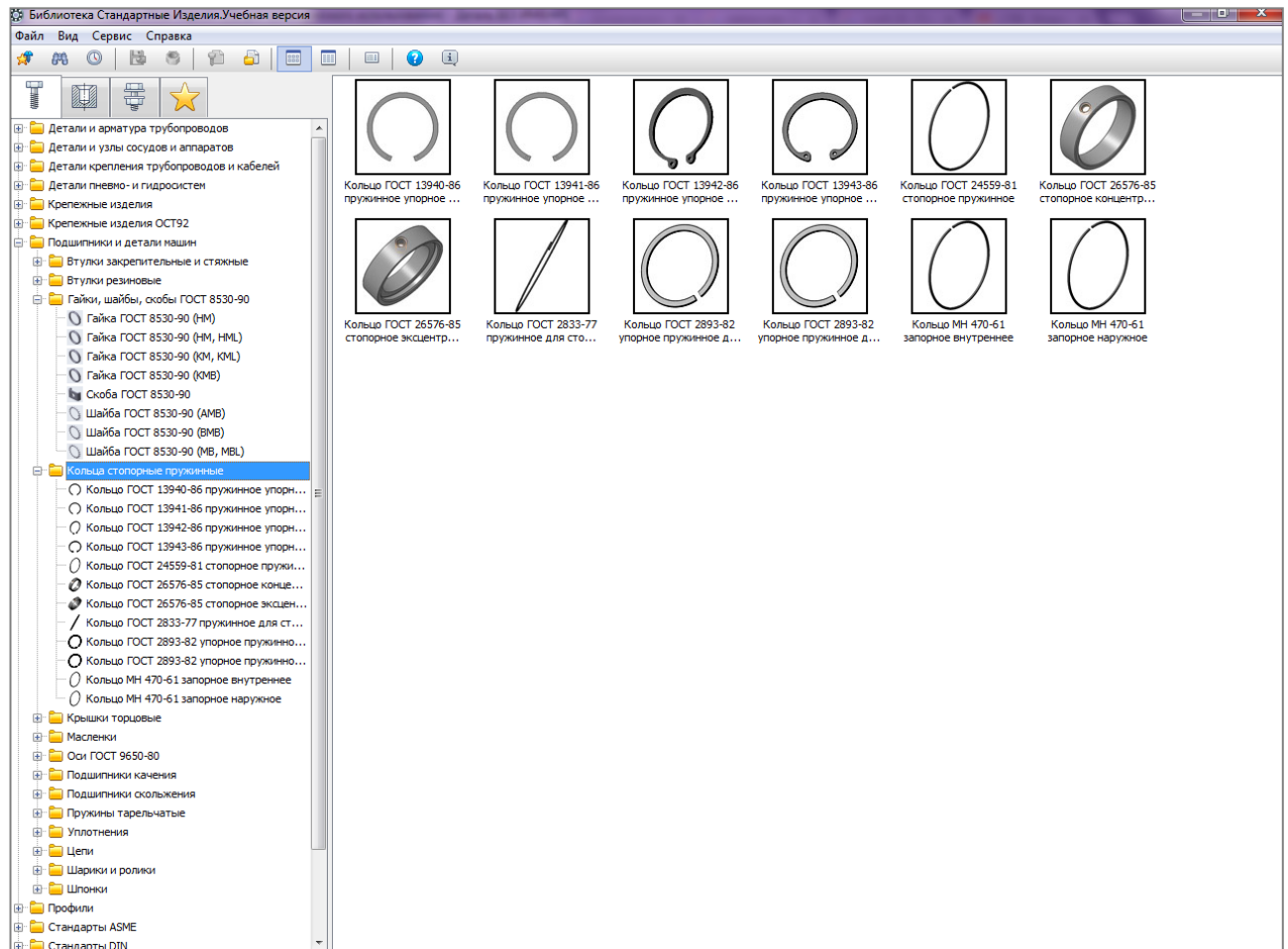


Рис. 4. 8 Библиотека «Стандартные изделия»

Для формирования списка параметров для трехмерных деталей и сборок был разработан авторский универсальный инструмент. Инструмент разработан на языке C#, взаимодействует с программным интерфейсом КОМПАС-3D – KOMPAS.Application.5. Данная программа, используя API КОМПАС – 3D, позволяет извлечь из 3D-модели машиностроительного объекта название, значения и описание параметров с сохранением в текстовый файл и базу данных об изделиях.

Алгоритм извлечения параметров 3D - модели описан в следующей процедуре (листинг 1):

1. инициализация API КОМПАС – 3D, получение названия файла;
2. с помощью метода `ksVariableCollection` получаем список параметров детали и их количество;

3. с помощью метода `ksVariable` заносим параметры в строковый массив в виде «название параметра, значение, описание»
4. массив строк с параметрами сохраняем в файл и базу данных об изделиях.

Листинг 1. Исходный код извлечения параметров 3D - модели

```
private void params_to_file(int numpart, string path, ksVariableCollection vr, string[]
s_param, string name_file, string result_file)
{
WriteTextAsync("\r\n", result_file, path);
WriteTextAsync("Для детали --- " + name_file + "--- выделены следующие
параметры: \r\n", result_file, path);
for (int i = 0; i < numpart; i++)
{
    ksVariable univar = vr.GetByIndex(i) as ksVariable; //параметр по индексу
    s_param[i] = univar.name + " = " + univar.value + " //" + univar.note +
"\r\n"; //имя, значение, описание параметра
    WriteTextAsync(s_param[i], result_file, path);
}
}
```

Разработка базы данных об изделиях

Для удобства хранения информации о проектных решениях машиностроительных объектов была разработана база данных, включающая классификацию изделий и перечень их параметров.

Хранение данных осуществляется в базе данных LiteDB, представляющую собой легковесную и быстросействующую документно-ориентированную базу данных, предназначенную для .NET. LiteDB не требует внешних серверов базы данных и хранит все данные в переносимом файле базы данных. В качестве данных она поддерживает обычные классы C#. LiteDB поддерживает файловое хранилище для хранения файлов. Кроме того, поддерживаются индексы для более быстрого доступа к данным [85].

LiteDB является безсерверной базой данных, поставляемой в одной DLL (менее 350 кб), полностью написанной в управляемом коде .NET C# (совместимом с .NET 3.5, 4.x, NETStandard 1.3 и 2.0).

LiteDB хранит данные в виде документов, которые являются JSON-подобными полями и парами значений. Документы представляют собой структуру данных без схемы. Каждый документ содержит пользовательские данные и структуру. LiteDB хранит документы в формате данных BSON (Binary JSON). BSON представляет собой двоичное представление JSON с дополнительной информацией о типе. В документах значение поля может быть любым из типов данных BSON, включая другие документы, массивы и массивы документов. BSON - это быстрый и простой способ сериализации документов в двоичном формате.

LiteDB организует документы внутри хранилищ, известных как коллекции. Каждая коллекция идентифицируется уникальным именем и содержит один или несколько документов, которые имеют одну и ту же схему. Для работы с документами используются методы коллекции, приведенные ниже.

- Insert - используется для добавления нового документа в коллекцию.
- Update - используется для обновления существующего документа.
- Delete - используется для удаления документа.
- FindById или Find - используется для запроса документа.
- Include - используется для заполнения свойств из других коллекций.
- EnsureIndex - используется для создания нового индекса, если он не существует.

LiteDB предоставляет FileStorage коллекцию для работы с файлами. Выделяют две специальные коллекции для разделения содержимого файла:

- `_files` коллекция хранит только ссылки на файлы и метаданные,
- `_chunks` коллекция хранит двоичные данные в кусках 1 МБ.

Файлы идентифицируются `_id` строковым значением со следующими правилами:

- начинается с буквы, числа, `_`, `-`, `$`, `@`, `!`, `+`, `%`;
- если содержит `/`, должна быть последовательность с символами.

FileStorage коллекция содержит следующие методы для работы с хранилищем базы данных LiteDB.

- Upload: отправка файла или потока в базу данных. Может использоваться с файлом или Stream. Если файл уже существует, содержимое файла перезаписывается.
- Download: получить файл из базы данных и скопировать в Stream параметр.
- Delete: удалить ссылку на файл и все фрагменты данных.
- Find: найти один или несколько файлов в _files коллекции. Возвращает LiteFileInfo класс, который может быть загружен после.
- SetMetadata: обновление метаданных хранящихся файлов. Этот метод не изменяет значение сохраненного файла. Он обновляет значение _files.metadata.
- OpenRead: найти файл _id и вернуть LiteFileStream для чтения содержимого файла в виде потока.

Запись документов в базу данных.

Для начала необходимо создать класс РОСО, который используется для создания строго типизированного документа.

```
public class DBObject {
    public int Id { get; set; } – уникальный идентификатор документа;
    public string Type { get; set; } – тип изделия;
    public string FileName { get; set; } – название файла с изделием;
    public string Material { get; set; } – материал изготовления изделия;
    public string[][] Parameters { get; set; } – массив параметров трехмерной
    модели;
}
```

Для каждого записываемого в базу данных документа создается экземпляр класса DBObject.

```
var detail = new DBObject {
```

```

Type = dtype,
FileName = name_file,
Material = material,
Parameters = new string[numpart][]
};

```

В соответствии с типом изделия выбирается таблица (коллекция) для записи.

```

var details = db.GetCollection<DBObject>("Rings");
var parameters = db.GetCollection<DetailsParameter>("RingsParameter");

```

В выбранную таблицу данные заносятся методом Insert. Трехмерная модель изделия, выполненного в САПР КОМПАС-3D, записывается в файловое хранилище FileStorage с помощью метода Upload(<путь к файлу>, <название файла>).

Разработанная база данных состоит из множества таблиц, соответствующих выделенным классам изделий («Кольцо», «Гайка», «Шайба» и др.) и списком параметров для каждого класса изделий. В общем виде таблица для определенного класса изделия имеет следующую структуру:

- Id – идентификатор параметра;
- Name – название параметра.

Так, например, для класса изделия «Кольцо» в результате анализа 3D-моделей из базы изделий было выделено 35 уникальных параметров, которые были занесены в базу данных в таблицу RingsParameter (рисунок 4.9).

Collections:		Result:	
DBObject			
RingsParameter			
[FILESTORAGE]			
		_id	Name
	►	1	Диаметр вала
		2	Внутренний диаметр свободного кольца
		3	Диаметр отверстия
		4	Толщина кольца
		5	Ширина кольца
		6	Ширина выреза свободного кольца
		7	Радиус скругления по ГОСТ 2893
		8	Внутренний диаметр кольца в канавке
		9	Наружный диаметр свободного кольца
		10	Ширина выреза
		11	Угол выреза
		12	Диаметр оси
		13	Диаметр канавки на валу
		14	Диаметр отверстия в ушке
		15	Условный параметр
		16	Высота ушка
		17	Ширина паза по исп.2-3
		18	Радиус скругления (не более)
		19	Радиус скругления ушка
		20	Эксцентриситет
		21	Диаметр посадочной поверхности корпуса
		22	Диаметр канавки в корпусе
		23	Диаметр внутренний
		24	Диаметр канавки по ГОСТ 13119
		25	Диаметр наружный
		26	Диаметр резьбы наружный
		27	Шаг резьбы

Рис. 4.9. Список параметров для класса изделия «Кольцо»

Информация о деталях из базы изделий храниться в базе данных в следующем виде:

- Id – идентификатор изделия;
- Type – класс изделия;
- FileName – название файла с 3D-моделью изделия;
- Parameters – массив параметров 3D-модели изделия.

Поиск изделий по базе данных на основе класса изделий и значению параметра

Программа поиска изделий по базе данных предназначена для нахождения тех проектных решений, которые удовлетворяют условию поиска. Пользователь

выбирает класс изделия, по которому необходимо осуществить поиск, после чего подгружаются параметры из базы данных об изделиях, относящиеся к выбранному классу изделия. Затем пользователь вводит необходимое значение параметра и выбирает критерий поиска: больше, меньше или равно заданного значения.

