

УДК 004.9

В.В. Шишкин, В.М. Кандаулов

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА БАЗЕ ПАТТЕРНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

*Шишкин Вадим Викторович, кандидат технических наук, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Профессор кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» Ульяновского государственного технического университета. Имеет статьи в области разработки САПР, интеллектуальных систем, операционных систем реального времени и встраиваемых систем. [e-mail: shvv@mail.ru].*

*Кандаулов Валерий Михайлович, аспирант кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Имеет статьи в области разработки САПР. [e-mail: kandaulov@gmail.com].*

### Аннотация

В статье рассмотрена система автоматизированного параметрического проектирования сложных машиностроительных изделий, основанная на инновационной методологии паттернов проектирования для области машиностроения. Рассмотрены основные принципы проектирования с использованием паттернов, преимущества такого подхода, а также структура, функции и реализация системы автоматизированного проектирования с помощью паттернов.

Ключевые слова: методология паттернов, проектирование сложных машиностроительных изделий, параметризованная модель, САПР, автоматизированное проектирование.

*Vadim Viktorinovich Shishkin, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Radio-Engineering of Ulyanovsk Polytechnic Institute; Professor at the Chair 'Measuring and Computing Complexes' of Ulyanovsk State Technical University; author of articles in the field of the development of CAD, intellectual systems, real-time operating systems and embedded systems. e-mail: shvv@mail.ru.*

*Valery Mikhailovich Kandaulov, post-graduate student at the Chair 'Measuring and Computing Complexes' of Ulyanovsk State Technical University; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; author of articles in the field of the development of CAD-systems. e-mail: kandaulov@gmail.com.*

### Abstract

The article considers a computer-aided parametric design system for complex machine-building products, based on an innovation design-pattern methodology for the machine-building field. It also considers basic principles of the design using patterns, advantages of such approach as well as the structure, functions and implementation of the CAD-system using patterns.

Key words: pattern methodology, design of complex machine-building products, parameterized model, CAD-systems, computer-aided design.

### 1 МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАТТЕРНОВ

В настоящее время практически на всех промышленных предприятиях создаются электронные базы данных чертежей проектируемых и выпускаемых изделий. Это обусловлено тем, 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, взяв их в качестве прототипов новых изделий [1].

Проблема сокращения времени разработки и ее себестоимости становится еще более актуальной в случае

выпуска сложных машиностроительных изделий в рамках определенного семейства изделий малыми сериями или единичными экземплярами. Эффективным методом решения данной задачи является создание параметрической модели семейства изделий и дальнейшая работа с ней [2]. Основные методы параметрического моделирования и их особенности приведены в таблице 1.

Однако, как показали проведенные нами исследования, для решения ряда задач современного машиностроения существующие инструменты параметрического моделирования оказываются недостаточно удобными.

В сложных машиностроительных изделиях количество деталей и сборок, для которых необходимо создавать, отслеживать и модифицировать параметрические зависи-

Таблица 1

## Сравнение методов параметризации

Метод параметризации	Работа с логическими выражениями	Модификация значений параметров	Модификация связей объектов	Использование переменных	Добавление новых параметров	Автоматическое наложение ограничений
Табличная параметризация	Нет	Да	Нет	Да	Нет	Нет
Вариационная параметризация	Да	Да	Нет	Да	Да	Нет
Иерархическая параметризация	Да	Нет	Да	Нет	Нет	Да
Геометрическая параметризация	Нет	Да	Да	Нет	Да	Да
Синхронная параметризация	Да	Да	Да	Нет	Да	Да

мости, очень велико, а предоставляемые САПР средства не обладают возможностью обеспечить достаточное удобство работы. Анализ моделей машиностроительных изделий показал, что законченный проект включает в себя тысячи параметров, которые инженер должен отслеживать и редактировать для изменения модели. При эффективном и детально проведенном планировании параметрической модели количество связей можно уменьшить до нескольких сотен [3]. Однако, согласно исследованиям специалистов, проектировщик может держать в уме не более 50 параметров без ущерба для основной задачи [4, 5].

