

На правах рукописи



КАНДАУЛОВ ВАЛЕРИЙ МИХАЙЛОВИЧ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕМЕЙСТВ  
СЛОЖНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ  
НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ**

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

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

Ульяновск – 2012

Работа выполнена на кафедре «Измерительно-вычислительные комплексы»  
ФГБОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент  
Шишкин Вадим Викторович

Официальные оппоненты: Соснин Петр Иванович, д.т.н., профессор,  
ФГБОУ ВПО Ульяновский государственный  
технический университет, каф. «Вычислительная  
Техника», зав. кафедрой.

Ларин Сергей Николаевич, к.т.н., доцент, ФНПЦ  
ОАО «НПО МАРС», комплексно-  
технологический отдел, начальник отдела

Ведущая организация: ОАО «Ульяновское конструкторское бюро  
приборостроения»

Защита состоится «25» апреля 2012 г. в 10.00 на заседании диссертационного  
Совета Д212.277.01 при Ульяновском государственном техническом  
университете по адресу: 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, д. 32.  
ауд. 211, гл. корпус.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Ульяновского  
государственного технического университета.

Автореферат разослан «24» марта 2012 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
д.т.н., профессор



В.И. Смирнов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время практически на всех промышленных предприятиях создаются электронные базы данных чертежей проектируемых и выпускаемых изделий. Установлено, что при разработке новых изделий около 80% узлов и деталей не претерпевают существенных изменений в конфигурации, и можно существенно сократить время разработки, скорректировав имеющиеся чертежи и взяв их в качестве прототипов для нового изделия.

Основным методом повышения эффективности проектирования и перепроектирования сейчас считается проектирование с использованием параметрических моделей. Однако, как показали проведенные исследования, для решения ряда задач проектирования изделий машиностроения, существующие инструменты параметрического проектирования оказываются недостаточно эффективными.

В сложных машиностроительных изделиях количество деталей и сборок, для которых необходимо создавать, отслеживать и модифицировать параметрические зависимости очень велико, а предоставляемые САПР средства не обладают возможностью обеспечить достаточную эффективность работы. Анализ моделей машиностроительных изделий показал, что законченный проект включает в себя тысячи параметров, которые инженер должен отслеживать и редактировать для изменения модели. Однако, согласно зарубежным исследованиям, проектировщик может держать в уме не более 50 параметров без ущерба для качества проектирования.

Для небольших проектов применение инструментов параметрического проектирования приводит к увеличению времени проектирования. Сложившаяся на предприятиях практика свидетельствует о том, что инженеры предпочитают полностью пересоздавать мелкие модели, вместо того чтобы тратить время на создание параметрических моделей.

Согласно зарубежным исследованиям, наиболее эффективным направлением для дальнейшего развития САПР будет внедрение инструментов и средств на основе паттернов, включающих в себя инструменты параметрического проектирования, которые позволяют реструктурировать накопленный опыт и использовать его для выполнения новых проектов.

Вопросам применения параметрических моделей, как метода повышения эффективности проектирования и перепроектирования, занимались В. Н. Малюх, И. П. Норенков, Б. С. Воскобойников, В. Л. Митрович, В. П. Иванов, А. С. Батраков, С. В. Матвеев, А. Т. Фоменко, С. Matthews, S. A. Meguid, J. Lee, B. Uyer, E. Endgel, G. Snouke.

Вопросы повышения эффективности проектирования за счет применения паттернов на данный момент рассматривались зарубежными учеными, среди которых были Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides, J. Kerievsky, M. Fowler, Sherif M. Yacoub, Hany H. Ammar, G. Hohpe, B. Woolf, C. Larman, Scott W. Ambler, Pramodkumar, J. Sadalage, Christopher W. Alexander. Однако их работы направлены на использование паттернов в областях

архитектуры и разработки информационных систем. Для области машиностроения исследований по применению паттернов не проводилось.

**Целью диссертационного исследования** является повышение эффективности проектирования и перепроектирования семейств сложных машиностроительных изделий за счет разработки механизмов проектирования на основе паттернов.

**Объектом исследования** в диссертационной работе являются методы и инструменты автоматизированного проектирования сложных машиностроительных изделий (СМИ).

**Предметом исследований** выступают методы и инструменты проектирования, способные сохранять и передавать накопленный опыт проектирования и производить быстрый перерасчет проекта при изменении его параметров.

**Методы исследования** базируются на теории множеств, теории системного анализа, теории алгоритмов и теории грубых множеств Павлака.

#### **Задачи диссертационного исследования:**

1. Анализ современных методов проектирования СМИ для поиска точек воздействия на процессы перепроектирования с целью повышения их эффективности.
2. Разработка структуры паттерна для машиностроения и иерархически структурированной системы паттернов (ИССП) для машиностроительных изделий, а так же форм их представления в САПР.
3. Разработка методики автоматизированного проектирования СМИ на основе паттернов.
4. Создание САПР для проектирования семейств сложных машиностроительных изделий на основе паттернов.
5. Проведение экспериментов с разработанной САПР и оценка их результатов.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена непротиворечивостью применяемых моделей и методов, результатами экспериментальных исследований.

#### **Основные положения**, выносимые на защиту:

1. Структура паттерна для области машиностроения, позволяющая проектировать и перепроектировать сложные машиностроительные изделия.
2. Методика проектирования семейств сложных машиностроительных изделий на основе паттернов.
3. Механизм подбора проектных артефактов для использования в других контекстах проектирования.
4. ИССП для проектирования современных систем водоочистки.
5. ИССП для проектирования платформенных магнитных сепараторов.

#### **На научную новизну претендуют:**

1. Структура паттерна для области машиностроения, позволяющая проектировать и перепроектировать машиностроительные изделия.
2. Методика проектирования семейств сложных машиностроительных изделий на основе паттернов.
3. Механизм подбора проектных артефактов для использования в других контекстах проектирования.

**Практическая ценность** работы заключается в разработанной системе автоматизированного проектирования, позволяющей вести проектирование в терминах паттернов и обладающей возможностью интегрироваться в различные САПР, уже применяемые на промышленных предприятиях. Также практическую ценность представляют две иерархически структурированные системы паттернов, предназначенные для автоматизированного проектирования семейств изделий платформенных магнитных сепараторов и систем водоочистки.

**Реализация и внедрение результатов.** Разработанные программные средства, методики проектирования и системы паттернов были внедрены на ЗАО «Системы водоочистки» и ОАО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения» (г. Ульяновск).

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях «Interactive Systems And Technologies: The Problems of Human-Computer Interaction» (Международная НТК, г. Ульяновск 2009, 2011); «Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации» (Всероссийская конференция с привлечением иностранных специалистов, г. Ульяновск, 2009), где работа была награждена дипломом за лучший секционный доклад; «Информатика, моделирование, автоматизация проектирования – ИМАП» (Всероссийская НТК, г. Ульяновск, 2011); «Информатика и вычислительная техника – ИВТ» (Всероссийская НТК, г. Ульяновск 2010, 2011); «Молодежный инновационный форум Приволжского федерального округа» (г. Ульяновск 2009, 2010), где работа была дважды награждена дипломами различной степени, в том числе дипломом от ОАО «Государственный научный центр – Научно-исследовательский институт атомных реакторов» (г. Димитровград) за достигнутые результаты.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 12 печатных работ, в том числе 1 работа в журнале ВАК. Так же были получены три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ (№2012610529 «Система построения параметрических моделей семейств сложных машиностроительных изделий в среде САПР Компас», №2011613160 «САПР PatternSystem» и №2011613161 «Подсистема управления моделями») и свидетельство о регистрации базы данных №2011620297 на БД САПР «PatternSystem».

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав с выводами, заключения, библиографического списка использованной литературы (103 наименования), общим объемом 172 страницы машинописного текста, и семи приложений. Диссертация содержит 29 рисунков и 9 таблиц.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** рассмотрена актуальность темы диссертации, указаны цели и задачи, поставленные при выполнении работ, объект, предмет и методы исследования.