На основе введенных пользователем условий поиска программа делает выборку из базы данных и выводит результат на экран в виде списка изделий и их параметров (рисунок 4.10). Алгоритм поиска изделий из базы данных описан в следующей процедуре (листинг 2):

1. пользователь выбирает класс изделия для поиска;
2. подгружаются свойственные данному классу изделия параметры деталей;
3. пользователь выбирает параметр для поиска, задает его значение и выбирает условие поиска (<, >, =);
4. осуществляется запрос к базе данных, выбирается таблица, соответствующая выбранному классу изделий;
5. в найденной таблице осуществляется поиск по столбцу Parameters – массив параметров 3D-модели изделия;
6. найденные детали добавляются в текстовое поле richTextBox1 экранной формы программы в виде «количество найденных деталей, название детали, список ее параметров».

Листинг 2. Исходный код поиска по базе данных

```
richTextBox1.ResetText();
using (var db = new LiteDatabase(@"Data.db"))
{
    var rings = db.GetCollection<DBObject>("DBObject");

    var TypeQuery = rings.Find(Query.EQ("Type",
    comboBox1.Text)).ToArray();
    DBObject[] filteredQuery = TypeQuery;
    switch (comboBox3.Text)
    {
        case "=":
```

```

        filteredQuery = TypeQuery.Where(x =>
            x.Parameters.Any(y => (Compare(y[2], comboBox2.Text)) &&
(Convert.ToDouble(y[1]) == Convert.ToDouble(textBox1.Text)))).ToArray();
        break;
    case ">":
        filteredQuery = TypeQuery.Where(x =>
            x.Parameters.Any(y => (Compare(y[2], comboBox2.Text)) &&
(Convert.ToDouble(y[1]) > Convert.ToDouble(textBox1.Text)))).ToArray();
        break;
    case "<":
        filteredQuery = TypeQuery.Where(x =>
            x.Parameters.Any(y => (Compare(y[2], comboBox2.Text)) &&
(Convert.ToDouble(y[1]) < Convert.ToDouble(textBox1.Text)))).ToArray();
        break;
    default:
        filteredQuery = (comboBox2.Text.Equals("")) ? filteredQuery :
TypeQuery.Where(x => x.Parameters.Any(y => Compare(y[2],
comboBox2.Text))).ToArray();
        break;
    }
    richTextBox1.AppendText("По выбранному параметру найдено " +
filteredQuery.Length + " изделия(й)\r\n");
    richTextBox1.AppendText("\n");

```

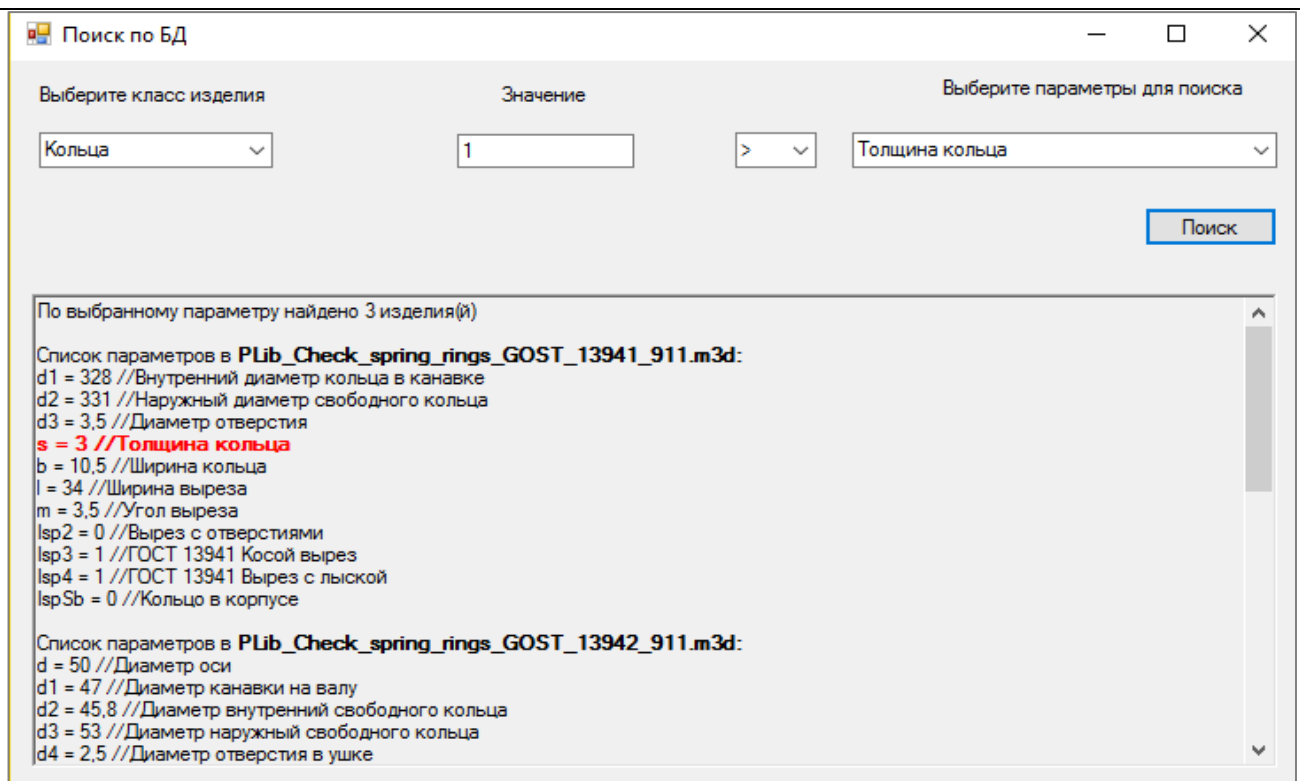


Рис. 4.10 Результат поиска по базе данных

4.4 Оценка эффективности деятельности проектировщика при использовании системы классификации машиностроительных изделий

Цель данного параграфа заключается в определении формульной зависимости, в которой рассчитывается время проектирования машиностроительных объектов с повторным использованием ранее спроектированных в САПР КОМПАС-3D трехмерных твердотельных изделий в зависимости от точности поиска 3D-моделей, времени поиска 3D-модели в базе изделий, степени покрытия изделиями классификации машиностроительных объектов.

Проектная деятельность без использования классификации изделий.

Пусть проектная деятельность заключается в конструировании трехмерной твердотельной сборки из N деталей. Тогда общее время конструирования сборки будет определяться по формуле:

$$T_h = \sum_{i=1}^N T_i + T_{link},$$

где N – количество трехмерных деталей для построения, входящих в сборку проектного решения,

T_i – время построения i -ой детали, входящей в сборку,

T_{link} – время сопряжения деталей в контексте сборки проектного решения САПР КОМПАС-3D.

Рассмотрим проектную деятельность проектировщика как процесс конструирования трехмерных машиностроительных объектов, состоящий из двух этапов: ручной поиск готовых трехмерных моделей в каталоге (электронный каталог предприятия); если модель не найдена, проектирование трехмерной модели с нуля.

Тогда время на ручной поиск готовых трехмерных моделей будет вычисляться по формуле:

$$TK_i = \sum_{n=0}^N [(T_{op} + T_{cl} + T_{pst}) * S_{i,n}],$$

где T_{op} – время на открытие проектировщиком трехмерной модели в САПР КОМПАС-3D,

T_{cl} – время на закрытие проектировщиком окна с трехмерной моделью в САПР КОМПАС-3D,

T_{pst} – время вставки и редактирования проектировщиком готовой трехмерной модели в проектное решение САПР КОМПАС-3D,

$S_{i,n}$ – флаг нахождения проектировщиком необходимой трехмерной модели в каталоге изделий.

Введем вероятность p – вероятность нахождения необходимой трехмерной детали в каталоге проектировщиком. Предположим, что в случае не нахождения детали проектировщик затрачивает время как на ручной поиск в каталоге, так и на проектирование трехмерной модели с нуля. Тогда время проектирования трехмерной модели будет равно:

$$T_h = \left[\sum_{i=1}^N (p_i * TK_i) + (1 - p_i) * T_i \right] + T_{link},$$

где TK_i – время на поиск проектировщиком i -ой трехмерной детали в каталоге изделий,

p_i – вероятность нахождения трехмерной детали в каталоге изделий,

$(1 - p_i)$ – вероятность построения трехмерной детали проектировщиком вручную с нуля.

Проектная деятельность с использованием проектировщиком системы классификации машиностроительных изделий, выполненных в САПР КОМПАС-3D.

Проектная деятельность заключается в использовании при конструировании системы классификации машиностроительных изделий, позволяющей выбрать из базы изделий те трехмерные объекты, которые удовлетворяют условиям поиска. Проектировщик выбирает класс изделий, выбирает параметр для поиска и задает его значение. Таким образом, время работы проектировщика с системой

классификации машиностроительных изделий вычисляется по следующей формуле:

$$T_w = T_{sc} + T_{db} + \sum_{i=0}^n (T_{pst,i} * S'_{i,n}),$$

где T_{sc} – время, затраченное проектировщиком при работе с системой классификации машиностроительных изделий: выбор класса изделия и параметра для поиска, установка значения параметра,

T_{db} – время поиска проектных решений в базе изделий,

$T_{pst,i}$ – время вставки и редактирования проектировщиком готовой трехмерной модели в проектное решение САПР КОМПАС-3D,

$S'_{i,n}$ – флаг нахождения проектировщиком необходимой трехмерной модели в системе классификации машиностроительных изделий.

Введем точность поиска A – вероятность нахождения необходимой трехмерной модели машиностроительного объекта, выполненного в САПР КОМПАС-3D, в системе классификации изделий. Также введем степень покрытия системой классификации машиностроительных изделий каталога электронных изделий предприятия D .

Тогда время поиска проектировщиком проектных решений в системе классификации машиностроительных изделий будет высчитываться по следующей формуле:

$$T_w = A * T_{sc} + D * T_{db} + \sum_{i=0}^n (T_{pst,i} * S'_{i,n}),$$

В случае не нахождения необходимой детали в системе классификации машиностроительных изделий проектировщик дополнительно затратит время на построение трехмерной модели изделия вручную с нуля:

$$T_{res} = T_w + T_h,$$

$$T_{res} = \sum_{i=1}^N \left\{ \left(A * T_{sc} + D * T_{db} + \sum_{j=0}^n (T_{pst,j} * S'_{j,n}) \right) + R_{i,N} * \right. \\ \left. * \left(\left[\sum_{k=1}^N (p_k * TK_k) + (1 - p_k) * T_k \right] + T_{link} \right) \right\},$$

$$S'_{j,n} = A * D,$$

$$R_{i,N} = 1 - A * D,$$

где $R_{i,N}$ - флаг необходимости ручного построения трехмерной модели изделия с нуля в САПР КОМПАС-3D.