Для небольших проектов применение инструментов параметрического моделирования приводит к заметному увеличению времени проектирования. Сложившаяся на предприятиях практика свидетельствует о том, что инженеры предпочитают полностью пересоздавать мелкие модели, вместо того чтобы затрачивать дополнительное время на создание параметрических моделей [6].

Дальнейшим развитием параметрического проектирования является проектирование с применением методологии паттернов. В общем случае, паттерн представляет собой формализованное решение часто встречающейся и успешно решенной задачи проектирования, абстрагированное для применения в других контекстах проектирования. Структура и задачи паттернов, а также методы их применения сильно зависят от решаемой задачи и от отрасли, в которой предполагается их использовать. В зависимости от области приложения паттерн может представлять собой рекомендации по выполнению работ, стандартную конструкцию, доказавшую свою эффективность, или простое текстовое описание способа решения задачи. Паттерны уже доказали свою эффективность в отраслях архитектуры и программирования. Однако, согласно проведенным патентным исследованиям, на момент начала работ не велось никаких проектов по разработке и внедрению языка паттернов для области машиностроения.

Проведенные нами исследования показывают, что одиночный паттерн способен полностью решать все задачи, которые возникают в процессе параметризации машиностроительных изделий. Следует отметить, что использование паттернов в рамках иерархической структуры языка паттернов значительно повышает эффективность

получаемых решений. Таким образом, язык паттернов является следующим шагом на пути развития механизмов параметризации. Внедрение методик проектирования при помощи паттернов позволит рассмотреть автоматизацию проектирования сложных машиностроительных изделий с новой стороны и перейти от параметризации на уровне узлов и графических сопряжений к параметризации на уровне функциональных связей. Иерархия паттернов характеризуется горизонтальными и вертикальными связями между ними, где вертикальные связи показывают последовательность примененных решений и алгоритм формирования паттернов более высокого уровня из паттернов более низких уровней. Горизонтальные связи обеспечивают взаимосвязь паттернов одного уровня, а также предоставляют возможность замещения одного паттерна другим для модификации решения.

Изучив результаты внедрения паттернов в различных областях, мы пришли к выводу, что применение паттернов в машиностроении позволит достичь следующих преимуществ:

1. Применение паттернов предоставляет проектировщику возможность проведения параметризации без заострения внимания на огромном количестве мелких параметров модели, их связях и соответствиях;

2. Совокупность паттернов проектирования, представляет собой единый словарь проектирования, который является унифицированным средством для общения конструкторов друг с другом;

3. Методики работы, включающие в себя использование паттернов как средства проектирования, позволяют пропустить выполнение ряда этапов работ по созданию семейств машиностроительных изделий и тем самым ускорить процессы перепроектирования;

4. Наличие библиотеки паттернов, которая будет включать в себя набор готовых, уже опробованных и технически обоснованных решений, позволит заметно сократить время принятия решений при проектировании и избежать грубых ошибок;

5. Применение паттернов как средства проектирования позволит говорить о передаче накопленного опыта между различными проектами на функционально-смысловом уровне, так как паттерн по своей сути предпо-

лагают удачность решения определенной конструкторской или технической задачи;

6. Применение паттернов повышает устойчивость проектируемой системы к изменению требований и упрощает последующую модернизацию системы;

## 2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ ПАТТЕРНОВ

По результатам изучения требований, предъявляемых к системам автоматизированного проектирования в области машиностроения, и анализа разработанных нами методов проектирования при помощи паттернов была создана специализированная система автоматизированного проектирования «PatternSystem». Обобщенная структурная схема системы представлена на рисунке 1.

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. В качестве архитектуры системы была выбрана классическая архитектура «Клиент – Сервер». Она позволяет говорить о централизованном хранении накопленной информации, снижении вычислительной нагрузки на рабочие станции конечных пользователей и снижении затрат на обеспечение целостности базы данных в условиях работы системы в многопользовательском режиме.

