

УДК 004.896

А.Н. Афанасьев, С.И. Бригаднов

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ И ОБУЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКА<sup>1</sup>

**Афанасьев Александр Николаевич**, доктор технических наук, профессор, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Первый проректор, проректор по дистанционному и дополнительному образованию Ульяновского государственного технического университета. Имеет более 200 статей в области САПР. Область научных интересов: автоматизированные системы обучения, организация вычислительных процессов и структур ЭВМ, проектирование интеллектуальных систем, САПР, управление сложными потоками работ, диаграмматика графических языков. [e-mail: a.afanasev@ulstu.ru].

**Бригаднов Сергей Игоревич**, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ, аспирант кафедры «Вычислительная техника» УлГТУ. Имеет более 20 статей в области САПР. Область научных интересов: интеллектуальные системы разработки сложных автоматизированных систем, автоматизированные среды обучения. [e-mail: sergbrig@yandex.ru].

### Аннотация

В настоящее время системы автоматизированного проектирования (САПР) стали неотъемлемой частью работы конструкторов и проектировщиков, дизайнеров и архитекторов. Современные программные комплексы САПР позволяют выпускать проектную документацию, производить инженерные расчеты, осуществлять моделирование и визуализацию в 3D. Разработана комплексная система анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, и обучения проектировщика.

Разработано математическое обеспечение комплексной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика: метод структурно-параметрического анализа проектных решений, ассоциативно-ориентированная модель компетенций проектировщика, алгоритм формирования траектории обучения автоматизированному проектированию.

Разработана архитектура комплексной системы, описаны основные ее компоненты: блок анализа проектных решений, блок обучения проектировщика.

Разработанная система поддерживает функции автоматического перестроения и классификации трехмерных машиностроительных изделий, а также формирование рекомендаций проектировщику и персонализированной траектории обучения автоматизированному проектированию в САПР КОМПАС-3D.

Ключевые слова: САПР КОМПАС, анализ проектных решений, обучение проектировщика, классификация изделий.

## METHODS AND MEANS OF A COMPLEX SYSTEM FOR THE ANALYSIS OF DESIGN SOLUTIONS AND DESIGNER TRAINING

**Aleksandr Nikolaevich Afanasev**, Doctor of Engineering, Professor; graduated from the Radioengineering Faculty of Ulyanovsk Polytechnic Institute; First Vice-Rector, Vice-Rector for Distance and Further Education of Ulyanovsk State Technical University; an author of more than 200 articles in the field of CAD; research interests are computer-aided training system, the organization of computing processes and structures of computers, design of intelligent systems, CAD systems, management of complex workflows, diagrammatics of graphic languages. e-mail: a.afanasev@ulstu.ru.

**Sergei Igorevich Brigadnov**, graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Computer Engineering of Ulyanovsk State Technical University; an author of more than 20 articles in the field of CAD; research interests are intelligent systems for the development of complex automated systems, automated learning environments. e-mail: sergbrig@yandex.ru.

<sup>1</sup> Исследование поддержано грантом Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 2.1615.2017/4.6.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научного проекта № 16-47-732152.

## Abstract

Currently, computer-aided design (CAD) systems have become an integral part of the work of designers, planners and architects. Modern CAD software systems allow to produce project documentation, perform engineering calculations, to perform modeling and rendering in 3D. A complex system of analysis of design solutions made in CAD KOMPAS-3D and the training of a designer is developed.

The mathematical support of the integrated system for the analysis of design solutions and the training of the designer is developed: the method of structural and parametric analysis of project solutions, the associative-oriented model of the designer's competencies, the algorithm for forming the trajectory of training in computer-aided design.

The architecture of the complex system is developed; its main components are described: the block of the analysis of design solutions, the block of training of the designer.

The developed system supports the functions of automatic restructuring and classification of three-dimensional engineering products, as well as the formation of recommendations to the designer and personalized trajectory of learning computer-aided design in CAD KOMPAS-3D.

Key words: CAD KOMPAS, analysis of design solutions, training of the designer, classification of products.

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение конкурентоспособности промышленного предприятия во многом зависит от времени и ресурсов, затраченных на проектирование и разработку конечного изделия. Поэтому важным условием для эффективного использования средств систем автоматизированного проектирования (САПР) является сохранение и возможность повторного использования проектных решений, что позволяет сократить время, затрачиваемое на документацию, преобразование данных и поиск информации об изделии.

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. Российскими и зарубежными учеными, внесшими большой вклад в область разработки автоматизированных обучающих систем, интегрированных с САПР, являются Норенков И.П., Сабоннадьер Ж.К., Кулон Ж.Л. и др.