**Первая глава** посвящена анализу процессов проектирования семейств сложных машиностроительных изделий (СМИ) с точки зрения применения паттернов. В рамках данного анализа были рассмотрены: современные методики и инструменты проектирования в отрасли машиностроения, методическое и программное обеспечение современных процессов проектирования и проведена их классификация, преимущества использования и методы проектирования с помощью паттернов и проведен анализ сложности машиностроительных изделий с точки зрения паттернов.

Анализ структуры современных проектов показал, что большую часть проектируемых изделий можно отнести к классу сложных. К сложным машиностроительным изделиям (СМИ) обычно относят многоуровневую иерархическую систему моделей, состоящую из нескольких десятков сборок, сотен деталей и тысяч параметров.

Анализ методического обеспечения современного проектирования в отрасли машиностроения показал, что наибольшее распространение сейчас имеют методы параметрического проектирования. С целью изучения преимуществ и недостатков современных инструментов параметрического проектирования семейств изделий были рассмотрены инструменты, предложенные в САПР «T-Flex CAD», «SolidWorks», «Компас 3D», «NX» и «SolidEdge». Показано, что наибольшее распространение сейчас имеют методы табличной, вариационной, иерархической, геометрической и синхронной параметризации, а так же методы, комбинирующие в себе несколько подходов для решения разных задач проектирования.

Анализ методов проектирования с применением паттернов показал, что чаще всего паттерны используются для решения задач в архитектуре и программировании. Для области архитектуры паттерны формируют собой единый язык проектирования, однако, для области разработки ПО, язык паттернов замещается функционально разрозненным набором решений различных задач. Для области машиностроения целесообразно полагать, что паттерн – это артефакт проектирования, сохраняющий функциональность и варианты структурного наполнения, абстрагированный для применения в других контекстах проектирования. Под артефактом проектирования для области машиностроения понимается совокупность трехмерных моделей, конструкторской документации и текстовых формулировок поставленных задач. Структурное наполнение паттерна передается через приложенные 3D модели в среде САПР, а функциональность, применительно к области машиностроения, трактуется как формулировка решаемой задачи.

Для области машиностроения применение паттернов будет актуально для разработки семейств изделий, включающих в себя базовое изделие и все разновидности, модификации и исполнения, создаваемые на основе базового. Было установлено, что применение паттернов позволит сформировать единый проектный репозиторий, ускорить проектирование семейств машиностроительных изделий, сократить время принятия решений при перепроектировании и передавать накопленный опыт между различными проектами.

Анализ сложности машиностроительных изделий с точки зрения паттернов показал, что для решения ряда задач современного машиностроения существующие инструменты параметрического моделирования оказываются недостаточно удобными:

- Количество деталей и сборок, очень велико, а предоставляемые САПР средства не обладают возможностью обеспечить достаточное удобство работы.
- Применение инструментов параметрического моделирования приводит к заметному увеличению времени проектирования простых изделий.

Дальнейшее изучение методик проектирования на основе паттернов для решения задач машиностроения показало, что использование паттернов позволит говорить о новом, более абстрактном и более эффективном подходе к проектированию, позволяющему создать функционально полную параметрическую модель, целиком охватывающую семейство изделий. Внедрение новой методики проектирования позволит говорить о переходе от параметризации на уровне узлов и графических сопряжений к параметризации на уровне функциональных связей, и тем самым вывести параметризацию в современных САПР на новый, более абстрактный уровень.

**Во второй главе** представлена разработка модели паттерна и методик проектирования на основе паттернов, которые максимально полно удовлетворяют требованиям отрасли машиностроения и пригодны для дальнейшего использования в качестве основы системы автоматизированного проектирования.

В ходе изучения схем проектирования в области машиностроения было установлено, что процесс проектирования может быть представлен через взаимодействие иерархического множества задач проектирования  $T$  и множества проектных решений  $PR$ , выполненных на предприятии:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_i\},$$

где  $T$  – множество задач проектирования;

$t_i$  – конкретная задача проектирования.

Задачи из множества  $T$  можно представить как:

$$t_i = \{Nm, C, R\},$$

где  $Nm$  – текстовая формулировка задачи,

$C$  – ограничения, накладываемые при постановке задачи:  $\{C_1, \dots, C_n\}$ ;

$R$  – характеристики, которые должны быть получены при выполнении задачи:  $\{R_1, \dots, R_m\}$ .

Множество проектных решений, выполненных на предприятии, можно представить как:

$$PR = \{pr_1, pr_2, \dots, pr_j\},$$

где  $PR$  – множество разработанных на предприятии проектных решений;

$pr_j$  – конкретное проектное решение.

Конкретные проектные решения из множества  $PR$  представляются как:

$$pr^i = \{F, Pm, R\},$$

где  $F$  – трехмерные модели, полученные по завершению проекта;

$P_m$  – элементы параметрической модели, выведенные для связи ее с остальной частью проекта:  $\{P_{m_1}, \dots, P_{m_n}\}$ ;

$R$  – характеристики, полученные в результате проектирования:  $\{R_1, \dots, R_m\}$ .

Типовой машиностроительный проект можно представить в виде отображения поставленных при проектировании задач на полученные в ходе проектирования решения. Отображение элементов множества  $T$  на множество  $PR$  является результатом выполнения функции:

$$Pr(t): t_i \rightarrow pr^i.$$

Результатом выполнения этой функции является множество проектных решений для выполнения поставленной задачи

$$PR1 = \{pr^1, pr^2, \dots, pr^k \mid Pr(t_i)\}.$$

Множество решений  $PR1$ , использованных для достижения поставленной задачи  $t_i$  можно представить в виде иерархии принятых решений, разбитых на уровни. В этой иерархии  $i$ -ый уровень показывает максимально полную декомпозицию задачи, решение  $pr^i_j$  для которой представлено в виде параметрических функций, геометрических примитивов САПР и операций над ними (рис. 1).

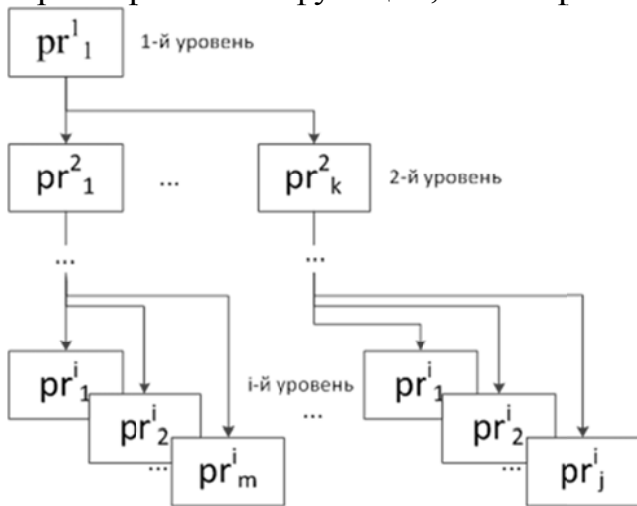


Рис. 1. Структура множества решений

где  $P_m^i = P_{m_1}^i \circ P_{m_2}^i \circ \dots \circ P_{m_k}^i$  – композиция элементов параметрических моделей одного уровня.

Согласно зарубежным исследованиям, при  $D \geq 50$  можно говорить, что управление параметрической моделью, а, следовательно, и решением при помощи обычных инструментов параметрического проектирования становится сложным.

Первый уровень в этой иерархии соответствует полностью решенной задаче по созданию нового изделия и проектной документации на него, и характеризуется сложной структурой и параметрической моделью. Эксперименты показали, что для большинства проектов для семейств машиностроительных изделий  $D(P_m^1) \geq 1000$ .

ИССП для машиностроения играет роль абстрагирующего механизма, который позволяет значительно снизить сложность работы с параметрической моделью решения за счет сокрытия и автоматизированной настройки второстепенных связей между параметрическими моделями. Также, она

Последовательное объединение узлов решений  $pr^i_j$  формирует модели, под сборки и сборки в проекте, которые можно обозначать как  $pr^i$ . Они обладают собственной параметрической моделью, формируемой композицией наследованных параметрических моделей из решений более низкого уровня.

Сложность работы с решением  $pr^i$  можно рассчитать как

$$D(P_m^i) = |P_m^i|,$$



позволяет назначать задачам из множества  $T$  решения из множества  $PR$ , которые ранее не рассматривались.