На этапе проектирования системы в нее были заложены возможности по созданию комплектов документации по разрабатываемому проекту и по паттернам, которые были использованы в нем. Также в нее заложена возможность ее последующей интеграции с подавляющим большинством САПР, используемым в области машиностроения. Это достигается за счет применения паттернов программирования «Адаптер» и «Мост» и выделения

средств подключения к внешним САПР в отдельный модуль, связанный с остальной частью системы универсальным интерфейсом доступа.

Методику проектирования сложных машиностроительных изделий с применением подобной системы можно разделить на несколько этапов:

1. Начальным этапом работы с системой проектирования следует считать заполнение библиотеки паттернов набором стандартных решений для конкретной проектной области. Разработчик паттернов при помощи специальных средств подсистемы выявления и каталогизации должен выделить удачные решения из проекта и собрать их в базе паттернов;

2. При выполнении работ по проектированию накопленные в базе решения включаются в проект и адаптируются под нужды конкретной задачи средствами подсистемы управления паттернами. Инструменты этой подсистемы направлены на решение задач позиционирования, вычисления и контроля корректности параметров, формирующих решение;

3. Подсистема интеграции паттернов в САПР, используемая на предприятии, получает адаптированный к внедрению в проект паттерн, преобразует его в часть сборки более высокого уровня и настраивает в соответствии с заданными параметрами;

4. Непосредственно в ходе работы над проектом на проектировщика возлагается задача фиксации удачных решений и сохранения их в базе паттернов. Таким образом, процесс работы с системой «PatternSystem» возвращается на этап № 2.

Следует отметить, что для эффективного выявления паттернов проектировщик должен быть знаком с методологией и терминологией средств паттернов в той же мере, в которой он должен владеть навыками внедрения паттернов в реализуемые проекты и навыками работы в САПР.



Рис. 1. Структурная схема системы проектирования с применением паттернов

### 3 Внутренняя структура паттерна, используемая в системе

Процесс формирования готового решения при помощи представляемой системы изображен на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, процесс формирования проектного решения в системе «PatternSystem» включает в себя не только построение модели в САПР, но и формирование комплектов документации, соединение модели проекта и его описания в единый объект, проверка проекта путем различных испытаний и его доработка с учетом результатов.

С учетом специфики представления машиностроительных изделий в системах САПР, необходимо, чтобы в этой отрасли сущность «паттерн» обладала набором полей для идентификации, описания и обоснования важности предлагаемого решения, а также для хранения самого решения. По предоставленным на анализ моделям был сформулирован и заложен в ядро системы следующий набор ключевых элементов машиностроительного решения:

**1. Имя.** Название паттерна, включающее обозначение проблемы и ее решение. Этот элемент является важным для формирования словаря паттернов и используется для организации ключей библиотеки паттернов в системе;

**2. Задача.** Описание того, как и когда следует применять паттерн. Этот раздел отвечает за накопление информации о задаче, для решения которой был применен паттерн, и сохранение контекста, в котором она возникла. Сюда же можно включить перечень условий, при выполнении которых имеет смысл применять данный паттерн;

**3. Результаты.** Это следствия применения паттерна и разного рода компромиссы. Поскольку в проектировании повторное использование зачастую является важным фактором, то к результатам следует относить и влияние принятого решения на степень гибкости, расширяемости и переносимости решений;

**4. Исходный файл.** Разрабатываемая система предполагает возможность включения паттернов из библиоте-

ки в проект, выполняемый в одной из САПР. Для реализации этой возможности необходимо либо иметь ссылку на исходный файл с моделью, либо хранить файл с алгоритмом получения модели.