В САПР 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; проверку на соответствие стандартам оформления в подсистеме КОМПАС-Эксперт (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.), 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 размер-

ных цепей и пружин; оптимизация зубчатого зацепления; подбор электродвигателей, редукторов и муфт.

Следует отметить, что в современных САПР отсутствует анализ действий проектировщика в процессе проектирования трехмерных твердотельных изделий.

Таким образом, актуальной задачей в области автоматизированного проектирования машиностроительных объектов является структурно-параметрический анализ проектного решения и обучение инженера-проектировщика с целью выявления неоптимальных последовательностей проектных операций, автоматического перестроения и классификации 3D-моделей машиностроительных объектов для повторного использования в процессах проектирования, а также формирования соответствующих рекомендаций проектировщику [1].

Разрабатываемые методы и алгоритмы должны обеспечить приобретение необходимых компетенций проектировщику для успешной проектной деятельности в области автоматизированного проектирования, повысить эффективность и качество обучения.

Основными целями разработки комплексной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика являются:

1. Повышение качества проектных решений при конструировании трехмерных объектов в САПР КОМПАС-3D.
2. Адаптация процесса обучения автоматизированному проектированию в САПР КОМПАС-3D.
3. Формирование у обучаемых проектировщиков необходимых компетенций в области проектирования трехмерных изделий в САПР.

Для достижения поставленных целей были решены следующие задачи:

1. Проведен обзор систем анализа проектных решений машиностроительных изделий.
2. Проведен анализ моделей, методов и средств обучения автоматизированному проектированию машиностроительных объектов с использованием САПР.
3. Разработан метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций, выполненных в САПР КОМПАС-3D.

4. Разработаны модели автоматизированной системы обучения (АОС): модель компетенций, алгоритм формирования траектории обучения, концептуальная модель АОС.

#### **ОБЗОР СИСТЕМ АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Проведен обзор систем анализа проектных решений и широко применяемых на производстве САПР, таких как: NX, CATIA V5, Creo, Autodesk Inventor, SOLIDWORKS 3D CAD, CADfix [2], CADIQ [3], 3DTransVidia [4], Heidelberg Cx Quality Manager [5], PrescientQA [6] и др.

В рассмотренных 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 (IT1), 3DTransVidia и PrescientQA. Функция по формированию соответствующих рекомендаций для изменения проектного решения реализована в системах Cx Quality Manager (предложения по исправлению ошибок проектировщика) и ModelCHECK [7] (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.

#### **АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

Большой вклад в область разработки адаптивных АОС внесли G. Weber, A. Möllenberg, K. Warendorf, K. Kabassi, M. Virvou, C. Tan, J. Vassileva, E.P. Пантелеев, Л.В. Зайцева, Г.В. Рыбина и др.

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.

Проведен анализ адаптивных АОС, позволяющих персонализировать процесс обучения, таких как: ELM-ART, Web F-SMILE, ADIS, авторская система Васильевой, Protus, авторская АОС Канева Д.С. [8] и др.

Анализ данных систем показал, что в рассмотренных АОС отсутствуют механизмы интеграции с моделью компетенции инженера-проектировщика. Рекомендатель-

ная часть реализована лишь в системах Web F-SMILE, Protus, а также в авторской АОС Канева Д.С.

В результате анализа были выделены требования, предъявляемые к разработке АОС 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.

Рассмотрены различные существующие профессиональные стандарты, программы подготовки инженеров, связанные с компетенциями проектировщика и его проектной деятельностью. Сформирован список компетенций проектировщика, включающий знания, умения и навыки автоматизированного проектирования в среде САПР КОМПАС-3D. Список компетенций более подробно описан в работе [9].

#### **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ И ОБУЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКА**

Разработан новый метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций.

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.

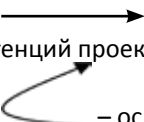
Дерево проектного решения состоит из следующих компонентов: плоскостей проектирования, сборочных единиц, деталей и проектных операций для построения трехмерной твердотельной модели машиностроительного изделия. Каждый элемент дерева модели имеет определенные свойства и параметры: внешние параметры, покрытие, материал изготовления и т. д.

Разработан ряд моделей, составляющих научную основу метода структурно-параметрического анализа проектных решений: модель последовательности проектных операций, модель операции, модель исходных данных для перестроения дерева проектного решения, модель параметров детали, модель правила для анализа, модель исходных данных для классификации машиностроительных изделий. Также разработаны алгоритмы формирования последовательности оптимальных проектных операций и классификации изделий машиностроительных объектов. Более подробно метод структурно-параметрического анализа изложен в работе [1].