Таким образом, время сокращения проектной деятельности проектировщика при конструировании трехмерных твердотельных машиностроительных объектов в САПР КОМПАС-3D с использованием разработанной системы классификации машиностроительных изделий будет вычисляться по формуле:

$$\Delta T = \frac{T_h - T_{res}}{T_h} = 1 - \frac{T_{res}}{T_h},$$

$$\Delta T = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ \left(A * T_{sc} + D * T_{db} + \sum_{j=0}^n (T_{pst,j} * S'_{j,n}) \right) + R_{i,N} * \left(\left[\sum_{k=1}^N (p_k * TK_k) + (1 - p_k) * T_k \right] + T_{link} \right) \right\}}{\left[\sum_{i=1}^N (p_i * TK_i) + (1 - p_i) * T_i \right] + T_{link}},$$

$$\Delta T = 1 - \left(\frac{A * T_{sc} + D * T_{db} + \sum_{i=0}^n (T_{pst,i} * S'_{i,n})}{\left[\sum_{i=1}^N (p_i * TK_i) + (1 - p_i) * T_i \right] + T_{link}} + R_{i,N} \right).$$

Примем следующие значения переменных: среднее время поиска проектных решений в базе изделий – 3 сек; среднее время вставки и редактирования проектировщиком готовой трехмерной модели в проектное решение – 30 сек; среднее время сопряжения деталей – 120 мин; среднее время на открытие проектировщиком трехмерной модели в САПР КОМПАС-3D – 5 сек; среднее время на закрытие проектировщиком окна с трехмерной моделью в САПР КОМПАС-3D – 3 сек; среднее время на выбор класса изделия для поиска и ввод параметров – 5 сек; количество деталей для просмотра проектировщиком после работы проектировщика с системой классификации машиностроительных изделий в среднем сокращается в 20 раз (т.е. $n = 0,05N$, на АО «Ульяновский

механический завод» насчитывается порядка 10000 трехмерных моделей машиностроительных объектов); точность поиска варьируется от 0,5 до 1; степень покрытия системой классификации машиностроительных изделий каталога электронных изделий предприятия – от 0,7 до 1; средняя вероятность нахождения проектировщиком трехмерной детали в каталоге изделий 0,8; среднее время построения проектировщиком трехмерной модели в САПР КОМПАС-3D – 300 минут.

Данные значения и допущения переменных обсуждались с конструкторами и проектировщиками АО «Ульяновский механический завод», которые подтверждают корректность принятых значений.

Расчет сокращения времени проектирования трехмерных машиностроительных объектов в САПР КОМПАС-3D приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Сокращение времени проектной деятельности проектировщика при использовании системы классификации изделий

№	Точность поиска в системе классификации машиностроительных объектов	Степень покрытия системой классификации машиностроительных изделий каталога электронных изделий предприятия	Вероятность нахождения проектировщиком необходимой трехмерной модели в системе классификации машиностроительных изделий	Вероятность необходимости ручного построения трехмерной модели изделия с нуля в САПР КОМПАС-3D	Сокращение времени проектной деятельности проектировщика
1	0,5	0,7	0,35	0,65	-39,1%
2	0,5	0,8	0,4	0,6	-30,4%
3	0,5	0,9	0,45	0,55	-21,6%
4	0,5	1	0,5	0,5	-12,9%
5	0,6	0,7	0,42	0,58	-26,9%
6	0,6	0,8	0,48	0,52	-16,4%
7	0,6	0,9	0,54	0,46	-6,0%
8	0,6	1	0,6	0,4	4,5%

№	Точность поиска в системе классификации машиностроительных объектов	Степень покрытия системой классификации машиностроительных изделий каталога электронных изделий предприятия	Вероятность нахождения проектировщиком необходимой трехмерной модели в системе классификации машиностроительных изделий	Вероятность необходимости ручного построения трехмерной модели изделия с нуля в САПР КОМПАС-3D	Сокращение времени проектной деятельности проектировщика
9	0,7	0,7	0,49	0,51	-14,7%
10	0,7	0,8	0,56	0,44	-2,5%
11	0,7	0,9	0,63	0,37	9,7%
12	0,7	1	0,7	0,3	21,9%
13	0,8	0,7	0,56	0,44	-2,5%
14	0,8	0,8	0,64	0,36	11,4%
15	0,8	0,9	0,72	0,28	25,4%
16	0,8	1	0,8	0,2	39,3%
17	0,9	0,7	0,63	0,37	9,7%
18	0,9	0,8	0,72	0,28	25,4%
19	0,9	0,9	0,81	0,19	41,0%
20	0,9	1	0,9	0,1	56,7%
21	1	0,7	0,7	0,3	21,9%
22	1	0,8	0,8	0,2	39,3%
23	1	0,9	0,9	0,1	56,7%
24	1	1	1	0	74,1%

В среднем сокращение времени проектной деятельности проектировщика в САПР КОМПАС-3D при использовании системы классификации изделий составляет 11%.

4.5 Оценка эффективности и качества обучения проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D при использовании разработанной АОС

Цель данного параграфа заключается в определении формульной зависимости, в которой рассчитывается качество обучения проектировщика при

использовании определенных обучающих систем, таких как: Moodle, IDEA, авторская АОС проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D.

Под качеством обучения проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D будем понимать соотношение поставленной цели и результата обучения. Тогда качество обучения проектировщика вычисляется по следующей формуле:

$$K = \frac{Res}{Goal} * 100\%,$$

где *Res* – результат обучения проектировщика,

Goal – поставленная цель обучения.

Под целью обучения (*Goal*) проектировщика подразумевается формирование профессиональных компетенций (ПК) в области конструирования машиностроительных объектов в САПР КОМПАС-3D. Для формирования каждой ПК проектировщику необходимо изучить определенной количество дидактических единиц учебного материала, выполнить *n* тестовых и *m* практических заданий за период времени *T*. Таким образом, цель обучения есть оценка ПК, приобретенных за время обучения проектировщика.

Оценка *i* компетенции зависит от оценок за выполненные тестовые и практические задания, а также от уровня освоения *i* компетенции, вычисляется по следующей формуле:

$$PK_i = L_i * \left(\sum_{j=1}^n O_j + \sum_{k=1}^m O_k \right),$$

где *n* – количество тестовых заданий, формирующих оценку *i* компетенции,

O_j – оценка выполнения *j* тестовых заданий учебного материала; *O_j* ∈ [0, 10],

L_i - уровень освоения *i* компетенции; по разработанной матрице компетентности проектировщика *L_i* ∈ [1, 4],

O_k - оценка выполнения практических заданий; *O_k* ∈ [0, 10],

m – количество практических заданий, формирующих оценку *i* компетенции.

Оценки *O_j* и *O_k* вычисляются по следующей формуле:

$$O_j = \frac{1}{c} * \sum_{a=1}^c Pr_a ; O_k = \frac{1}{c} * \sum_{b=1}^c Pz_b ,$$

где c – количество компетенций, связанных с j и k дидактическими единицами учебного материала,

Pr_a – средняя оценка за время обучения и выполнения тестовых заданий проектировщиком,

Pz_b – средняя оценка за выполнение практических заданий проектировщиком.

Таким образом, оценка цели обучения (*Goal*) проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D формируется как сумма оценок ПК и вычисляется по следующей формуле:

$$Goal = \sum_{i=1}^I PK_i ,$$

$$Goal = \sum_{i=1}^I L_i * \left[\sum_{j=1}^{n_i} \frac{1}{c_j} * \sum_{a=1}^{c_j} Pr_a + \sum_{i=1}^{m_i} \frac{1}{c_m} * \sum_{b=1}^{c_m} Pz_b \right] ,$$

где $I = 20$ – количество компетенций проектировщика, выделенных в рамках диссертационного исследования,

$n = 10$ – количество тестовых заданий, необходимых выполнить проектировщику в процессе обучения,

$m = 5$ – количество практических заданий, необходимых выполнить проектировщику в процессе обучения,

$c = 2$ – количество компетенций, связанных с дидактической единицей учебного материала,

уровень освоения компетенции $L_i \rightarrow 4$, а оценки за тестовые и практические задания, выполненные проектировщиком, Pr_a и $Pz_b \rightarrow 10$.

Далее рассчитаем качество обучения проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D при использовании следующих АОС: Moodle, IDEA, авторская АОС проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D.

Оценка качества обучения в системе Moodle

Оценка процесса обучения в системе Moodle строится на основе выполнения, как правило, 4 тестовых заданий (2 промежуточных теста и 2 итоговых теста) и 1 практического задания. Количество компетенций, связанных с отдельным учебным материалом изучения равно 1. В системе Moodle при обучении используются одноуровневые компетенции, причем компетенции проектировщика отсутствуют. Для оценки качества обучения с использованием данной системы примем количество компетенций равное 20 (компетенции проектировщика, выделенные в рамках диссертационного исследования).

Таким образом, результат обучения проектировщика с использованием системы Moodle вычисляется по следующей формуле:

$$Res = \sum_{i=1}^{20} \left(\sum_{j=1}^4 Pr_j + Pz_i \right),$$

где Pr_j и $Pz_i \in [0, 10]$.

Примем, что средние оценки за выполнение проектировщиком тестовых и практических заданий варьируются в диапазоне от 5 до 10.

Результат расчета качества обучения с использованием системы Moodle приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Оценка качества обучения проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D с использованием системы Moodle

№	Средняя оценка за выполнения тестовых заданий, <i>Pr</i>	Средняя оценка за выполнение практических заданий, <i>Pz</i>	Результат обучения, <i>Res</i>	Цель обучения, <i>Goal</i>	Качество обучения, <i>K (%)</i>
1)	5	5	500	1500	33
2)	5	6	520	1600	33
3)	6	6	600	1800	33

№	Средняя оценка за выполнения тестовых заданий, <i>Pr</i>	Средняя оценка за выполнение практических заданий, <i>Pz</i>	Результат обучения, <i>Res</i>	Цель обучения, <i>Goal</i>	Качество обучения, <i>K (%)</i>
4)	6	7	620	1900	33
5)	7	7	700	2100	33
6)	7	8	720	2200	33
7)	8	8	800	2400	33
8)	8	9	820	2500	33
9)	9	9	900	2700	33
10)	9	10	920	2800	33
11)	10	10	1000	3000	33

Таким образом, при использовании системы Moodle для обучения проектировщика процессам конструирования машиностроительных изделий в САПР КОМПАС-3D результат обучения равен 33% от поставленной цели.

Оценка качества обучения в системе IDEA

Оценка обучения проектировщика в системе IDEA строится на основе выполнения 20 заданий (10 тестовых и 10 практических заданий) [168]. В процессе обучения используются одноуровневые компетенции, причем компетенции проектировщика отсутствуют. Для оценки качества обучения с использованием данной системы прием количество компетенций равно 20 (компетенции проектировщика, выделенные в рамках диссертационного исследования). Количество связанных компетенций с учебным материалом равно 3, имеется несколько стратегий обучения: медленная, нормальная и быстрая.

Таким образом, результат обучения проектировщика с использованием системы IDEA вычисляется по следующей формуле:

$$Res = \sum_{i=1}^{20} \left[\frac{1}{3} * \sum_{j=1}^{10} \sum_{a=1}^3 Pr_{a,j} + \frac{1}{3} * \sum_{k=1}^{10} \sum_{b=1}^3 Pz_{b,j} \right],$$

где Pr_j и $Pz_i \in [0, 10]$.

Примем, что средние оценки за выполнение проектировщиком тестовых и практических заданий варьируются в диапазоне от 5 до 10.

Результат расчета качества обучения с использованием системы IDEA приведен в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Оценка качества обучения проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D с использованием системы IDEA

№	Средняя оценка за выполнения тестовых заданий, Pr	Средняя оценка за выполнение практических заданий, Pz	Результат обучения, Res	Цель обучения, $Goal$	Качество обучения, $K (\%)$
1)	5	5	660	1500	44
2)	5	6	726	1600	45
3)	6	6	792	1800	44
4)	6	7	858	1900	45
5)	7	7	924	2100	44
6)	7	8	990	2200	45
7)	8	8	1056	2400	44
8)	8	9	1122	2500	45
9)	9	9	1188	2700	44
10)	9	10	1254	2800	45
11)	10	10	1320	3000	44

Таким образом, при использовании системы IDEA для обучения проектировщика процессам конструирования машиностроительных изделий в

САПР КОМПАС-3D результат обучения в среднем равен 44% от поставленной цели.