Структура ИССП может быть представлена в виде иерархической структуры (рис.2) или в виде множества:

$$PT = \{pt^1, pt^2, \dots, pt^i\},$$

где  $PT$  – структура паттернов для области;  $pt^1$  – паттерн машиностроения.

Непосредственно процесс формирования паттерна описывается функцией:

$$Pt(t_i): t_i \rightarrow pt_i = t_i \circ pr_i = \\ = (Nm, F, R, Inc, Pm),$$

где  $Nm, R, F, Pm$  имеют тот же смысл что и соответствующие поля множеств  $T$  и  $PR$ ;

$INC \subseteq R$  – подмножество ограничений проекта, формируемое его характеристиками.

Таким образом, паттерн  $pt^i$  вбирает в себя композицию  $pr^{i-1}$ , дополняя их программной оболочкой, связанной с конечной САПР через интерфейсы, и предоставляет инженеру их преимущества и объединенную параметрическую модель, но при этом скрывает избыточную информацию.

Базой для формирования структуры паттернов машиностроения послужили предоставленные для исследования модели реально применяемых машиностроительных изделий. При исследовании использовались модели, полученные в ходе разработки платформенных магнитных сепараторов и современных систем водоочистки. По предоставленным на анализ моделям был сформулирован набор элементов паттерна машиностроительного решения, представленный в таблице 1:

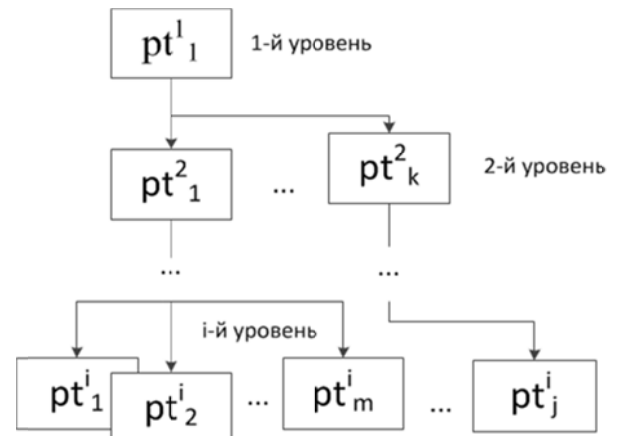


Рис. 2. Структура ИССП

№	Ключевые элементы	Обозначение	Назначение
1	Имя	$Nm$	Отражает суть поставленной задачи
2	Задача	$Tr: \{t_0, \dots, t_n   t_n \in T\}$	Показывает суть возникшей проблемы, уточняет контекст, в котором она была актуальна, или общий случай, в котором можно будет повторно применить решение
3	Результаты	$Rez$	Описывает результаты применения паттерна, динамику изменений по сравнению с другими методами решения данной задачи
4	Исходный файл	$F: \{f_1, \dots, f_n\}$	Трёхмерные сборки, подготовленные в САПР, и включаемые в нее через настройку параметрической модели. К одному паттерну может быть приложено несколько сборок, выполненных в разных САПР
5	Конструкторские документы	$CD: \{cd_1, \dots, cd_N\}$	Совокупность конструкторских документов по ГОСТ 2.102-68, описывающих сохраняемое решение

Для предоставления более подробной информации о паттерне, демонстрации методов его внедрения и формирования связей внутри системы накопленных решений абстрактный объект «паттерн» было решено дополнить элементами, представленными в таблице 2:

№	Доп. элементы	Обозначение	Назначение
1	Структура	St	Представляет внутреннюю структуру паттерна и связи между объектами
2	Элементы	El	Представляет объекты, из которых составляется паттерн, их функции и роли
3	Включение	INC: {i <sub>1</sub> , ..., i <sub>n</sub> }	Описывает методы включения паттерна в процесс проектирования и ограничения при работе с паттерном, выраженные в условиях использования. На уровне модели представляет собой набор ограничений, которым удовлетворяет сохраненный проектный артефакт.
4	Связи	Pos	Показывает внутренние и внешние связи, которые характеризуют положение паттерна внутри ИССП

Таким образом, паттерн может быть представлен в виде кортежа:

$$pt_k = (id, Nm, Tr, Rez, F, CD, St, El, INC, Pos),$$

где Nm, Rez, El – информационные элементы паттерна из таблиц 1 и 2;

Tr – задачи, решаемые паттерном: {t<sub>0</sub>, ..., t<sub>n</sub> | t<sub>n</sub> ∈ T};

F – множество файлов моделей, связанных с паттерном: {f<sub>1</sub>, ..., f<sub>N</sub>};

CD – приложенные конструкторские документы: {cd<sub>1</sub>, ..., cd<sub>N</sub>};

INC – набор ограничений, которым удовлетворяет сохраненный проектный артефакт: {inc<sub>1</sub>, ..., inc<sub>N</sub>};

St – визуальное отображение структуры паттерна;

Pos – идентификаторы связанных паттернов: {∅, id<sub>i</sub>, ..., id<sub>j</sub>} ∈ N.

Для проведения формализации предметной области и создания методик каталогизации и систематизации были использованы механизмы онтологий, позволяющие автоматизировано производить анализ знаний предметной области и подбор решений по различным критериям. Причиной использования онтологий стало сходство их иерархической структуры и решаемых задач со структурой и решаемыми задачами ИССП:

$$O = \{T, R, D\},$$

где T – термины, обозначающие объекты и понятия предметной области;

R – атрибуты терминов из T; D – определения понятий и отношений D.

Под терминами объектов и понятий (T) было решено понимать проекты машиностроительных изделий, выполненные в системах САПР и сохраненные в виде трехмерных моделей и чертежей, формализованное описание решения задач, возникших в ходе выполнения проектов, отдельные узлы изделий, которые часто встречаются в ходе проектной деятельности – иначе говоря, сами паттерны.

Под отношениями между терминами (D) следует понимать порядок применения решений для достижения успешного выполнения поставленной задачи, выраженный отношениями «родитель-потомок» в иерархической системе паттернов.

Под атрибутами терминов ( $R$ ) в случае составления онтологий для машиностроительных изделий следует понимать характеристики различных объектов и изделий, содержащихся во множестве проектов машиностроительных изделий. Так как подбор изделий для решения конкретных задач и возможность использования готовых решений из проектного репозитория организаций для решения новых задач определяется технологическими показателями, свойственными каждому конкретному изделию, то в качестве атрибутов терминов содержащихся во множестве  $T$  целесообразно использовать эксплуатационные характеристики изделий. Количество характеристик, значимых для проектирования, может быть различно для разных изделий. Изучение моделей СМИ показало, что для большинства элементов изделий достаточно располагать только несколькими наиболее важными эксплуатационными характеристиками, из которых остальные характеристики могут быть выведены в автоматическом режиме. Для каждого изделия такой набор характеристик может быть разным, однако в общем случае можно описать этот набор в виде кортежа

$$R = (r_1, r_2, \dots, r_n),$$

который позволит реализовать алгоритм подбора изделия по заданным параметрам поиска.

Основываясь на разработанной онтологической модели, был разработан механизм поиска решений в базе паттернов, наиболее полно соответствующих требованиям проектов. В основу механизма поиска была положена концепция поиска решения в условиях неполноты информации, которая основывается на математическом аппарате грубых множеств (rough sets). Используя матрицы оценки соответствия хранящихся в базе решений критериям, заданным при выполнении поиска, по матрицам отношения понятий и решаемых задач алгоритм формирует оценки релевантности и ведет отбор решений, которые могли бы быть использованы инженером для выполнения поставленной перед ним задачи.

В качестве основного компонента онтологии для проведения поиска берется набор решенных задач, сохраненных в базе паттернов

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_l\},$$

где  $l$  – количество хранимых в базе решенных задач.

Согласно заданному представлению онтологии, каждая решаемая задача связана с ограничениями предметной области. Таким образом, онтология может быть представлена уже в виде кортежа

$$O = \langle O_D, O_T \rangle,$$

где  $O_D$  – отношение паттернов и ограничений в онтологии;

$O_T$  – отношение паттернов и решаемых задач.