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

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.  
 Выделены следующие типы вершин: распараллеливания, соединения, присваивания.

Вершины распараллеливания позволяют осваивать обучаемому проектировщику несколько компетенций одновременно. Освоение компетенций происходит независимо друг от друга с различным интервалом времени. Вершины соединения позволяют осваивать обучаемому проектировщику новую компетенцию только тогда, когда были освоены все предшествующие компетенции. Вершины присваивания позволяют обучаемому проектировщику последовательно осваивать компетенции одну за другой.

На рисунке 1 представлена разработанная модель компетенций, в качестве теоретической базы использовался аппарат параллельных сетевых схем алгоритмов [10]. Из этой модели видно, что определенные компетенции можно осваивать параллельно либо освоение компетенций происходит последовательно одна за другой. Определенные компетенции содержат возможность освоения нового уровня компетенции. Каждая вершина модели содержит 4 уровня освоения компетенции.

В разработанной модели было выделено 3 блока (класса) основных компетенций в области автоматизированного проектирования трехмерных объектов (компетенции проектировщика):  $K_1$  – знание теории,  $K_2$  – умения проектировщика в области САПР,  $K_3$  – навыки проектировщика в области САПР.

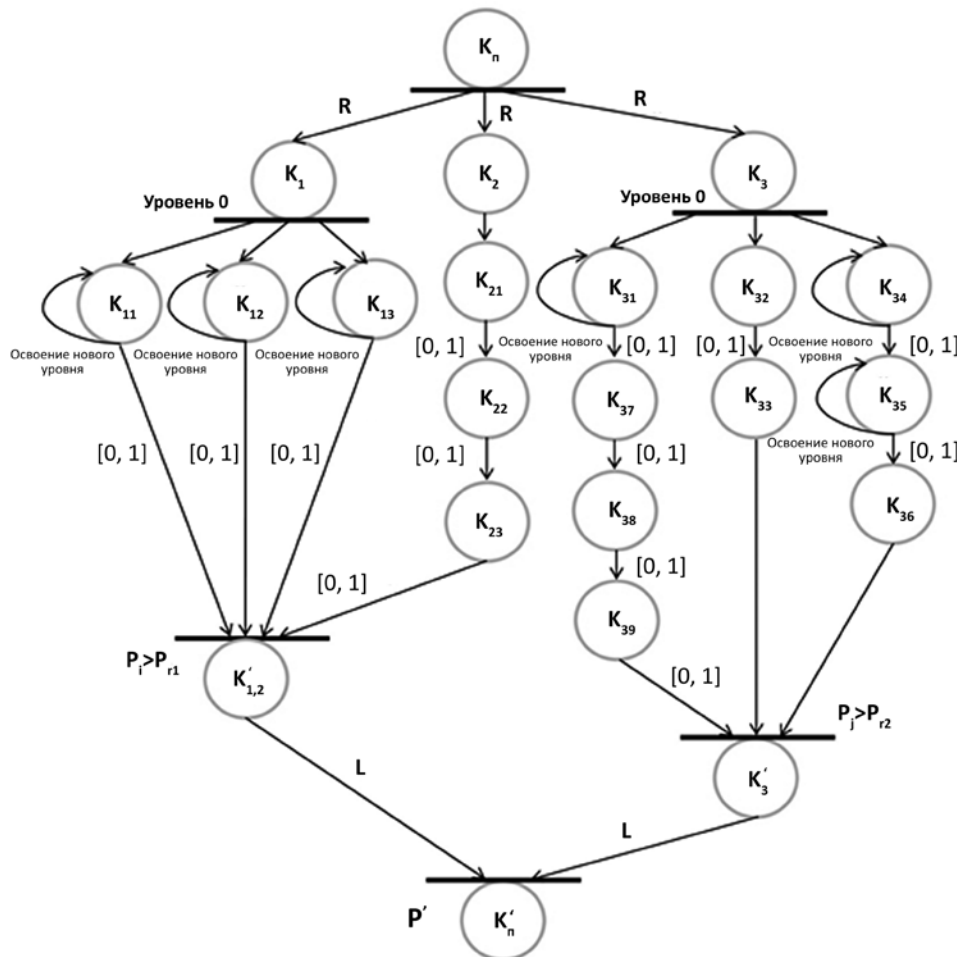


Рис. 1. Модель компетенций

Разработан алгоритм формирования адаптивной траектории обучения автоматизированному проектированию, который имеет следующий вид:

1. Формирование входных контрольных заданий ( $K_3$ ): теоретический тест, практические задачи.
2. Выполнение проектировщиком входных  $K_3$ .
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  $K_3$ .
8. Выполнение проектировщиком практического задания.
9. Анализ степени освоения проектировщиком предложенного УМ. Если цель обучения достигнута, переход к шагу 15.