Перечисленные выше 4 поля сделаны обязательными для сущности «паттерн». В случае если одно из полей было оставлено пустым, при подключении паттерна из базы в разрабатываемый проект может нарушиться концепция паттерна, как законченного и успешного решения, и снизиться общее качество получаемого решения. Для предоставления более детальной информации о методах внедрения и формирования связей внутри накопленных решений сущность «паттерн» может быть расширена следующими дополнительными полями:

**5. Общее изображение.** Это изображение, которое позволяет инженеру быстро понять суть паттерна и увидеть примерный результат от его внедрения. Для данного поля в системе предусмотрено использование схем и изображений;

**6. Структура.** Представление внутренней структуры паттерна и объектов, составляющих его структуру. Для данного поля в системе предусмотрено использование схем и изображений;

**7. Элементы.** Объекты, из которых составляется паттерн. Их функции и роли;

**8. Включение.** Описание методов включения паттерна непосредственно в процесс проектирования. Сюда же заносится и описание различных особенностей применения паттерна;

**9. Связи.** Внутренние и внешние связи, которые характеризуют положение паттерна внутри языка паттернов.

При переходе от предварительного проектирования системы к конкретной реализации на языке программирования поля сущности «паттерн» были заменены на соответствующие атрибуты и дополнены рядом полей, упрощающих хранение и систематизацию дополнительной информации.

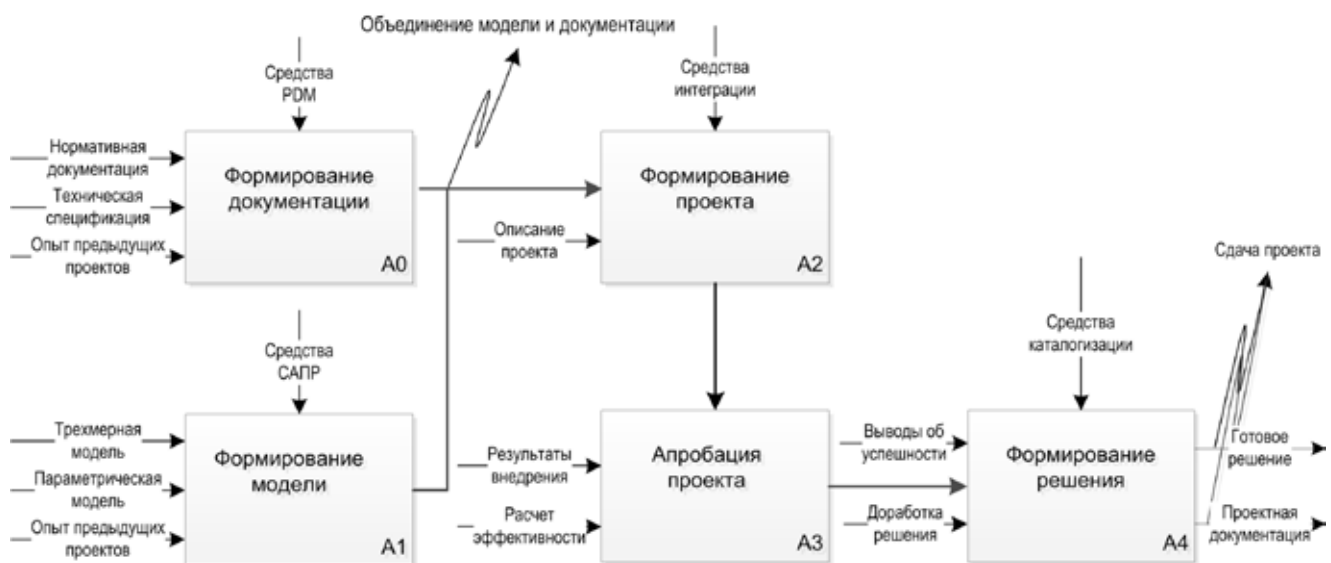


Рис. 2. Схема формирования проектного решения

#### 4 МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ ПАТТЕРНОВ ПРИ ПОМОЩИ «PATTERN SYSTEM»

Согласно предлагаемой нам методике, процесс выделения паттернов из проблемной области можно представить в виде следующих шагов:

1. Нахождение повторяющихся последовательностей в процессе проектирования;
2. Прогнозирование вероятности повторного применения решения;
3. Анализ эффективности применения паттернов для решения данной конкретной задачи;
4. Сбор необходимой информации для формирования документации к паттерну;
5. Применение специализированных средств сохранения информации о паттерне.