Оценка качества обучения в авторской АОС

Оценка обучения проектировщика с использованием авторской АОС строится на основе выполнения проектировщиком 5 тестовых заданий и 8 практических заданий. Выделено 20 компетенций проектировщика в области конструирования машиностроительных объектов в САПР КОМПАС-3D, каждая компетенция имеет 4 уровня освоения. Количество компетенций, связанных с отдельной дидактической единицей учебного материала определяется по формуле:

$$c = \frac{I * L}{g},$$

где L – количество уровней освоения компетенций проектировщика; $L = 4$,

I – количество выделенных компетенций; $I = 20$,

g – количество групп компетенций (на основе анализа рисунка 3.4); $g = 16$,

$c = 5$ – коэффициент связанности компетенций.

Таким образом, результат обучения проектировщика с использованием авторской АОС вычисляется по следующей формуле:

$$Res = \sum_{i=1}^{20} 4 * \left[\frac{1}{5} * \sum_{j=1}^5 \sum_{a=1}^5 Pr_{a,j} + \frac{1}{5} * \sum_{k=1}^8 \sum_{b=1}^5 Pz_{b,k} \right],$$

где Pr_j и $Pz_i \in [0, 10]$.

Примем, что средние оценки за выполнение проектировщиком тестовых и практических заданий варьируются в диапазоне от 5 до 10.

Результат расчета качества обучения с использованием системы IDEA приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Оценка качества обучения проектировщика проектной деятельности в САПР КОМПАС-3D с использованием авторской АОС

№	Средняя оценка за выполнения тестовых заданий, <i>Pr</i>	Средняя оценка за выполнение практических заданий, <i>Pz</i>	Результат обучения, <i>Res</i>	Цель обучения, <i>Goal</i>	Качество обучения, <i>K (%)</i>
1)	5	5	1300	1500	87
2)	5	6	1460	1600	91
3)	6	6	1560	1800	87
4)	6	7	1720	1900	91
5)	7	7	1820	2100	87
6)	7	8	1980	2200	90
7)	8	8	2080	2400	87
8)	8	9	2240	2500	90
9)	9	9	2340	2700	87
10)	9	10	2500	2800	90
11)	10	10	2600	3000	87

Таким образом, при использовании авторской АОС для обучения проектировщика процессам конструирования машиностроительных изделий в САПР КОМПАС-3D результат обучения в среднем равен 87% от поставленной цели.

Выполнив теоретическую оценку качества обучения рассмотренных обучающих систем, можно сделать вывод о том, что при использовании авторской АОС результат обучения в большей мере соответствует поставленной цели. Отсюда следует, что использование разработанной АОС повышает эффективность и качество обучения проектировщика процессам конструирования трехмерных твердотельных машиностроительных изделий в САПР КОМПАС-3D.

4.6 Выводы и рекомендации

1. Разработанные программные средства автоматизированного анализа проектных решений и обучения проектировщика позволили апробировать на практике разработанные модели, методы и алгоритмы и в результате проведенных вычислительных экспериментов подтвердили свою значимость.

2. Разработанная система обеспечивает управление анализом проектных решений, позволяет классифицировать изделия машиностроительных объектов, а также имеет возможность просмотра рекомендаций.

3. На примере системы трехмерного проектирования КОМПАС – 3D предлагается упрощенный вариант мониторинга, проверки и поиска проектных решений. Архитектура системы состоит из следующих частей: база изделий; программа анализа изделий - состоит из различных модулей анализа определенных классов изделий; база данных об изделиях с классификацией изделий и перечнем их параметров; программа поиска изделий в соответствии с условиями, которые задает пользователь (класс изделия, поиск по значению параметра), и выводом результата в виде списка изделий.

4. В результате анализа библиотеки «Стандартные изделия» автоматизированной системы трехмерного моделирования КОМПАС – 3D были выделены классы изделий объектов машиностроения, а также база изделий, которая представляет собой совокупность 3D-моделей, выполненных в САПР КОМПАС – 3D.

5. Предложена теоретическая оценка эффективности деятельности проектировщика при использовании системы классификации машиностроительных изделий. В среднем сокращение времени проектной деятельности проектировщика в САПР КОМПАС-3D при использовании системы классификации изделий составляет 11%.

6. Проведен анализ эффективности метода структурно-параметрического анализа проектных решений, позволяющего уменьшить количество объектов в дереве проектного решения и уменьшить сложность получаемых программ для станков с ЧПУ.

7. Предложена теоретическая оценка эффективности и качества обучения проектировщика при использовании разработанной модели компетенций и алгоритма формирования персонифицированной траектории обучения. Результат обучения в среднем равен 87% от поставленной цели обучения, что значительно выше результатов обучения в системах Moodle (33%) и IDEA(44%).

8. Рекомендуется использование разработанного программного комплекса для повышения качества проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, а также повышения эффективности и качества обучения проектировщика изделий машиностроения.

9. На программные продукты получен ряд свидетельств Роспатента [169, 170].

Заключение

Цель диссертационной работы - повышение качества проектных решений при конструировании трехмерных объектов в САПР КОМПАС-3D – достигнута.

Получены следующие результаты.

1. Предложен новый метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций, отличающийся анализом дерева модели проектного решения и анализом операций объектов трехмерного моделирования. Метод позволяет сократить время проектной деятельности проектировщика в САПР КОМПАС-3D в среднем на 11%.

2. Предложен новый метод автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений на основе уже имеющихся фактов и правил, отличающийся анализом зависимости между операциями твердотельного моделирования в САПР КОМПАС-3D и позволяющий формировать новые правила для анализа проектных решений.

3. Предложена ассоциативно ориентированная модель компетенций проектировщика, отличающаяся установлением взаимосвязей между знаниями, умениями и навыками, связанных с предметной областью автоматизированного проектирования машиностроительных объектов, и позволяющая сформировать последовательность освоения компетенций и адаптировать процесс обучения автоматизированному проектированию в САПР КОМПАС-3D.

4. Предложен алгоритм формирования персонифицированной траектории обучения, отличающийся использованием ассоциативно-ориентированной модели компетенций проектировщика и позволяющий повысить эффективность и качество обучения.

5. Разработана и реализована архитектура автоматизированной системы анализа проектных решений САПР и обучения проектировщика с поддержкой персонифицированного обучения практическим задачам и освоения компетенций проектировщиком, а также позволяющей оптимизировать проектные решения с целью сохранения и повторного использования.

Список литературы

1. Weber G., Brusilovsky P. ELM-ART – An Interactive and Intelligent Web-Based Electronic Textbook // International Journal of Artificial Intelligence in Education. – 2016. – V. 26. – pp. 72–81.
2. Weber G., Möllenberg A. ELM-PE: A knowledge-based programming environment for learning LISP // Proceedings of ED-MEDIA '94. – Vancouver, Canada. – pp. 557-562.
3. Kabassi K., Virvou M. Using Web Services for Personalised Web-based Learning // Educational Technology & Society. – 2003. – № 6(3). – pp. 61-71.
4. Lesser V. Multiagent Systems: An Emerging Subdiscipline of AI // ACM Computing Surveys. – 1995. – № 27(3). – pp. 340-342.
5. El-Beltagy S., De Roure D., Hall W. A Multiagent system for Navigation Assistance and Information Finding [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.40.1739&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 18.09.2016).
6. Rich E. Users are individuals: individualizing user models // International Journal of Human-Computer Studies. – 1983. – № 51. – pp. 323-338.
7. Warendorf K., Tan C. ADIS-An animated data structure intelligent tutoring system or Putting an interactive tutor on the World Wide Web [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/AIED97_workshop/Warendorf/Warendorf.html (дата обращения: 18.09.2016).
8. Ohlsson S. Constraint-Based Student Modeling // Journal of Artificial Intelligence in Education. – 1994. – № 3(4). – pp. 429-447.
9. Warendorf K., Tan C. Constrained-Based Student Modeling for an Intelligent Tutoring System on Data Structures // to appear in Proceedings of ICICS, Singapore [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/652148/> (дата обращения: 18.09.2016).
10. Vassileva J. Dynamic Course Generation on the WWW // Proceedings of AIED'97, the Eighth World Conference on Artificial Intelligence in Education [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://pdfs.semanticscholar.org/b131/92703a4bae0e4a31d73164494db17a786843.pdf>
(дата обращения: 18.09.2016).

11. Diessel Th., Lehmann A., Vassileva J., Individualised Course Generation: A Marriage Between CAL and ICAL // Computers Education. – 1994. – V. 22, №. 1(2). – pp. 57-64.

12. Пантелеев Е.Р., Шмелева И.А. Персональная адаптация программ методической WEB-поддержки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ispu.ru/files/130-137.pdf> (дата обращения: 18.09.2016).

13. Пантелеев Е.Р. Среда разработки программ дистанционного обучения и профильного тестирования ГИПЕРТЕСТ: логистическая модель и архитектура // Информационные технологии. – 2001. – № 5. – С. 30–36.

14. Radwan N. An Adaptive Learning Management System Based on Learner's Learning Style // International Arab Journal of Information Technology. – 2014. – № 3(4). – pp. 228-234.

15. Hanan E., Khairuddin H. Online learning International Conference on Advances in the Internetstyle and e-learning approaches // Processing, Systems and Interdisciplinary Research. – 2006.

16. Harrington, R., Loffredo, D.A. MBTI personality type and other factors that relate to preference for online versus face-to-face instruction // Internet And Higher Education at Science Direct. – 2010. – pp. 89–95.

17. Klasnja-Milicevic A., Vesin B., Ivanovic M., Budimac Z. E-Learning personalization based on hybrid recommendation strategy and learning style identification // Computers & Education. – 2011. – V. 56. – pp. 885-899.

18. Dikovic L. Applications GeoGebra into teaching some topics of mathematics at the college level // Computer Science and Information Systems – ComSIS. – 2009. – № 6(2). – pp. 191–203.

19. Klasnja-Milicevic A., Vesin B., Ivanovic M., Budimac Z. Integration of recommendations and adaptive hypermedia into java tutoring system // Computer Science and Information Systems. – 2011. – № 8(1). – pp. 211-224.

20.Коляда М.Г. Виды моделей обучаемых в автоматизированных системах обучения // Искусственный интеллект. – 2008. – № 2. – С. 28-33.

21.Зайцева Л.В. Методы и модели адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения // Educational Technology & Society. – 2003. – № 6(4). – С. 204-211.

22.Глушань В.М., Лященко Н.И. К вопросу о структурном синтезе компьютерных обучающих контролирующих систем // Вестник ТГПИ. Физико-математические и естественные науки. – 2010. – № 1. С. – 136-143.

23.Атанов Г.А., Пустынникова И.Н. Обучение и искусственный интеллект, или Основы современной дидактики высшей школы // Донецк: Изд-во ДОУ. – 2002. – С. 504.

24.Рыбина Г.В. Интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 22-46.

25.Goldstein I. The Genetic graph: a representation for the evolution of procedural knowledge // Intern. J. Man-Machine Studies. – 1979. – V. 11. – № 1. – pp. 51-77.

26.Niu X. Purpose Based Learner Modelling [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://madmuc.usask.ca/Pubs/880-final-xiaolin.pdf> (дата обращения: 18.09.2016).

27.Щеголькова В.А., Любчик В.А., Рудень Р.Н. Модель ученика в компьютерных обучающих системах [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/1581/1/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C%20%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B2%20%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%87%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D1%85%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D1%85.doc> (дата обращения: 18.09.2016).

28. Аннотация рабочей программы «Основы САПР» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://portal.tpu.ru/fond2/download_doc/58967/osnovy_sapr_2014_

s_podpisyami.pdf (дата обращения: 13.03.2017).

29. Дополнительная профессиональная программа повышения квалификации «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.voenmeh.ru/images/docs/DPO/sistemy-avtomatizirovannogo-proektirovaniya-tehnologicheskikh-processov.pdf> (дата обращения: 13.03.2017).

30. Сертификационные тесты по программным продуктам АСКОН [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://certification.ascon.ru/cert_product/ (дата обращения: 13.03.2017).

31. Проектирование и разработка конструкторской документации в системе КОМПАС-График [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://certification.ascon.ru/source/documents/certification/2018/M3-instrukcia.pdf> (дата обращения: 13.03.2017).