Эти отношения было решено представлять в виде соответствующих матриц:

$$O_D = \begin{pmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}, \quad O_T = \begin{pmatrix} t_{11} & \dots & t_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{m1} & \dots & t_{mn} \end{pmatrix},$$

где  $r_{ij} = 1$  – если  $i$ -е ограничение выполняется  $j$ -м паттерном, иначе  $r_{ij} = 0$ ;

$t_{ij} = 1$  – если  $i$ -я задача связана с  $j$ -м паттерном, иначе  $t_{ij} = 0$ .

При помощи матриц отношения паттернов, ограничений и решаемых задач были разработаны механизмы поиска и подбора решений под конкретные требования проектов на основе применения грубых множеств Павлака. Процесс подбора решений можно представить в виде последовательного выполнения 5 шагов:

1. Определение классов эквивалентности понятий.
2. Определение точности аппроксимации.
3. Вычисление значения грубой функции принадлежности паттерна запросу.
4. Определение подмножества объектов, соответствующих запросу.
5. Нахождение множества паттернов, удовлетворяющих запросу.

В ходе разработки методики выделения паттернов из проектов машиностроительной отрасли было установлено, что наиболее эффективно задача обнаружения успешных решений может быть решена при анализе выполненных на предприятии проектов по разработке семейств машиностроительных изделий.

План работ по проектированию сложных машиностроительных изделий с использованием паттернов проектирования представлен на Use-Case диаграмме (рис. 3).

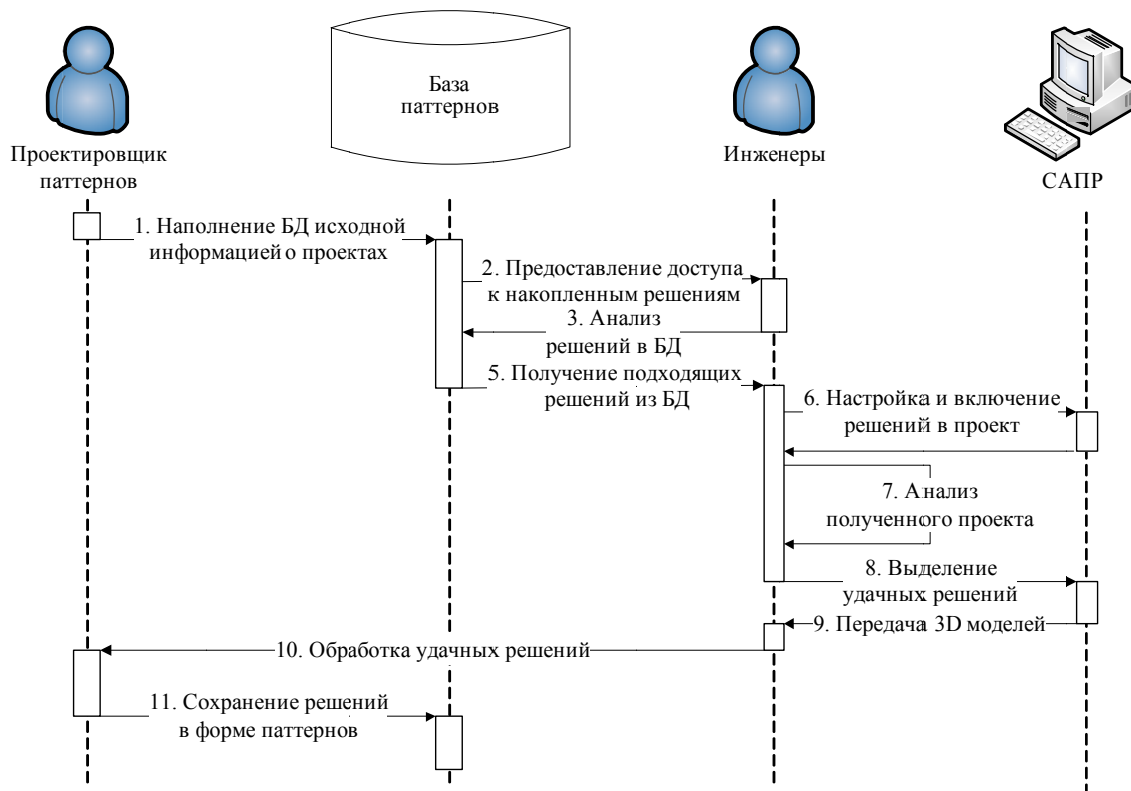


Рис. 3. Use-Case диаграмма проектирования с помощью паттернов

Процесс разработки паттерна можно условно разделить на несколько шагов:

1. Анализ ряда выполненных проектов или разработка спецификации на предполагаемое семейство изделий.
2. Анализ эффективности применения паттернов для решения задачи. Для этого можно использовать коэффициент оценки эффективности применения паттерна:

$$K_{\text{э.п.}} = \frac{T_{\text{р.}} \times (N+1)}{T_{\text{р.п.}} + T_{\text{п.п.}} \times N}$$

где N – предполагаемое количество повторного использования решения;

$T_{\text{р.п.}}$  – время, затрачиваемое на разработку паттерна и проекта;

$T_{\text{п.п.}}$  – время перепроектирования при помощи паттерна;

$T_{\text{р.}}$  – время, затрачиваемое на разработку проекта.

3. Подготовка информации для заполнения обязательной и дополнительной части паттерна.
4. Сохранение полученной информации в виде элемента структуры паттернов.
5. Определение ключевых параметров для каждого сохраняемого решения и настройка функций переноса и синтеза ключевых параметров связанных паттернов.

Методика проектирования на основе паттернов машиностроения может быть представлена через совокупность теоретической части методики, методологического базиса и его реализации.

Теоретическая часть методики заключается в автоматизированной трансформации хранимого в базе артефакта проектирования в трехмерную модель, представляющую решение конкретной задачи проектирования и выполненную в средствах конкретной САПР, используемой на предприятии через автоматизированное управление параметрической моделью.

Этапы применения методики проектирования выглядят следующим образом:

1. Выбрать драйвер для подключения к САПР, используемой на предприятии.
2. Произвести выбор паттерна, подходящего для решения поставленной задачи, с использованием инструментов поиска и подбора.
3. Оценить возможность использования выбранного паттерна для решения поставленной задачи через сравнение предполагаемых требований и ограничений к решению и требований и ограничений паттерна.
4. Конкретизировать абстрактный проектный артефакт, приложенный к паттерну, через настройку управляющих параметров паттерна с целью его адаптации к требованиям проекта.
5. Если есть соответствие абстрактного решения требованиям проекта, то сформировать конкретный артефакт проектирования на платформе целевой САПР.
6. Если необходимо, внести изменения в полученные трехмерные модели или полученную документацию, следует повторить методику со второго шага до генерации решения, удовлетворяющего всем требованиям проекта.

Методический базис может быть представлен в виде совокупности стратегии методики и ее тактики.

Стратегия методики перепроектирования семейств сложных машиностроительных изделий состоит в достижении трех целей:

1. Использование методики проектирования на основе паттернов обеспечивает возможность перепроектирования семейств сложных машиностроительных изделий без привязки к конкретным САПР, их модификацию без явного взаимодействия с параметрическими моделями, разработанными с использованием инструментов конкретных САПР, и дальнейшее повторное

использование накопленных решений и расширяемой библиотеки проектных артефактов.

2. Модификация сохраненных проектных артефактов и их адаптация к требованиям новых проектов производится путем настройки параметров паттерна и передачи их в функции из библиотек взаимодействия с конкретными САПР, которые обеспечивают связь паттернов и инструментов моделирования машиностроительных изделий.
3. Повторное использование проектных артефактов за счет формирования библиотеки паттернов.

Тактика методики перепроектирования семейств сложных машиностроительных изделий заключается в использовании методик проектирования при помощи паттернов и инструментов для работы с паттернами для достижения поставленных в стратегии эффектов:

В реализацию методики проектирования семейств СМИ входят:

- Формирование паттерна проектирования машиностроительного изделия.
- Формирование ИССП из паттернов в проектом репозитории.
- Формирование абстрактного проектного артефакта, выполненного на предприятии.
- Формирование библиотеки паттернов.
- Формирование конкретного проекта, выполненного в среде конкретной САПР.