Доработка проекта в формат паттерна требует дополнительных временных затрат, и, соответственно, не всегда эти затраты бывают оправданы. Ключевым моментом при принятии решения о целесообразности создания паттерна можно считать определение возможности применения подобного решения в последующих проектах.

Для того чтобы определить целесообразность создания паттерна, необходимо оценить временные затраты на разработку и предполагаемый временной выигрыш от последующего применения паттерна. Для этого мы предлагаем использовать коэффициент эффективности применения паттерна (формула 1):

$$K_{э.п.} = \frac{T_{p.} \times (N + 1)}{T_{p.п.} + T_{n.п.} \times N}, \quad (1)$$

где  $N$  – предполагаемое количество повторного использования решения;

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

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

$T_{p.}$  – время, затрачиваемое на разработку проекта.

#### 5 МЕТОДИКИ ХРАНЕНИЯ И КАТАЛОГИЗАЦИИ ПАТТЕРНОВ

При разработке подсистемы систематизации и каталогизации паттернов сложных машиностроительных изделий возникла необходимость разработки методики их хранения. Так как подсистема каталогизации и систематизации подразумевает хранение решений в базе данных, были разработаны и изучены два подхода к хранению паттернов в базе данных:

- **Параметризованно-декларативный подход**, при котором в базе данных будут храниться готовые узлы, описываемые паттернами, и функциональные зависимости, позволяющие производить его настройку;

- **Параметризованно-процедурный подход**, при котором в базу данных будут заноситься алгоритмы формирования узла.

Анализ данных 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 [7]. После того как были разработаны структура паттерна для машиностроения и основные алгоритмы проектирования с их привлечением [8], возник вопрос о том, каким именно образом определять место паттерна в языке паттернов, как хранить информацию о месте паттерна и как выводить ее пользователю для просмотра.

По результатам анализа других областей было решено классифицировать паттерны для машиностроения по следующим категориям:

- по области охвата (весь проект, отдельные функциональные узлы, компоненты узлов);
- по объекту применения;
- по реализуемым функциям.

В ходе исследования возможных вариантов визуализации отдельных паттернов и общей структуры языка паттернов лучшим оказался 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. Иерархическая структура данного визуального компонента поможет пользователю быстрее выявить место паттерна, с которым он взаимодействует, в общей структуре языка паттернов.

Использование древовидной структуры для отображения имеющихся паттернов также позволяет представить интеграцию паттернов между собой в рамках языка паттернов и производить формирование внутренней структуры паттернов более высокого уровня в соответствии с разрабатываемой методикой замещения одного паттерна другим при условии, что замещаемый и замещающий паттерны находятся на одном иерархическом уровне.

При формировании условий для эффективной каталогизации паттернов уже разработанная база данных для хранения паттернов была дополнена рядом свойств (таких, как «Родитель», «Методы включения») с той целью, чтобы новая структура базы данных обеспечивала удобство формирования сборок на основе паттернов, однозначное определение физического адреса директории с файловыми компонентами паттерна.

#### 6 ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ «PATTERN SYSTEM»

Благодаря применению методов проектирования на основе паттернов, разработанная система позволяет инженерам использовать преимущества уже привычных для них инструментов и методов проектирования:

- **Проектирование на основе стандартов.** Подавляющее большинство предприятий при проведении проектных работ руководствуются разнообразными стандартами (ОСТ, ГОСТ, СТП). Для ряда предприятий эти стандарты также являются и основами используемых методик проектирования. Так как паттерны проектирования машиностроительных изделий содержат в себе накопленный опыт организаций в виде принятых решений и созданных



трехмерных моделей, то те нормы и стандарты, которыми руководствовались работники организации, сохраняются вместе с решениями и моделями внутри языка паттернов. Дополнительные поля паттернов позволяют охарактеризовать и перечислить стандарты, использованные в ходе проектирования, и убрать необходимость повторного поиска этой информации при перепроектировании с использованием системы «PatternSystem».