32. Трехмерное моделирование деталей и сборочных единиц в системе КОМПАС-3D [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://certification.ascon.ru/source/documents/certification/2018/M2-instrukcia.pdf> (дата обращения: 13.03.2017).

33. Профессиональный стандарт: конструктор в автомобилестроении [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/reestr-professionalnykh-standartov/index.php?ELEMENT_ID=45555 (дата обращения: 13.03.2017).

34. Проект Приказа Минтруда России «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по компьютерному конструированию» (подготовлен Минтрудом России) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=PNPA;n=10585;dst=100203#022299154206852956> (дата обращения: 13.03.2017).

35. Mustafa Y., Sharif S. An approach to adaptive e-learning hypermedia system based on learning styles (AEHS-LS): Implementation and evaluation // International Journal of Library and Information Science. – 2011. – V. 3. – №. 1. – pp. 15-28.

36. Mahnane L., Laskri M. T., Trigano P. A model of adaptive e-learning hypermedia system based on thinking and learning styles // *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*. – 2013. – V. 8. – №. 3. – pp. 336-350.

37. Peña-Ayala A. Intelligent and Adaptive Educational-Learning Systems // *Smart innovation, systems and technologies*. – 2013. – pp. 536.

38. Бригаднов С.И. Разработка базы проектных решений машиностроительных объектов / С. И. Бригаднов, М. Е. Уханова, И. С. Ионова, А. Г. Игонин // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. – 2017. – № 12. – С. 79-85.

39. Афанасьев А.Н. Разработка автоматизированной системы анализа проектных решений в САПР КОМПАС-3D / А. Н. Афанасьев, С. И. Бригаднов, Д. С. Канев // *Автоматизация процессов управления*. – 2018. – № 1(51). – С. 108-117.

40. Afanasyev A. N. Development of Expert System for the Evaluation of Student Action in Virtual Worlds and Training Systems / A. N. Afanasyev, N. N. Voit, D. S. Kanev, S. I. Brigadnov // *Information Technology in Industry 2018. Issues: 1-4*.

41. Бригаднов С.И. Разработка средств интеграции LMS Moodle и САПР КОМПАС // *Вестник КГЭУ, Казань*. – 2014. – С. 301-306.

42. Бригаднов С.И. Интеграция пакетов САПР и технологической платформы обучения // *Информатика и вычислительная техника, сборник научных трудов 6-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ 2014, Ульяновск*. – 2014. – С. 85-87.

43. Афанасьев А.Н. Разработка RV-грамматики для диаграммного языка ВРМН / А.Н.Афанасьев, С.Ю.Кириллов, С.И. Бригаднов // *Сборник научных трудов VII Всероссийской школы-семинара аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП-2015, Ульяновск*. – 2015. – С. 68-75.

44. Афанасьев А.Н. Метод генерации тестов для тренировки анализаторов диаграммных языков / А.Н.Афанасьев, Д.Г. Брагин, С.И. Бригаднов // *Сборник научных трудов VII Всероссийской школы-семинара аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП-2015, Ульяновск*. – 2015. – С. 239-244.

45. Бригаднов С.И. Разработка системы корпоративного обучения САПР на базе платформы MOODLE // Электронное обучение в непрерывном образовании, Ульяновск. – 2015. – Т. 1. – № 1 (2). – С. 34-37.

46. Бригаднов С.И. Система корпоративного обучения САПР объектов машиностроения на базе платформы MOODLE // Конкурс научно-технического творчества молодежи (НТТМ) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ify2015.ulstu.ru/sites/default/files/Brigadnov.pdf> (10.10.2016)

47. Бригаднов С.И. Разработка системы корпоративного обучения САПР на базе платформы MOODLE // ВУЗОВСКАЯ НАУКА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ, Сборник материалов 50-й научно-технической конференции (25 января – 30 января 2016 года) Часть 3. г. Ульяновск. – С. 295-297.

48. Бригаднов С.И. Методы и модели адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения // Электронное обучение в непрерывном образовании, Ульяновск. 2016. № 1 (3). С. 165-169.

49. Афанасьев А.Н. Рекомендательная система для САПР КОМПАС / А.Н.Афанасьев, С.И. Бригаднов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2016) труды XVI-ой международной молодёжной конференции. – 2016. – С. 33-36.

50. Афанасьев А.Н. МЕТАКОМПИЛЯТОР RV-ГРАММАТИК / Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Гайнуллин Р.Ф., Хородов В.С., Шаров О.Г., С.И. Бригаднов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2016. – № 4 (76). – С. 48-52.

51. Бригаднов С.И. Рекомендательная система для САПР КОМПАС-3D // МОЛОДЕЖНЫЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ Пятый Международный (Россия, г. Ульяновск, 14–16 сентября 2016 года) Сборник аннотаций проектов. – С. 56-59.

52. Бригаднов С.И. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ (АОС) // Современные

технологии учебного процесса в вузе Тезисы докладов научно-методической конференции 25 – 30 января 2016 года. – С. 109-111.

53. Бригаднов С.И. Разработка пользовательского интерфейса рекомендательной системы для САПР КОМПАС-3D // IV Международная научно-практическая конференция «Электронное обучение в непрерывном образовании 2017», г. Ульяновск. – С. 48-53.

54. Бригаднов С.И. РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА САПР КОМПАС-3D С ИНТУИТИВНО-ПОНЯТНЫМ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИМ ИНТЕРФЕЙСОМ // IX Всероссийская научно-техническая конференция аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2017. – С. 57-60.

55. Brigadnov S.I. Development of associative-oriented models of competencies and trainees in automated training systems // INTERACTIVE SYSTEMS: Problems of Human - Computer Interaction Collection of scientific papers. – 2017. – P. 185-189.

56. Бригаднов С.И. АНАЛИЗ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ // Сборник научных трудов IX Всероссийской школы-семинара аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП-2017. – Ульяновск. – 2017. – С. 93-100.

57. Кириллов С.Ю. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ЦЕЛОСТНОСТИ И СОГЛАСОВАННОСТИ ДИАГРАММАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПОТОКОВ РАБОТ НА ОСНОВЕ ВРЕМЕННОЙ RV-ГРАММАТИКИ / С.Ю. Кириллов, Н.Н. Войт, Р.С. Молотов, А.С. Степанов, Е.Ю. Воеводин, С.И. Бригаднов // Сборник научных трудов IX Всероссийской школы-семинара аспирантов, студентов и молодых ученых ИМАП-2017. – Ульяновск. – 2017. – С. 135-139.

58. Бригаднов С.И. Разработка комплексной автоматизированной интеллектуальной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика // V Международная научно-практическая конференция «Электронное обучение в непрерывном образовании 2018», г. Ульяновск. – С. 136 – 142.

59. Ключевые термины ФГОС [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ulsu.ru/com/schools/opalihin/hfurj/SDVGFDR/> (дата обращения: 13.03.2017).
60. КОМПАС-3D V17. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – [Б.м]: Аскон, 2017.
61. КОМПАС-МАСТЕР [Электронный ресурс]. – [Б.м]: Аскон, 2017.
62. Um D. Introduction to CAD //Solid Modeling and Applications. – 2018. – pp. 51-91.
63. Hadj R., Belhadj I., Gouta C., Trigui M. An interoperability process between CAD system and CAE applications based on CAD data // International Journal for Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). – 2017. – pp. 1-20.
64. Eltaief A., Louhichi B., Remy S. Associations management and change propagation in the CAD assembly // Computers in Industry. – V. 98. – 2018. – pp. 134-144.
65. Łukaszewicz K. Use of CAD Software in the Process of Virtual Prototyping of Machinery // Procedia Engineering. – V. 182. – 2017. – pp. 425-433.
66. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования / И. П. Норенков. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 336 с.
67. NX for Design: Advantages and Benefits [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/for-design/advantages-benefits.shtml> (дата обращения: 27.12.2017).
68. 3D Systems Software [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.3dsystemssoftware.it/ShowProduct.aspx?ID=Cimatron> (дата обращения: 27.12.2017).
69. 3D CAD Software Creo PTC [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo> (дата обращения: 27.12.2017).
70. CADDy++ mechanical professional [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://english.datasolid.com/products/caddy-mechanical-design/caddy-mechanical-design-professional?showall=&start=1> (дата обращения: 27.12.2017).

71. CATIA Engineering [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v6/portfolio/d/digital-product-experience/s/catia-engineering/> (дата обращения: 27.12.2017).

72. Пинков А.П. Development of methods and means of computer systems for machine objects CAD training А.П. Пинков, А.Н. Афанасьев, Н.Н. Войт, Д.С. Канев // Автоматизация процессов управления. – 2017. – № 1 (47). – С. 75-84.

73. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка и исследование средств извлечения из САПР КОМПАС-3D и представление в веб-системах конструкторского описания, 3D-моделей промышленных деталей и сборок // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2015): тр. междунар. конф. под ред. А.В. Толока. – М.: Аналитик, 2015. – С. 208-212.

74. Inventor-3D-САПР для машиностроительного проектирования, Autodesk [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview/> (дата обращения: 27.12.2017).

75. Интерпроком: портфель решений CATIA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://interprocom.ru/products/dassault-systems/portfel-resheniy-catia/> (дата обращения: 27.12.2017).

76. КОМПАС-Эксперт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://machinery.ascon.ru/software/developers/items/?prpid=1253> (дата обращения: 27.12.2017).

77. Бойков В.Н. INDORCAD 10 как BIM-инструмент анализа проектных решений и обнаружения коллизий В.Н. Бойков, Н.С. Мирза, Д.А. Петренко, А.В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2 (5). – С. 108-113.

78. Engineering Simulation & 3D Design, ANSYS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ansys.com/> (дата обращения: 27.12.2017).

79. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Интеллектуальная обучающая система концептуальному проектированию автоматизированных систем // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12. – № 4-2. – С. 465-468.

80. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Компонентная автоматизированная обучающая система САПР на основе гибридной нейронной сети // Автоматизация и современные технологии. – 2009. – № 3. – С. 14-18.

81. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Организация когнитивной автоматизированной системы (КАОС) промышленных пакетов САПР // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2009. – Т. 16. – № 1. – С. 405.

82. Афанасьев А.Н., Войт Н.Н. Разработка компонентно-сервисной платформы обучения: анализ и разработка компонента метода диагностики проектных характеристик обучаемого инженера с помощью диаграмм UML // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2012. – № 4 (60). – С. 43-46

83. Войт Н.Н., Афанасьев А.Н. Разработка алгоритмического, методического и информационного обеспечения АОС для САПР КОМПАС-3D // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2005. – № 3 (31). – С. 50-56.

84. Сладковский А., Кузьмин Е., Шалаева О. Информационная система визуализации 3D-моделей на базе Intergraph SmartPlant// CADMASTER. – 2013. – №3(70). – С. 58-61.

85. Использование NoSQL-хранилища LiteDB в .NET [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://metanit.com/sharp/articles/ado.net/1.php> / (дата обращения: 21.04.2017).

86. Буль Е. Е. Обзор моделей студента для компьютерных систем обучения // Образовательные технологии и общество. – 2003. – Т. 4(6). – С. 245-250

87. Растринин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. - Рига : Зинатне, 1986. – 160 с.

88. Zaiceva L., Bule J., Kuplis U. Advanced e-learning system development. // Proceedings of the International Conference on Advanced Learning technologies and Applications (ALTA'03). 11-12 September. – Kaunas, Lithuania. – 14-18 pp.