В результате выполнения работ, описанных во второй главе, была разработана структура паттерна для машиностроения, методика проектирования на основе паттернов и алгоритм подбора проектных артефактов для использования в других контекстах проектирования. Ключевая информация о паттернах машиностроения приведена в таблице 3:

Признак	Паттерны машиностроения
Элементы паттерна	Имя, Задача, Результаты, Конструкторские документы, Структура, Элементы, Включение, Исходный файл, Связи
Способ включения в проект	Паттерны могут включаться в проект независимо друг от друга или составлять единое целое как фрагмент языка паттернов. Для работы с паттернами предусмотрены специализированные средства автоматизации выделения, включения и настройки
Использование одиночных паттернов	Использование одиночных паттернов возможно, так как паттерн может описывать широкий класс задач решаемых в проектировании. Использование паттернов в рамках языка паттернов позволяет получать дополнительные преимущества в виде комплекта документации по проекту и повышенного качества решения

**В третьей главе** показаны результаты разработки инструментальных средств поддержки проектирования с помощью паттернов в области машиностроения. Приведена информация по разработке требований к функциям САПР, разработке требований к структуре и компонентам САПР «PatternSystem», разработке программного обеспечения, разработке способов взаимодействия САПР с API систем проектирования и формировании методик проектирования с использованием разработанной системы.

По результатам анализа основных функций крупных современных САПР и процесса проектирования сложных машиностроительных изделий были определены основные функции, которые должна поддерживать разрабатываемая САПР:

1. Формирование трехмерных моделей по результатам выбора паттернов, обеспечивающих выполнение задач поставленных в ходе проектирования;
2. Предоставление инженеру доступа к сохраненным в базе паттернов удачным решениям;
3. Представление справочной информации об уже примененных и сохраненных в виде паттернов решений;
4. Предоставление расширенного инструментария поиска решений под конкретные требования задачи, возникшей в ходе проектирования;
5. Обеспечение множественного доступа к базе с паттернами в рамках распределенной работы системы;
6. Предоставление инженеру средств сохранения удачных проектных решений в базе в виде паттернов;
7. Предоставление инструментов поиска решения в базе паттернов по требованиям, предъявляемым к выполняемому проекту;
8. Предоставление инженеру средств адаптации и включения выбранных паттернов в разрабатываемый проект;
9. Разграничение уровней доступа для пользователей системы, с целью обеспечения качества сохраняемых решений;
10. Интеграция с существующими САПР, которые используются на предприятиях;
11. Формирование документации по полученному решению и по использованным в проекте наработкам.

По результатам исследования наиболее распространенных САПР в области машиностроения было принято решение о выделении следующих компонентов в разрабатываемой САПР (рис.4).

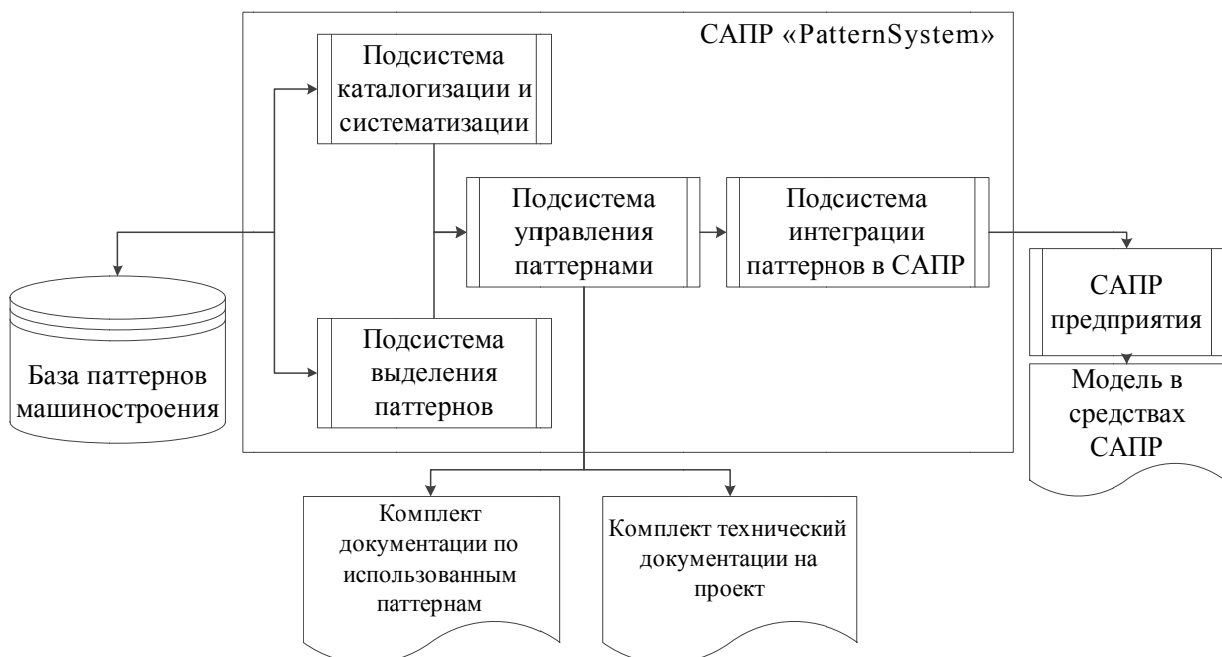


Рис. 4. Обобщенная схема САПР «PatternSystem»

В разработанной системе предусмотрены инструменты по созданию комплектов документации по разрабатываемому проекту и по паттернам, которые были использованы в нем, инструменты подбора проектных артефактов для использования в других контекстах проектирования, инструменты каталогизации и систематизации хранимых паттернов. Структура системы включает в себя базу паттернов машиностроения, подсистему выделения паттернов, подсистему управления паттернами, подсистему интеграции паттернов в САПР и подсистему систематизации и каталогизации паттернов:

Подсистема систематизации и каталогизации паттернов. Данная подсистема отвечает за сохранение полученной информации о паттернах на физических накопителях в представлении, пригодном для последующего использования с системами автоматизированного проектирования.

Подсистема выделения паттернов машиностроения. На данную подсистему возлагаются функции связи с САПР и выделению графической модели из нее в виде, пригодном для сохранения в базе данных.

Подсистема управления паттернами. На данную подсистему возлагаются функции связи с САПР, предварительному вычислению и настройке параметров решения и включению полученной при визуализации решения графической модели в проект, выполняемый инженером.

Подсистема интеграции паттернов в САПР. На данную подсистему возлагаются задачи по адаптации полученного решения к применению в конкретной САПР предприятия, перестроении трехмерной модели в соответствии с настроенными параметрами и параметрическими ограничениями и зависимостями.

В качестве инструментов реализации САПР «PatternSystem» были выбраны язык C#, так как полная поддержка возможностей ООП является актуальной в связи с необходимостью разработки универсального интерфейса подключения к САПР, и бесплатная, широко распространенная СУБД MySQL.

В качестве архитектуры разрабатываемой системы была применена архитектура «Клиент – Сервер». Она позволяет говорить о централизованном хранении накопленной информации, снижении вычислительной нагрузки на рабочие станции конечных пользователей, обеспечении различных уровней доступа к хранимым решениям и снижении затрат на обеспечение целостности базы данных в условиях работы системы в многопользовательском режиме. Для обеспечения возможности работы при отключении Интранет-сети предприятия, использованы отсоединенные источники для работы и хранения данных, которые синхронизируются с базой паттернов при восстановлении связи.

Для обеспечения интеграции с широким спектром систем, которые могут использоваться на предприятиях отрасли машиностроения, функции подключения и работы с САПР были вынесены в отдельный модуль, который реализован в виде внешней DLL библиотеки. Модуль подключения может быть заменен или модифицирован без внесения изменений в основной функционал системы, обеспечивая возможность подключения к конкретной САПР машиностроения, используемой на предприятии. САПР «PatternSystem» выполнена как самостоятельный комплекс инструментов, средств



проектирования и средств представления информации о паттернах. Такое исполнение позволяет вести работу с базой паттернов без необходимости иметь установленную систему проектирования на локальной рабочей машине.