• **Проектирование на основе библиотек готовых изделий.** Сложившаяся практика проектирования показывает, что уже давно назрела ситуация, подталкивающая предприятия к структурированию своего проектного опыта. В последнее время все большую популярность набирают библиотеки готовых изделий как средства заимствования чужого проектного опыта. Сущность библиотек изделий состоит в каталогизации и систематизации коллекций однотипных изделий. Эти же функции заложены в предлагаемую систему проектирования при помощи паттернов и позволяют говорить о ней как о средстве управления библиотекой успешных решений. Однако внутренняя привязка паттернов к объектам позволяет осуществлять их каталогизацию в системе не только по признаку «Объект моделирования», но и по признаку «Решаемая задача» и динамически перегруппировывать ассоциированные объекты.

• **Параметрическое проектирование.** Основывается на создании параметрических моделей изделий с целью оперативного внесения модификаций и быстрого создания новых, схожих изделий. Так как структура модели, используемой в качестве основы хранимых в системе решений, совпадает со структурой модели в САПР, используемой на предприятии, параметрическая модель полностью передается в базу решений и сохраняет свою работоспособность. Однако, инструменты «PatternSystem» позволяют отметить ряд параметров как ключевые и предоставить программный интерфейс для их настройки. Все остальные параметры по умолчанию скрыты от инженера, и тем самым количество переменных параметрической модели уменьшается с нескольких сотен до нескольких десятков.

• **Проектирование на основе параметрических рядов.** Использование параметрических рядов подразуме-

вает описание семейства изделий через набор параметров, минимально достаточный для оценки эксплуатационных характеристик данного типа изделий и его прогрессирующей модификации. Структура паттерна объединяет в себе модель вместе со всеми наложенными параметрическими зависимостями, возможное описание стандартных типоразмеров ключевых параметров и средства для получения экземпляров новых изделий за счет изменения значений переменных. Таким образом «PatternSystem» дополняет параметрические ряды средствами их программного воспроизведения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная САПР «PatternSystem», использующая методы проектирования на основе паттернов, была опробована на ряде тестовых примеров. На рисунке 3 представлена диаграмма изменения времени, затрачиваемого на модификацию проекта при переходе от стандартных средств параметрического моделирования к моделированию на основе паттернов.

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 рисунке 4.

Проведенные исследования показывают, что применение методологии проектирования с помощью паттернов позволяет перейти на уровень функциональных связей при проведении параметризации и существенно снижает как время перепроектирования сложных машиностроительных изделий, так и время их первоначального проектирования. Разработанная система позволяет получать корректный комплект технической документации на сложные машиностроительные изделия в автоматическом режиме, производить параметризованное моделирование проектов в новом, более удобном и наглядном виде и снизить время выполнения проектов в целом.