10. Выбор дидактических единиц, необходимых для дальнейшего изучения.
11. Формирование вспомогательного УМ и КЗ.
12. Изучение проектировщиком вспомогательного УМ.
13. Выполнение проектировщиком КЗ.
14. Анализ КЗ. Если компетенции проектировщика не удовлетворяют цели обучения, переход к шагу 10.
15. Завершение обучения проектировщика. Корректировка цели обучения.

**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ И ОБУЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКА**

Обобщенная схема комплексной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика представлена на рисунке 2. В основу математического обеспечения положены методы, модели и алгоритмы анализа и адаптивного обучения, изложенные выше.

Система состоит из двух основных компонентов: блок анализа проектных решений и блок обучения проектировщика.

Блок анализа проектных решений – предназначен для управления анализом проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС-3D, с составлением реко-

мендаций и корректировки модели обучаемого проектировщика с учетом сформированных рекомендаций. Обеспечивает перестроение проектного решения на основе оптимальной последовательности проектных операций.

В блоке анализа проектных решений содержится механизм формирования оптимальной последовательности проектных операций с целью перестроения дерева модели проектного решения и формирования соответствующих рекомендаций обучаемому проектировщику.

Блок анализа проектных решений также позволяет классифицировать трехмерные модели машиностроительных изделий, используя различные модули анализа для определенных классов объектов, таких как: «Кольцо», «Фланец», «Заклёпка», «Гайка», «Шайба» и др.

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. 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:

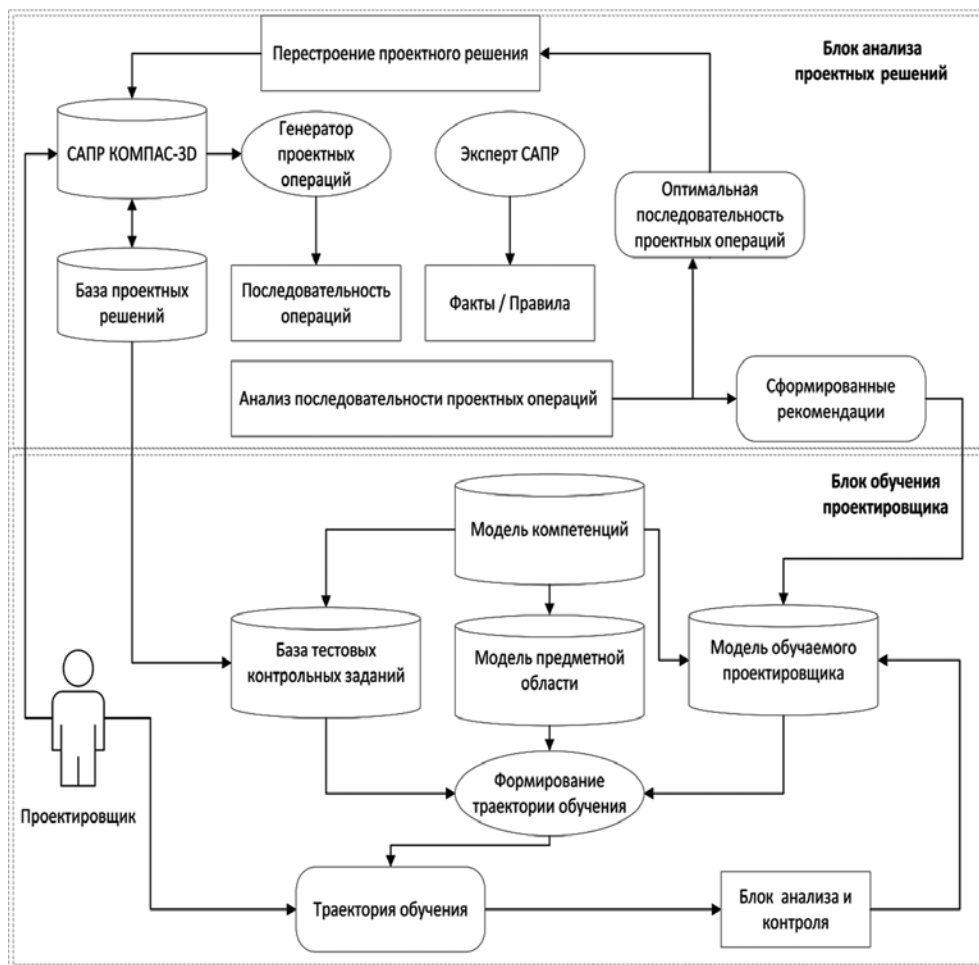


Рис. 2. Структурная схема разрабатываемой комплексной системы

- диаметр внутренний;
- диаметр наружный;
- ширина кольца;
- угол выреза;
- материал изготовления.