При разработке способов хранения накопленных решений в базе паттернов было выявлено два подхода, которые позволяют представлять абстрактный объект, которым является паттерн, в виде набора конкретных полей:

1. Параметризованно-декларативный подход, при котором в базе данных будут храниться готовые узлы, описываемые паттернами, и функциональные зависимости, позволяющие производить его настройку.
2. Параметризованно-процедурный подход, при котором в базу данных будут заноситься алгоритмы формирования узла.

Анализ выявленных подходов показал преимущества параметризованно-декларативного подхода, обеспечивающего лучшие характеристики быстродействия, надежности и скорости внедрения паттернов в проект. Для выбранного метода хранения была разработана структура базы данных, наиболее полно соответствующая выбранному подходу к хранению паттернов. После того как были разработаны структура паттерна для машиностроения и основные алгоритмы проектирования с их привлечением, возник вопрос о том, каким именно образом определять место паттерна в ИССП, как хранить информацию о месте паттерна и как выводить ее пользователю для просмотра.

Разработанные инструменты проектирования с применением паттернов позволяют классифицировать паттерны для машиностроения по следующим категориям:

1. По области охвата:
  - а. Весь проект.
  - б. Отдельные функциональные узлы.
  - с. Компоненты узлов.
2. По объекту применения.
3. По реализуемым функциям.

В ходе исследования возможных вариантов визуализации отдельных паттернов и общей структуры ИССП был выбран подход, основанный на разделении информации на две категории, каждая из которых будет выводиться своим способом.

- Полный список паттернов, сформированный из всех объектов, хранящихся в системе, наиболее удобно отображать в виде иерархического дерева.
- Использование древовидной структуры для отображения имеющихся паттернов также позволяет представить интеграцию паттернов между собой в рамках ИССП.

Проектирование сложных машиностроительных изделий с применением разработанной системы можно разделить на несколько этапов:

1. Начальным этапом работы является заполнение библиотеки паттернов набором решений, стандартных для конкретной проектной области. Разработчик паттернов при помощи специальных средств подсистемы выявления и каталогизации должен выделить удачные решения из проектов и собрать их в базе паттернов.

2. При проектировании и перепроектировании, накопленные решения настраиваются и адаптируются под нужды конкретной задачи и включаются в проект.
3. Подсистема интеграции паттернов в САПР получает адаптированный к внедрению в проект паттерн, преобразует его трехмерную модель и настраивает в соответствии с заданными параметрами.
4. В ходе работы над проектом, на проектировщика возлагается задача фиксации удачных решений и сохранения их в базе паттернов. Процесс работы с системой «PatternSystem» возвращается на этап №2.

Общий вид системы, полученной в результате работ описанных в третьей главе, представлен на рис. 5

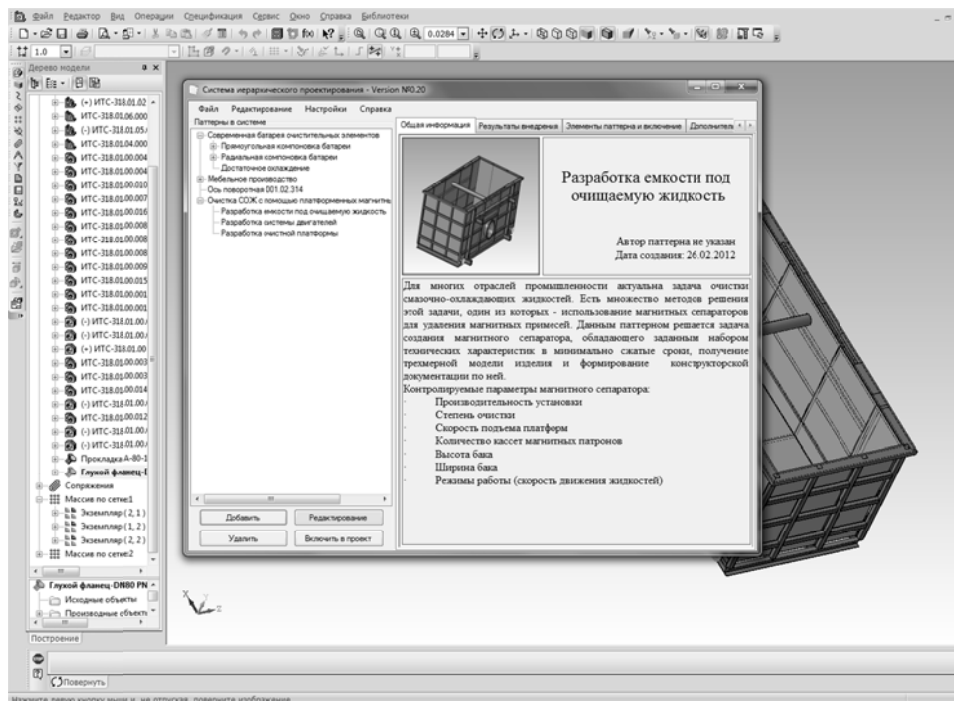


Рис. 5. Работа с ИССП в САПР «PatternSystem»

В четвертой главе представлены разработанные в ходе работы с полученной системой проектирования структуры паттернов для области машиностроения и результаты исследования эффективности инструментов на основе паттернов при проектировании.

В результате применения полученных методик проектирования на основе паттернов для повышения эффективности работы с предоставленными моделями машиностроительных изделий были разработаны две ИССП, которые были внедрены на предприятиях. По предоставленным ЗАО «Системы водоочистки» материалам были подготовлены инструменты, позволяющие за минимальное время выполнять перепроектирование магнитных сепараторов и батарей очистных элементов. Структуры ИССП для магнитных сепараторов и батарей очистных элементов представлены на рис. 6 и рис. 7.