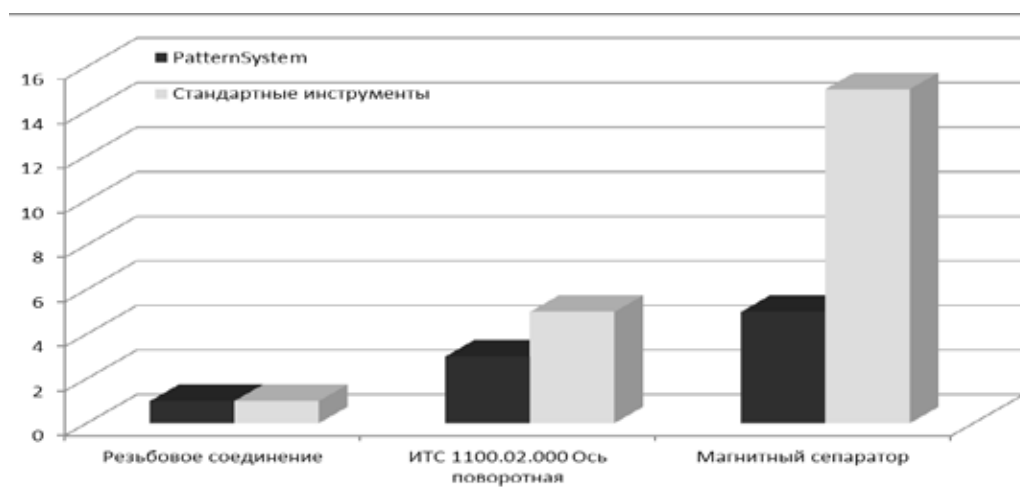


Рис. 3. Время модификации проектов

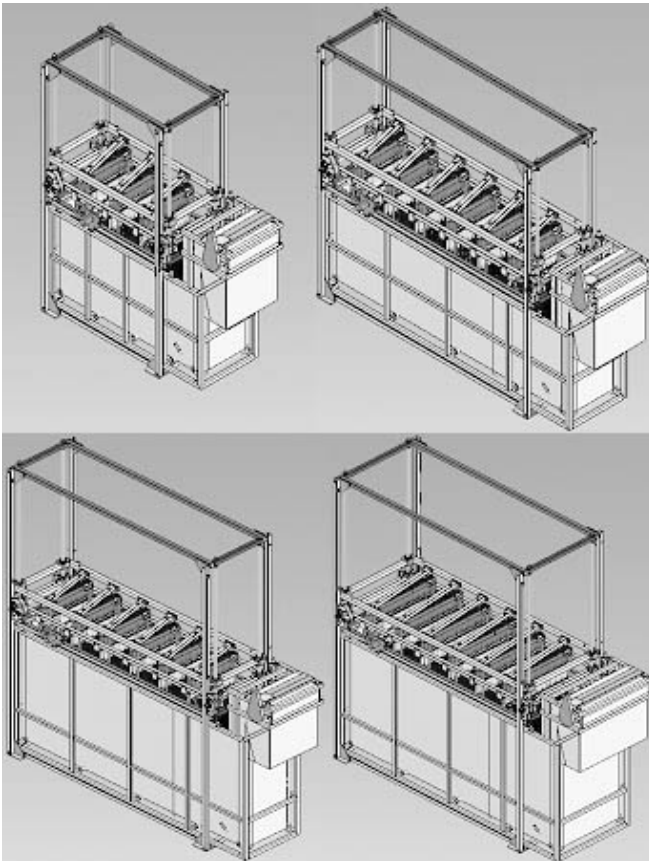


Рис. 4. Магнитные сепараторы, созданные с применением паттернов

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление параметризацией сложных машиностроительных изделий в среде средних САПР / В.В. Шишкин [и др.] // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2005. – № 1. – С. 50–52.
2. Шишкин В.В., Кандаулов В.М. Анализ механизмов параметризации с точки зрения паттернов проектирования // Тез. док. 43-й науч.-тех. конф. – Ульяновск, 2009. – С. 262.
3. G. Hohpe, Woolf B. Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions. – Addison-Wesley, 2004.
4. Фаулер М. Архитектура корпоративных программных приложений. – М. : Вильямс, 2004.
5. Губич Л., Прохорова А. Подходы к автоматизации проектирования на базе средств параметризации САД/САМ-систем // САПР и графика. – 2000. – № 12. – С. 60–64.
6. Жигулин В. О том, как твердое тело может быть слишком твердым, или Взгляд на параметризацию сбоку // САПР и графика. – 2000. – № 1. – С. 87–90.
7. Кандаулов В.М., Шишкин В.В. Методы хранения паттернов проектирования сложных машиностроительных изделий для систем параметризации в реляционных базах данных // Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации: сб. тез. конф. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – С. 40–45.
8. Shishkin V.V., Kandaulov V.M. Design methods on pattern basis for complex machine-building products // Interactive Systems: Problems of Human-Computer Interaction. – Ulyanovsk State Technical University, 2009.