89. Зайцева Л.В. Модели и методы адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения // Educational Technology & Society. – 2003. – Nr. 6(3). – С. 204-212.
90. Брызгалин В.В. Вечкина А.В. Грачева Е.В. СОВРЕМЕННЫЕ ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6 – С. 85-86
91. Дошина А. Д. Экспертная система. Классификация. Обзор существующих экспертных систем // Молодой ученый. – 2016. – №21. – С. 756-758.
92. Примеры экспертных систем [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.aiportal.ru/articles/expert-systems/examples-expsys.html> (дата обращения: 27.12.2017).
93. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему: пер. с англ. М.:ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1991. – 287 с.
94. Цифровизация промышленности [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.up-pro.ru/library/opinion/cifra-budushee.html> (дата обращения: 27.12.2017)
95. Перспективы Индустрии 4.0 и цифровизации промышленности в России и мире [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://json.tv/ict_telecom_analytics_view/perspektivy-industrii-40-i-tsifrovizatsii-promyshlennosti-v-rossii-i-mire-20180312123158 (дата обращения: 04.04.2018)
96. Ж.-К. Сабоннадьер, Ж.-Л. Кулон Метод конечных элементов и САПР // Мир. – 1989. – С.7-13.
97. Bendsøe M. Topology Optimization: Theory, Methods and Application / М.Р. Bendsøe, O. Sigmund. – Berlin: Springer. – 2003. – 370 p.
98. Э Дин Система автоматизированного проектирования NX 7.5 от компании Siemens PLM Software [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/21523> (дата обращения: 20.06.2017).
99. Anderl R., Binde P. Simulations with NX // Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG. – 2014. – 11 p.

100.Breitenberger M., Apostolatos A., Philipp B., Wüchner R., Bletzinger K.-U. Analysis in computer aided design: Nonlinear isogeometric B-Rep analysis of shell structures // Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. – 2015. – № 284 (39–41). – pp. 401-457.

101.Рязанов А.И. Твёрдотельное параметрическое CAD моделирование в Siemens NX [Электронный ресурс]: электрон, учеб. пособие / А.И. Рязанов, Е.С. Горячкин. - Электрон, текстовые и граф. дан. (5,67 Мбайт). – Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 1 эл. опт. диск (CDROM).

102.Bertoni M., Bertoni A., Broeze H., Dubourg G., Sandhurst C. Using 3D CAD models for value visualization: an approach with SIEMENS NX HD3D Visual Reporting // Computer-Aided Design & Applications. – 2013. – № 10(a).– pp. 284-294.

103.CATIA V5 STUDENT EDITION [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://academy.3ds.com/en/software/catia-v5-student-edition> (дата обращения: 20.06.2017).

104.Комаров В.А., Вырыпаев А.А., Кузнецов А.С., Одинцова Л.В. Создание 3D моделей авиационных конструкций в программном комплексе САТИА V5: метод. указания / сост. [В.А. Комаров и др.]. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2010. – 39 с.

105.Сергеев Е.М., Епифанов А.Н., Горшков А.П., Сдобняков В.В. ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМУ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ САТИА V5. ЧАСТЬ 1 – ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ: Практикум. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 81 с.

106.Creo Parametric 3D Modeling Software [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo/parametric> (дата обращения: 20.06.2017).

107.Беккель Л.С., Сломинская Е.Н. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ CREO PARAMETRIC // МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ИННОВАЦИОННАЯ НАУКА». – 2016. – №9. – С.47-50.

108.About ASME Standards and Certification Software [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.asme.org/about-asme/standards> (дата обращения: 20.06.2017).

109.About ISO [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iso.org/about-us.html> (дата обращения: 20.06.2017).

110.The Japanese Industrial Standards Committee (JISC) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.jisc.go.jp/eng/> (дата обращения: 20.06.2017).

111.Base Object Model (BOM) Standards [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.boms.info/standards.htm> (дата обращения: 20.06.2017).

112.3D-САПР для проектирования изделий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview> (дата обращения: 20.06.2017).

113.DWG [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/DWG> (дата обращения: 20.06.2017).

114.DWF VIEWERS [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.autodesk.com/viewers/dwf> (дата обращения: 20.06.2017).

115.SOLIDWORKS 3D CAD [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-3d-cad> (дата обращения: 20.06.2017).

116.Pottmann H., Brell-Cokcan S., Wallner J. Discrete surfaces for architectural design Curve and Surface Design: Avignon (2006). – pp. 213-234.

117.Hazrat Ali M., Katsuki A., Kurokawa S., Sajima T. Design of Mechanical Actuator in 3D CAD Software // Procedia Engineering. – 2013. – V. 64. – pp. 473-478.

118.CADfix, CAD translation, repair and simplification [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iti-global.com/cadfix> (дата обращения: 20.06.2017).

119.CADIQ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iti-global.com/cadiq> (дата обращения: 20.06.2017).

120.Щеляев А. Валидация цифровой модели изделия [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/24716> (дата обращения: 20.06.2017).

121.PMI | Project Management Institute [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.pmi.org/> (дата обращения: 20.06.2017).

122.CADIQ 3D PDF [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iti-global.com/cadiq-3d-pdf> (дата обращения: 20.06.2017).

123.Alemanni M., Destefanis F., Vezzetti E. Model-based definition design in the product lifecycle management scenario // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2011. – V. 52. – pp. 1-14.

124.Measuring the PMI Modeling Capability in CAD Systems: Report 1 - Combined Test Case Verification // National Institute of Standards and Technology, NIST-GCR 15-997, 2015. – 77 p.

125.Cheney D., Fischer B. Measuring the PMI Modeling Capability in CAD Systems: Report 3 - Fully-Toleranced Test Case Verification // National Institute of Standards and Technology, NISTGCR 15-999, 2015. – 92 p.

126.International TechneGroup Incorporated [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.iti-global.com> (дата обращения: 20.06.2017).

127.CAx [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/CAx> (дата обращения: 20.06.2017).

128.Pratt M. Introduction to ISO 10303—the STEP standard for product data exchange // Journal of Computing and Information Science in Engineering. – 2001. – V. 1. – pp. 102-103.

129.ISO/PAS 26183:2006, "SASIG Product data quality guidelines for the global automotive industry," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.sis.se/api/document/preview/907668/> (дата обращения: 14.09.2016).

130.IGES [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/IGES> (дата обращения: 20.06.2017).

131.3DTransVidia Translates and Repairs Common Errors Created in Different CAD Systems [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.capvidia.com/capvidia-products/3d-transvidia-cad-data-translation-repair> (дата обращения: 20.06.2017).

132.Файлы ACIS (*.sat) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://help.solidworks.com/2013/russian/solidworks/sldworks/c_ACIS_Files_\(.sat\).htm](http://help.solidworks.com/2013/russian/solidworks/sldworks/c_ACIS_Files_(.sat).htm) (дата обращения: 20.06.2017).

133.Файлы Parasolid (*.x_t, *.x_b) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://help.solidworks.com/2013/russian/solidworks/sldworks/c_Parasolid_Files_\(-x_t-x_b\).htm](http://help.solidworks.com/2013/russian/solidworks/sldworks/c_Parasolid_Files_(-x_t-x_b).htm) (дата обращения: 20.06.2017).

134.Lubell J., Chen K., Horst, Frechette S., Huang P. Model Based Enterprise / Technical Data Package Summit Report, NIST Technical Note 1753, 2012. – 111 p.

135.Lubell J., Frechette S., Lipman R., Proctor F., Horst J., Carlisle M., Huang P. Model-Based Enterprise // Summit Report, National Institute of Standards and Technology, NIST Technical Note 1820, 2013. – 151 pp.

136.Model-based definition [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Model-based_definition (дата обращения: 20.06.2017).

137.Geometric Dimensioning and Tolerancing is a system for defining and communicating engineering tolerances. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Geometric_dimensioning_and_tolerancing (дата обращения: 20.06.2017).

138.Capvidia - software/engineering/applications [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.capvidia.com/ (дата обращения: 20.06.2017).

139.Resolve mesh failures applications [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://knowledge.autodesk.com/support/inventor-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Inventor-Help/files/GUID-B6DBFC75-9439-4FE0-AECD-35F6FEDF4786-hm.html> (дата обращения: 20.06.2017).

140.Экструзия (технологический процесс) [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%8F_\(%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%8F_(%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%86%D0%B5%D1%81%D1%81)) (дата обращения: 20.06.2017).

141. More time for development. Heidelberg CAx Quality Manager [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.heidelberg.com/industry/en/it_solutions/it_solutions_2/hqm/cax_quality_manager.jsp (дата обращения: 20.06.2017).

142. How to use the SOLIDWORKS Design Checker – Part 1 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.cati.com/blog/2014/05/how-to-use-the-solidworks-design-checker-part-1/> (дата обращения: 20.06.2017).

143. DesignQA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.prescientqa.com/designqa.aspx> (дата обращения: 20.06.2017).

144. DriveQA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.prescientqa.com/archive/driveqa.htm> (дата обращения: 20.06.2017).

145. PrescientQA : Driving Quality In Product Design [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.prescientqa.com/geometryqa.aspx (дата обращения: 20.06.2017).

146. ABOUT TDCi LIMITED [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.prescientqa.com/about-us.aspx> (дата обращения: 20.06.2017).

147. PrescientQA [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.prescientqa.com/> (дата обращения: 20.06.2017).

148. CATIA V5 (CATPRODUCT, CATPART) Files [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/3DSMax/files/GUID-5F05AAED-9E35-4124-BF0C-EEC5AFA09190-htm.html> (дата обращения: 20.06.2017).

149. HD63248: FTA (PRODUCT) / SOME OF CATPARTS OF THE CATASSEMBLY ARE OPENED IN DESIGN MODE EVEN WHEN WORK WITH THE CACHE SYSTEM OPTION IS A [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www-01.ibm.com/support/docview.wss?uid=swg1HD63248/> (дата обращения: 20.06.2017).

150. CATDRAW [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.saitec.es/en/fichas/catdraw.html> (дата обращения: 20.06.2017).

151.iCHECK IT for CATIA V5 - Check and Validate your Designs [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.myicheckit.com/ (дата обращения: 20.06.2017).

152.Системы управления инженерными данными (PDM) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://constructor.ru/solutions/91/> (дата обращения: 20.06.2017).

153. Грошев А.С. Программирование на языке Visual Basic Scripting Edition: Метод. указания к выполнению лабораторных работ. – Архангельск, 2009. – 82 с.

154. URL [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org/wiki/URL> (дата обращения: 20.06.2017).

155.Creo Modelcheck Overview [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/usascii/index.html#page/model_analysis/modelcheck/ModelCHECK_Overview.html (дата обращения: 20.06.2017).

156.Integrating RuleCHECK with Creo Modelcheck [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/usascii/index.html#page/model_analysis/modelcheck/Integrating_RuleCHECK_with_ModelCHECK.html (дата обращения: 20.06.2017).

157.GeomIntegrityCHECK Checks [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/usascii/index.html#page/model_analysis/modelcheck/GeomIntegrityCHECK_Checks.html (дата обращения: 20.06.2017).

158. VDA: Verband der Automobilindustrie e. V. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.vda.de/> (дата обращения: 20.06.2017).

159. NX Check-Mate - Siemens PLM Software [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/Images/2504_tcm1023-11882.pdf (дата обращения: 20.06.2017).

160. Q-Checker (Quality Assurance in Virtual Development) – Technia [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.techniatranscat.com/techniatranscat-software/data-quality-and-validation/q-checker> (дата обращения: 20.06.2017).

161. Q-Checker – Product Data Quality Solution – Intrinsys [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.intrinsys.com/applied/blog/2013/q-checker-product-data-quality-solution> (дата обращения: 20.06.2017).

162. Karniel A., Reich Y. Managing the Dynamics of New Product Development Processes: A New Product Lifecycle Management Paradigm // Springer Science & Business Media, 2011. – 257 pp.

163.Афанасьев А.Н., Белухина Н.Н., Канев Д.С. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СРЕДЫ ОБУЧЕНИЯ В ОТКРЫТОМ ОБРАЗОВАНИИ Дистанционное и виртуальное обучение. – 2016. – № 8 (110). – С. 4-14.