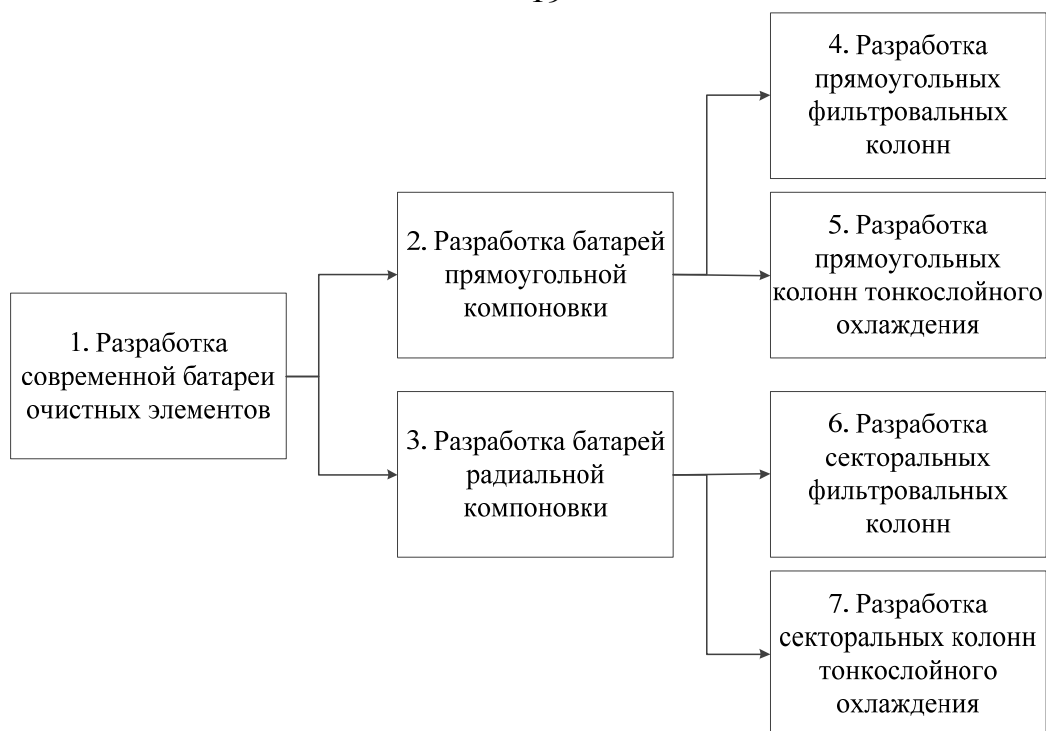


Рис. 6. ИССП батарей очистных элементов

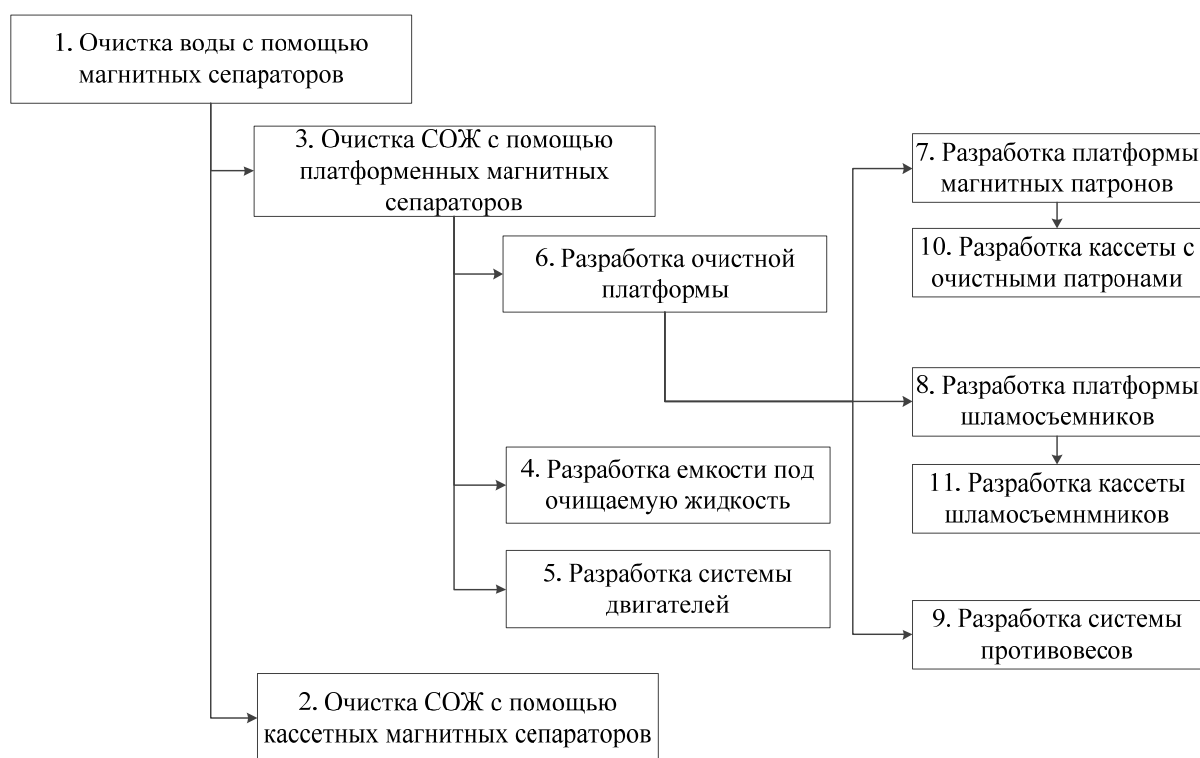


Рис. 7. ИССП для магнитных сепараторов

Разработанная САПР «PatternSystem» была опробована на ряде тестовых примеров. На рис. 8 представлена диаграмма изменения времени, затрачиваемого на модификацию проекта при переходе от стандартных средств параметрического моделирования к моделированию на основе паттернов.

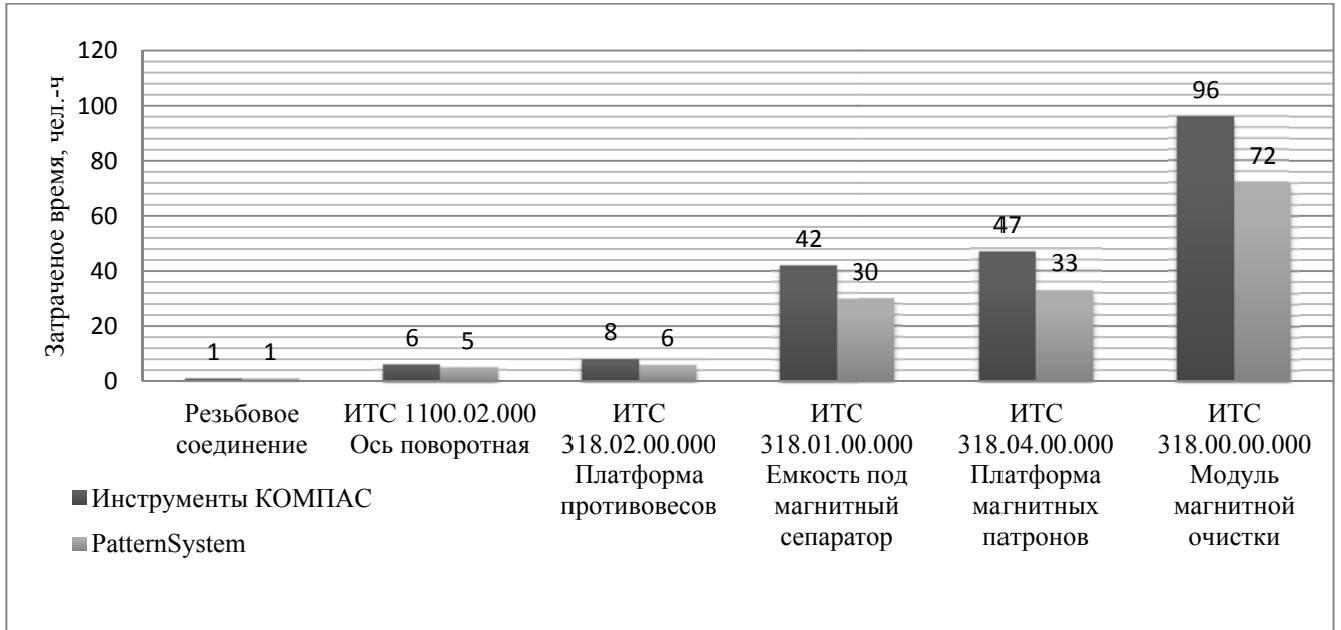


Рис. 8. Время модификации проектов

На рис. 9 показан процент снижения времени перепроектирования при использовании системы для работы с изделиями, содержащими от 32 до 2631 параметрических зависимостей.

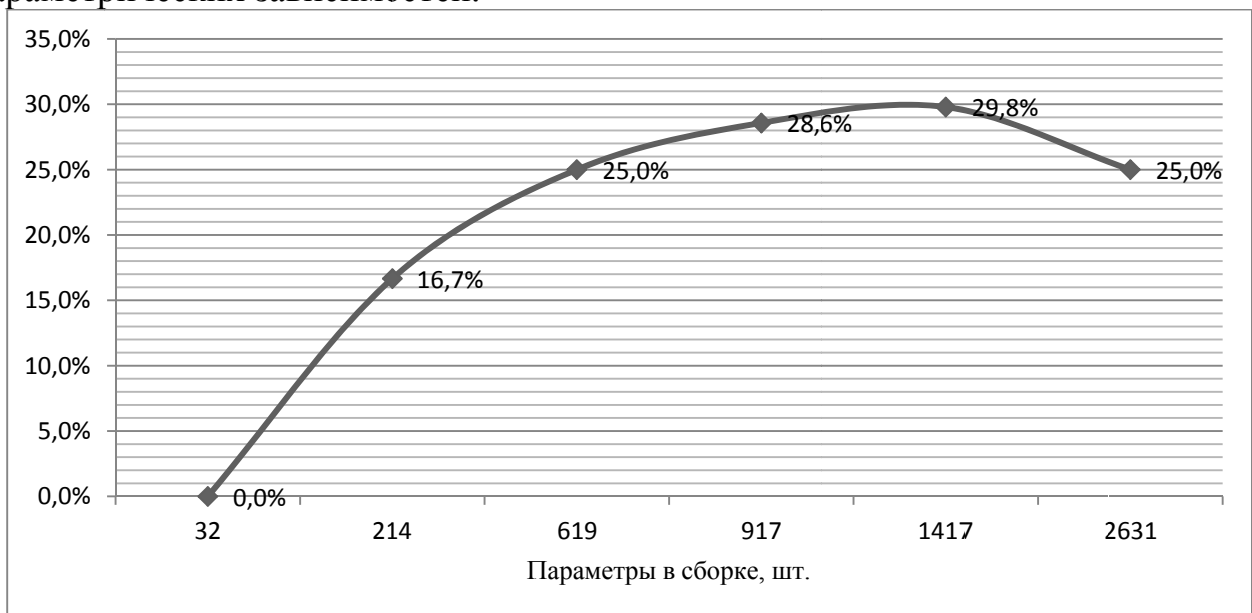


Рис. 9. Повышение эффективности перепроектирования

В ходе испытаний системы был разработан ряд паттернов, описывающих изделия, предоставленные для исследований, и язык паттернов, связывающий их в единую иерархическую структуру. В качестве примера можно привести набор паттернов для проектирования магнитных сепараторов, позволяющих получать разные изделия, модифицируя входные параметры. 3D модели, полученные с использованием этих паттернов, представлены на рис. 10.

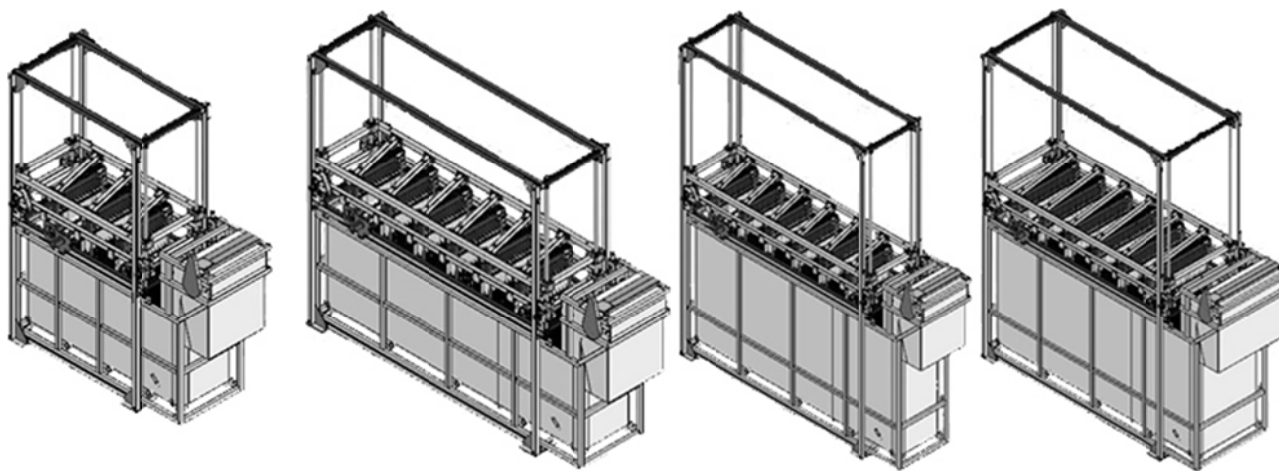


Рис. 10. Магнитные сепараторы, созданные с применением паттернов

**В заключении** приведены основные результаты и научная новизна диссертационной работы, сведения об апробации и публикациях, внедрении результатов работы.

**В приложениях** приведены копии актов о внедрении результатов диссертационной работы, свидетельств о государственной регистрации программы, ее модулей, базы данных и разработанные ИССП для проектирования батарей очистных элементов и изделий семейства магнитных сепараторов.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

**К основным результатам** работы относятся:

1. Структура паттерна для области машиностроения, позволяющая проектировать и перепроектировать сложные машиностроительные изделия.
2. Методика проектирования семейств сложных машиностроительных изделий на основе паттернов.
3. Система автоматизированного проектирования для семейств сложных машиностроительных изделий на базе паттернов.
4. Механизм подбора проектных артефактов для использования в других контекстах проектирования на основе грубых множеств Павлака.
5. ИССП для проектирования современных систем водоочистки.
6. ИССП для проектирования платформенных магнитных сепараторов.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Кандаулов, В. М Система автоматизированного проектирования сложных машиностроительных изделий на базе паттернов проектирования / В. М. Кандаулов, В. В. Шишкин // Автоматизация процессов управления. – 2011. – №3(25). – С. 56-62

### Публикации в иных изданиях

2. Кандаулов, В. М. Анализ механизмов параметризации с точки зрения паттернов проектирования / В. М. Кандаулов, В. В. Шишкин // Вузовская наука в современных условиях: тез. док. 43-й науч.-тех. конф. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – С. 262.
3. Кандаулов, В. М. Методы проектирования сложных машиностроительных изделий на основе паттернов / В. М. Кандаулов, В. В. Шишкин // Вузовская наука в современных условиях: тез. док. 44-й науч.-тех. конф. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 97.

4. Кандаулов, В. М. Способы выявления паттернов из сложных машиностроительных изделий // Вузовская наука в современных условиях: тез. док. 45-й науч.-тех. конф. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – С. 148.
  5. Кандаулов, В. М. Методы хранения паттернов проектирования сложных машиностроительных изделий для систем параметризации в реляционных базах данных / В. М. Кандаулов, В. В. Шишкин // Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации: сб. тез. конф. – Ульяновск : УлГТУ, 2009. – С. 40 – 45.
  6. Кандаулов, В. М. Разработка структуры паттернов для системы проектирования сложных машиностроительных изделий // Информационные системы и измерительно-вычислительные комплексы: сб. докладов студентов и аспирантов. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – С. 31 – 32.
  7. Kandaulov, V. M. Design methods on pattern basis for complex machine-building products / V. M. Kandaulov, V. V. Shishkin // Interactive Systems: Problems of Human-Computer Interaction. – Ulyanovsk State Technical University, 2009.
  8. Kandaulov, V. M. Design methods and a computer-aided design system on pattern basis / V. M. Kandaulov, V. V. Shishkin // Interactive Systems: Problems of Human-Computer Interaction. – Ulyanovsk State Technical University, 2011.
  9. Кандаулов, В. М. Методы проектирования сложных машиностроительных изделий на основе паттернов / В. М. Кандаулов, В. В. Шишкин // Информационные технологии: межвузовский сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2009.
  10. Кандаулов, В. М. Разработка подсистемы каталогизации и систематизации для системы автоматизированного проектирования сложных машиностроительных изделий на основе паттернов / В. М. Кандаулов, В. В. Шишкин // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2010.
  11. Кандаулов В. М. Реализация межпрограммного взаимодействия для системы иерархического проектирования сложных машиностроительных изделий // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2011
  12. Кандаулов В. М. Система автоматизированного проектирования сложных машиностроительных изделий на базе паттернов и набор онтологий для нее // Информатика, моделирование, автоматизация проектирования: сборник научных трудов. – Ульяновск : УлГТУ, 2011
- Свидетельства о регистрации:**
13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613161 РФ. Подсистема управления параметрическими моделями / Шишкин В. В., Кандаулов В. М.; зарег. 21.04.2011.
  14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011613160 РФ. Система автоматизированного проектирования иерархических моделей с применением паттернов «PatternSystem» / Шишкин В. В., Кандаулов В. М.; зарег. 21.04.2011.
  15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012610529 РФ. Система построения параметрических моделей семейств сложных машиностроительных изделий в среде САПР КОМПАС / Шишкин В. В., Кандаулов В. М.; зарег. 10.01.2012.
  16. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2011620297 РФ. База данных для системы автоматизированного проектирования сложных машиностроительных изделий с применением паттернов «PatternSystem» / Шишкин В. В., Кандаулов В. М., Хайрова Т. П.; зарег. 21.04.2011.

## **ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

- ИССП – иерархически структурированная система паттернов  
 САПР – система автоматизации проектирования  
 СМИ – сложное машиностроительное изделие

Кандаулов Валерий Михайлович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕМЕЙСТВ  
СЛОЖНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ  
НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

Подписано в печать 22.03.2012. Формат 60x84/16.

Усл. п. л. 1,40 Тираж 100 экз. Заказ № 312

Типография УлГТУ. 432027. Ульяновск, Сев. Венец, 32