164.Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Канев Д.С. РАЗРАБОТКА АВТОРСКОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ Электронное обучение в непрерывном образовании. – 2016. – № 1 (3). – С. 100-104.

165.Российское инженерное ПО для проектирования, производства и бизнеса [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ascon.ru/> (дата обращения: 20.06.2017).

166. Афанасьев А.Н. МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ПОТОКОВ РАБОТ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННЫХ СИСТЕМ В сборнике: ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА Сборник научных трудов 4-й Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2012. – 2012. – С. 51-60

167.Афанасьев А.Н. ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ И КОНТРОЛЮ ПОТОКОВ РАБОТ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ КОМПЬЮТЕРИЗОВАННЫХ СИСТЕМ: авторефю дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук / Ульяновский государственный технический университет. Ульяновск, 2011.

168.Кудрявцев В.Б., Алисейчик П. А., Вашик К., Кнап Ж., Строгалов А. С, Шеховцов С. Г. Моделирование процесса обучения // Фундаментальная и прикладная математика. – 2009. – Т. 15. – № 5. – С. 111-169.

169.Свидетельство № 2018615540 Российская Федерация. Компьютеризированная система структурно-параметрического анализа и классификации изделий к машиностроительным САПР: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Канев Д.С., Бригаднов С.И., Уханова М.Е., ИONOва И.С.; заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. – № 2018612813; заявл. 21.03.2018; зарегистр. 10.05.2018.

170.Свидетельство № 2018615611 Российская Федерация. Рекомендательная система структурно-параметрического анализа проектной деятельности проектировщика к машиностроительным САПР (КОМПАС-3D): свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Канев Д.С., Бригаднов С.И., Уханова М.Е., ИONOва И.С.; заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. – № 2018612664; заявл. 21.03.2018; зарегистр. 11.05.2018.

Приложение 1. Классификация машиностроительных изделий

1. Ременные передачи

- плоские ремни
- клиновые ремни
- поликлиновые ремни
- зубчатые ремни
- шкивы

2. Цепные передачи

- приводные роликовые типа ПРА, ПР, 2ПР, 3ПР, 4ПР
- приводные втулочные типа ПВ, 2ПВ
- приводные роликовые длиннозвенные типа ПРД
- приводные роликовые с изогнутыми пластинами типа ПРИ
- приводные зубчатые

3. Подшипники качения

- подшипниковые узлы валов конических шестерен
- подшипниковые узлы валов цилиндрических косозубых, конических и червячных колес
- подшипниковые узлы валов цилиндрических прямозубых и шевронных колес
- подшипниковые узлы шевронных вал-шестерен
- подшипниковые узлы червяков
- подшипниковые узлы приводных валов
- шариковые радиальные однорядные
- шариковые радиально-упорные однорядные
- шариковые радиальные сферические двухрядные
- роликовые радиальные с короткими цилиндрическими роликами
- роликовые конические однорядные
- роликовые радиальные сферические двухрядные с симметричными роликами

- роликовые радиальные сферические двухрядные
- шариковые упорные одинарные и двойные
- роликовые упорные с цилиндрическими роликами одинарные

4. Элементы крепления подшипников

- кольца пружинные упорные плоские наружные эксцентрические
- кольца пружинные упорные плоские внутренние эксцентрические
- кольца пружинные упорные плоские наружные концентрические
- кольца пружинные упорные плоские внутренние концентрические
- шайбы концевые
- гайки круглые шлицевые
- шайбы стопорные многолапчатые
- втулки закрепительные
- втулки стяжные
- гайки для закрепительных втулок с метрической резьбой
- гайки для стяжных втулок с метрической резьбой
- шайбы стопорные
- скобы стопорные

5. Уплотнения подшипниковых узлов

- манжеты резиновые армированные
- уплотнения войлочные
- уплотнения бесконтактные

6. Элементы соединений «вал-ступица»

- соединения сегментными шпонками
- соединения призматическими шпонками
- соединения тангенциальными шпонками
- соединения шлицевые прямобочные
- соединения шлицевые эвольвентные с углом профиля 30°
- соединения шлицевые треугольные

7. Редукторы

- цилиндрические одноступенчатые
- цилиндрические двухступенчатые
- цилиндрические двухступенчатые соосные
- конические одноступенчатые
- коническо-цилиндрические
- червячные одноступенчатые
- червячные двухступенчатые
- червячно-цилиндрические
- планетарные
- моторедукторы

8. Муфты

- зубчатые
- шарнирные
- упругие со звездочкой
- предохранительные кулачковые
- предохранительные шариковые
- предохранительные фрикционные
- электромагнитные с механической связью
- механические
- кулачково-дисковые
- цепные
- фланцевые
- упругие с торообразной оболочкой
- упругие втулочно-пальцевые
- продольно-свертные
- втулочные
- упругие с промежуточным диском
- дисковые полужесткие

- управляемые механические фрикционные с электромагнитным переключателем

9. Вариаторы

- цепные
- с широким клиновым ремнем
- общего назначения с гибкой связью

10. Пружины

- тарельчатые
- сжатия винтовые цилиндрические
- растяжения винтовые цилиндрические

11. Шпонки

- призматические привертные
- ступенчатые
- круглые
- штыри
- призматические низкие
- шпоночные пазы

12. Болты

- откидные
- рым-болты
- с полукруглой головкой и усом класса точности С
- с потайной головкой и усом класса точности С
- с потайной головкой и квадратным подголовником класса точности С
- шинные
- с шестигранной уменьшенной головкой
- с шестигранной уменьшенной головкой и направляющим подголовником класса точности В
- с шестигранной головкой класса точности В
- с увеличенной полукруглой головкой и усом класса точности С

- высокопрочные класса точности В
- фундаментные
- с шестигранной уменьшенной головкой класса точности А для отверстий из-под развертки

13. Гайки

- шестигранные с уменьшенным размером «под ключ»
- шестигранные низкие с уменьшенным размером «под ключ»
- шестигранные прорезные с уменьшенным размером «под ключ»
- гайки-барашки
- шестигранные класса точности В
- шестигранные низкие класса точности В
- шестигранные прорезные класса точности В
- шестигранные корончатые класса точности В
- круглые с отверстием на торце «под ключ»
- круглые с радиально расположенными отверстиями
- круглые со шлицем на торце
- колпачковые

14. Шайбы

- пружинные
- увеличенные
- уменьшенные
- стопорные с зубьями
- косые
- упорные
- стопорные многолапчатые
- стопорные с носком
- плоские для шестигранных болтов, винтов и гаек

15. Винты

- установочные с коническим концом и прямым шлицем

- установочные с плоским концом и прямым шлицем
- установочные с цилиндрическим концом и прямым шлицем
- установочные с засверленным концом
- установочные с шестигранной головкой и цилиндрическим концом
- установочные с квадратной головкой и засверленным концом
- установочные с квадратной головкой и ступенчатым концом
- с цилиндрической головкой
- с полукруглой головкой невыпадающие
- с лыской «под ключ»
- с накатанной головкой невыпадающие
- самонарезающиеся
- установочные с плоским концом и шестигранным углублением «под ключ»
- с накатанной высокой головкой
- с накатанной низкой головкой
- с внешним шестигранником в головке и утолщенным стержнем

16. Корпуса и крышки подшипниковых узлов

- корпуса типа ШМ подшипников качения
- корпуса типа УМ подшипников качения
- корпуса типа ШБ подшипников качения
- корпуса типа УБ подшипников качения
- корпуса типа РШ подшипников качения
- корпуса типа РУ подшипников качения
- крышки торцовые глухие низкие
- крышки торцовые глухие высокие
- крышки торцовые с манжетным уплотнением низкие
- крышки торцовые с манжетным уплотнением средние
- крышки торцовые с манжетным уплотнением высокие
- крышки торцевые с канавками низкие

- крышки торцевые с канавками средние
- крышки торцевые с канавками высокие

17. Крышки подшипников

- торцевые с канавкой для уплотнительного кольца
- торцевые глухие
- торцевые с отверстием для манжетного уплотнения
- торцевые с жировыми канавками
- торцевые узлов подшипников качения

18. Штифты

- цилиндрические
- конические
- конические с внутренней резьбой
- конические с резьбовой цапфой
- цилиндрические насеченные с коническими насечками
- пружинные
- конические разводные

19. Шпильки

- с ввинчиваемым концом длиной $1d$
- с ввинчиваемым концом длиной $1,25d$
- с ввинчиваемым концом длиной $1,6d$
- с ввинчиваемым концом длиной $2d$
- с ввинчиваемым концом длиной $2,5d$
- для деталей с гладкими отверстиями

Приложение 2. Правила конструирования и рекомендации, использующиеся в разработанной системе анализа проектных решений

Правила анализа проектных решений:

1. Очередность простановки линий-выносок не имеет значения. Номера позиций будут автоматически изменены после создания спецификации.
2. Если стороны фаски равны, то результат ее построения не будет зависеть от направления первой стороны.
3. При построении фаски для ребер, параметры фаски которых одинаковы, при создании фаски необходимо указать все ребра.
4. При выполнении операции скругление необходимо указывать как можно больше ребер, которые необходимо скруглить с одинаковым радиусом.
5. При выполнении операции уклон к граням необходимо указать как можно больше граней, угол уклона которых к основанию одинаков.
6. Если требуется скруглить одно или несколько ребер, ограничивающих уклоняемую грань, необходимо сначала придать грани уклон.
7. Вспомогательный объект не должен участвовать непосредственно в создании элемента — это является нарушением одного из основных требований к эскизам.
8. Задание значения размера эскиза возможно только в том случае, если размер ассоциативный.
9. Если для проецирования выбрано прямолинейное ребро, перпендикулярное плоскости эскиза, то в эскиз проецируется одна из вершин этого ребра.
10. Поверхность, используемая для отсечения, может принадлежать как самой модели, так и любому из ее компонентов. Если отсечение выполняется с помощью эскиза, то он должен принадлежать непосредственно модели.
11. Если направление одного из векторов задано направляющим объектом, то для другого вектора может быть выбран только направляющий объект, перпендикулярный первому вектору.

12. Если редактируемая грань изначально является сплайновой поверхностью, то размерность сетки и порядок поверхности равны соответственно размерности и порядку грани.
13. Если позиция экземпляра массива по точкам задана точкой эскиза, то для определения положения этого экземпляра корректируется положение базовой точки базового экземпляра — за новую базовую точку принимается проекция текущей на плоскость эскиза.
14. Если позиция экземпляра массива по точкам задана точкой, принадлежащей кривой или поверхности, то можно ориентировать этот экземпляр относительно данной кривой/поверхности.
15. Если среди указанных объектов есть вспомогательные плоскости, то первая из них становится плоскостью симметрии операции.
16. Если выбранный для преобразования объект участвует в сопряжениях, то в случае удаления оригинала в этих сопряжениях будет участвовать новый компонент, а в случае сохранения оригинала сопряжения не изменятся.
17. После вставки компоновочной геометрии в модели автоматически создается содержащий ее слой.
18. Если имя компонента изменяется, то он исключается из ветви одинаковых компонентов и занимает самостоятельное положение в Дереве построения модели.
19. Для корректного построения замыкания углов рекомендуется, чтобы радиусы, углы и длины продолжений смежных сгибов были попарно равны.
20. В операции разбиения участвуют все контуры указанного эскиза. Использование отдельных контуров невозможно.
21. Если базовая точка задана вручную, то группа объектов копируется как одно целое: строится одна сетка для группы копируемых объектов; если включен доворот, то каждый экземпляр (группа копий) поворачивается вокруг своей базовой точки.

22. Если базовая точка автоопределена, то объекты группы копируются по отдельности: для каждого объекта строится собственная сетка; если включен доворот, то копия каждого объекта поворачивается вокруг своей базовой точки.
23. Если точки, задающие позиции экземпляров, не проецируются на указанный объект, то экземпляры, соответствующие этим точкам, ориентируются в пространстве так же, как копируемый объект.
24. Секущие объекты всех типов должны однозначно определять границу отсечения, например, незамкнутая кривая или грань должны полностью пересекать усекаемую поверхность.
25. Построение сгиба по эскизу невозможно, если для замыкания в начале или в конце задан отрицательный угол и выбран способ обработки «Без обработки».
26. Объект может иметь ассоциативные связи с другими объектами, например, дуга окружности, построенная по трем вершинам. В результате замены системы координат положение такого объекта не изменяется вне зависимости от состояния опции «Сохранять положение».
27. Вспомогательные прямые нельзя выравнивать по границе. Кривые Безье и NURBS могут быть только усечены по границе, продление их с помощью команды выравнивания невозможно.
28. Если при добавлении компонентов в исходное исполнение на них накладываются сопряжения, то эти сопряжения передаются во все зависимые исполнения, кроме зеркального.
29. После восстановления связи и перестроения модели объект зависимого исполнения становится идентичным соответствующему объекту исходного исполнения. Изменения, произведенные с объектом зависимого исполнения до восстановления связи, не сохраняются.
30. Построение условного изображения стандартной конической резьбы имеет следующие особенности: создание объекта возможно только при условии использования подгонки; резьба может быть построена только на

заданную глубину. При этом максимальная глубина зависит от выбранного номинального диаметра резьбы и определяется стандартом.

31. Значение угла сгиба подсечки должно быть больше 0° и меньше 180° ; дополняющего угла — больше 0° и меньше 360° .

32. В операции усечения участвуют все контуры указанного эскиза. Использование отдельных контуров невозможно.

33. Ввод нулевого радиуса сгиба невозможен. Минимальное значение — *0,0002 мм*.

34. Параллельные отрезки, а также концентрические дуги скруглить нельзя.

35. Контрольная или присоединительная точка всегда ассоциирована с точечным объектом.

Рекомендации проектировщику:

1. Присваивайте элементам собственные имена. Это облегчит чтение Деревя построения и выбор отдельных объектов.
2. При необходимости в файл компоновочной геометрии можно добавлять размеры и сопроводительные надписи, предназначенные для исполнителей. Надписи могут содержать требования к узлу, параметры отдельных элементов, исходные данные для проектирования, значения конструктивных параметров, указания об использовании стандартных деталей и конструктивных элементов, указание об использовании заимствованных компонентов, покупных узлов и деталей и т.д.
3. Старайтесь указывать как можно больше элементов, которые требуется скруглить одинаковым радиусом. В этом случае упрощается редактирование модели и расчеты будут выполняться быстрее.
4. Если в процессе выполнения операции выдавливания появился фантом тонкостенного элемента, отмените команду. Войдите в режим редактирования эскиза и увеличьте его масштаб. Проверьте, нет ли в контуре несостыкованных вершин: разрывов, «двойных» участков (линии, начерченной сверху другой линии) или других нарушений.

5. Вместо того чтобы повторять операции, можно скопировать поверхности, выполнить команду их сшивки и преобразовать в твердотельную модель.
6. Если требуется построить элемент вращения с плоскими торцами, создайте сечение, содержащее профиль этого элемента, а при выполнении операции активизируйте переключатель «Сфероид».
7. Если требуется, чтобы массив строился вокруг выбранной оси и содержал экземпляры в радиальном направлении, измените положение базовой точки базового экземпляра.
8. При построении *массива по концентрической сетке* вы можете расположить экземпляры не в одной плоскости, а в разных плоскостях, смещенных друг от друга на заданную величину вдоль оси массива.
9. Исходные компоненты можно выбрать и перед вызовом команды зеркального отражения, указав компоненты (принадлежащие им объекты) в Дереве построения или в графической области модели.
10. Старайтесь указывать как можно больше элементов, которые требуется скруглить одинаковым радиусом. В этом случае упрощается редактирование модели и расчеты будут выполняться быстрее.
11. Если сначала вызвать команду, а потом указать грань, то центр отверстия будет расположен в точке указания. В этом случае откройте секцию Размещение на Панели параметров и введите значение 0 в поля «Расстояние 1» и «Расстояние 2» — смещение от опорных объектов до центра отверстия. Наименования опорных объектов отображаются в полях «Объект».
12. Совмещение точек начала координат сборки и вставляемого компонента необязательно. Это нужно в тех случаях, когда требуется совпадение систем отсчета координат. Также иногда важно, чтобы построения, выполненные для компонента, в сборке имели такую же особенность — например, вставляется симметричная деталь, для которой плоскостью симметрии должна служить системная плоскость.

13. Построение пространственными кривыми можно заменить построением в эскизах, которые удобны простотой и компактностью. Вместе с тем, пространственные кривые в компоновочной геометрии позволяют эффективнее учитывать «неплоские» случаи. В отличие от объектов эскизов, пространственным кривым можно присваивать индивидуальные имена, что важно при подготовке коллекций и копировании объектов.
14. Объекты для большинства операций можно указать как до вызова команды, так и после.
15. Сечение элемента выдавливания можно указать перед запуском операции.
16. В листовом теле, состоящем из частей, невозможно создание новых сгибов, изменение состояния существующих, а также замыкание сгибов. Для того чтобы эти операции можно было выполнить, необходимо сделать тело целым.
17. Для корректного построения замыкания углов рекомендуется, чтобы радиусы, углы и длины продолжений смежных сгибов были попарно равны.
18. Использование автоматически сформированной ориентации «Развертка» не является обязательным. При необходимости вы можете вручную создать в модели нужную ориентацию и использовать ее при построении развертки в чертеже.
19. При нулевом смещении эквидистантная поверхность представляет собой копию базовой. Таким способом можно создать необходимое количество копий поверхности, являющейся основой для нескольких тел или деталей.
20. Корректное построение объекта «Поверхность выдавливания» способами «До поверхности» и «До ближайшей поверхности» возможно, только если создаваемая поверхность замкнута, т.е. закрыта с торцов. Для этого сечение поверхности должно быть замкнуто, а на Панели свойств при построении поверхности должна быть включена опция «Замкнутая поверхность».

21. Не обязательно задавать параметры развертки для всех тел, можно настроить одно или некоторые тела.
22. Не рекомендуется производить такое редактирование эскиза, после которого заведомо не смогут быть перестроены производные объекты.
23. Если сечения не выпуклые, указывайте траекторию вручную.
24. Рекомендуется объединять виды с одинаковым масштабом.
25. Если в набор граней нужно добавить все грани какого-либо тела или поверхности, укажите это тело или поверхность в Дереве построения.
26. Не стройте фаску для каждого ребра в отдельности; если это возможно, указывайте при создании фаски как можно большее количество ребер, параметры фаски для которых одинаковы. Однако, выполнение этого совета может быть затруднено, если фаска неравносторонняя. Если ребра, выбранные для построения такой фаски, относятся не к одной грани, то выбор единого направления фаски для всех ребер может привести к неверному результату построения. В этом случае рекомендуется указывать для построения фаски ребра, относящиеся к одной грани, и создавать отдельную фаску для каждой грани.
27. Не выполняйте скругление для каждого ребра в отдельности. Если это возможно, указывайте при создании скругления как можно большее количество ребер, которые требуется скруглить с одинаковым радиусом.
28. Не наклоняйте каждую грань в отдельности. Если это возможно, указывайте при выполнении команды Уклон как можно большее количество граней, которые требуется наклонить под одинаковым углом к одному и тому же основанию. В этом случае расчеты при перестроении модели будут производиться быстрее.
29. Исходные компоненты можно выбрать и перед вызовом команды зеркального отражения, указав компоненты (принадлежащие им объекты) в Дереве построения или в окне модели. Если среди указанных объектов есть вспомогательные плоскости, то первая из них становится плоскостью симметрии операции.

30. При отражении компонентов не учитываются операции, произведенные над компонентами в сборочной модели. Вы можете получить эти операции с помощью команд построения массивов или выполнить их повторно.
31. Создавайте фаски и скругления по возможности в конце процесса построения детали, а не сразу после возникновения формообразующих элементов, на ребрах которых требуется образовать фаски и скругления. В этом случае расчеты при выполнении формообразующих операций будут производиться быстрее.
32. При заполнении спецификации рекомендуется по возможности создавать базовые объекты.
33. Для восстановления ассоциативной вершины с точечным объектом его необходимо указать заново.
34. Придание толщины граням тела из частей невозможно. Необходимо сначала сделать тело целым, отредактировав имеющиеся элементы или создав новые элементы, которые соединят части. Кроме того, выполнение операции придания толщины невозможно, если добавляемый ею слой является телом с нарушенной топологией.
35. Для имитации непрерывной линии задайте длину промежутка равной нулю.

Приложение 3. Акт о внедрении в учебный процесс УлГТУ


 МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
 РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение
 высшего образования
 «УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
 ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (УлГТУ)
 Северный Венец ул., д.32,
 г. Ульяновск, 432027, Россия
 Тел.: (8422) 43-06-43; факс: (8422) 43-02-37
 E-mail: rector@ulstu.ru <http://www.ulstu.ru>
 ОКПО 02069378, ОГРН 1027301160226
 ИНН/КПП 7325000052/730202001

УТВЕРЖДАЮ
исполняющий обязанности

ректора УлГТУ

А.П. Пинков

2018 г.



АКТ

о внедрении в учебный процесс
результатов диссертационной работы Бригаднова С.И.

Результаты диссертационной работы Бригаднова С.И. «Автоматизация структурно-параметрического анализа проектных решений и обучения проектировщика изделий машиностроения средствами САПР КОМПАС», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, внедрены в учебный процесс Ульяновского государственного технического университета при обучении студентов направления «Информатика и вычислительная техника» по специальностям бакалавр техники и технологии 230100.63, магистр техники и технологии 230100.68 (лекции, лабораторные и практические занятия, курсовое и дипломное проектирование, выпускные работы на степень бакалавра и диссертационные работы на степень магистра).

Зам. заведующего кафедрой «Вычислительная техника»
ФГБОУ ВО

«Ульяновский государственный технический университет»
д.т.н., профессор

В.Н. Негода

Приложение 4. Акт о внедрении на предприятии АО «Ульяновский механический завод»

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер –

заместитель генерального директора

по технической и технологической политике

АО «Ульяновский механический завод»



В.Д. Сокушев

7 июня 2018 г.

Акт

о внедрении результатов диссертационной работы

Бригаднова Сергея Игоревича

Комиссия АО «Ульяновский механический завод» в составе: начальника управления информационных технологий Войта А.Н., начальника отдела общей сборки изделий (КО ОСИ) Морозова А.А., начальника отдела информационных систем Аисова О.Б., составила настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Бригаднова С.И. на тему «Автоматизация структурно-параметрического анализа проектных решений и обучения проектировщика изделий машиностроения средствами САПР КОМПАС», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук и выполненной в рамках договоров о создании (передаче) научно-технической продукции между ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» и АО «Ульяновский механический завод» №14/3943-16 от 06.12.2016 (№Д21/31 от 09.02.2017), №14/495-17 от 30.12.2016 (№ Д31/31 от 28.02.2017), внедрены в практику работы АО «УМЗ».

Разработанные в диссертационной работе программно-информационное, методическое обеспечение автоматизированной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика процессам

конструирования машиностроительных изделий в среде САПР КОМПАС, а также программно-инструментальные средства к САПР КОМПАС (система классификации изделий, база изделий предприятия, система поиска проектных решений) позволили сократить время проектной деятельности проектировщика при конструировании машиностроительных объектов САПР на 10 – 15 %, а также сократить сроки обучения и переподготовки специалистов АО «Ульяновский механический завод» на 10 %.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке конструкторской документации при производстве промышленных объектов специального назначения 9С510Э, 9С18М1-3Э, 9А317Э.

Начальник УИТ



Войт А.Н.

Начальник отдела КО ОСИ



Морозов А.А.

Начальник ОИС УИТ



Аисов О.Б.