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

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

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

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

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

Процесс обучения проектировщика автоматизированному проектированию в САПР КОМПАС-3D осуществляется на основе анализа выполнения им практических и тестовых заданий, а также на основе сформированных рекомендаций. Рекомендации представляют собой список проектных операций и последовательность действий для устранения ошибок в проектном решении. В блоке анализа и контроля проверяется степень усвое-

ния обучаемым проектировщиком компетенций, производится корректировка модели обучаемого.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Произведен расчет времени проектирования трехмерных изделий в САПР КОМПАС-3D. Приняты следующие значения и допущения переменных: среднее время поиска проектных решений в базе изделий – 3 с; среднее время вставки и редактирования проектировщиком готовой трехмерной модели в проектное решение – 30 с; среднее время сопряжения деталей – 120 мин; среднее время на открытие проектировщиком трехмерной модели в САПР КОМПАС-3D – 5 с; среднее время на закрытие проектировщиком окна с трехмерной моделью в САПР КОМПАС-3D – 3 с; среднее время на выбор класса изделия для поиска и ввода параметров – 5 с; количество деталей для просмотра после работы проектировщика с системой классификации машиностроительных изделий в среднем сокращается в 20 раз; 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 мин.

Результаты расчета приведены в таблице 1.

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

Таблица 1

Сокращение времени проектной деятельности проектировщика при использовании системы классификации изделий

№	Точность поиска	Степень покрытия	Вероятность нахождения 3D-модели	Вероятность ручного построения 3D-модели	Сокращения времени проектирования
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%
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%

Продолжение табл. 1

№	Точность поиска	Степень покрытия	Вероятность нахождения 3D-модели	Вероятность ручного построения 3D-модели	Сокращения времени проектирования
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%

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны модели и алгоритмы, составляющие научную основу метода структурно-параметрического анализа и процесса формирования траектории обучения проектировщика. Предложена ассоциативно-ориентированная модель компетенций проектировщика, отличающаяся установлением взаимосвязей между знаниями, умениями и навыками, связанными с предметной областью автоматизированного проектирования машиностроительных объектов, и позволяющая сформировать последовательность освоения компетенций и адаптировать процесс обучения автоматизированному проектированию в САПР КОМПАС-3D.

На основе предложенных моделей и алгоритмов разработана архитектура комплексной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика на примере САПР КОМПАС-3D, описаны основные ее блоки и компоненты.

Разрабатываемый программный комплекс состоит из системы анализа проектных решений, системы классификации изделий, АОС проектировщика. Реализация программно-информационного обеспечения выполнена с помощью Web-сервера Apache HTTP Server, MySQL, NoSQL LiteDB, Java Platform, Microsoft.NET и Ruby.

Разрабатываемая комплексная система поддерживает персонализированное обучение проектировщика практическим задачам, освоение компетенций проектировщиком, а также позволяет оптимизировать и классифицировать проектные решения с целью сохранения и повторного использования в процессах конструирования машиностроительных изделий.

Произведена теоретическая оценка эффективности деятельности проектировщика при использовании системы классификации машиностроительных объектов. В среднем сокращение времени проектной деятельности проектировщика в САПР КОМПАС-3D при использовании системы классификации изделий составляет 11% и зависит от точности поиска в системе и степени покрытия электронного каталога машиностроительных изделий предприятия.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев А.Н., Бригаднов С.И., Канев Д.С. Разработка автоматизированной системы анализа проектных решений в САПР КОМПАС-3D // Автоматизация процессов управления. – 2018. – № 1 (51). – С. 108–117.
2. CADfix, CAD translation, repair and simplification. – URL: <https://www.iti-global.com/cadfix> (дата обращения: 20.01.2018).
3. CADIQ. – URL: <https://www.iti-global.com/cadiq> (дата обращения: 20.01.2018).
4. 3DTransVidia Translates and Repairs Common Errors Created in Different CAD Systems. – URL: <http://www.capvidia.com/capvidia-products/3d-transvidia-cad-data-translation-repair> (дата обращения: 20.01.2018).
5. More time for development. Heidelberg CAx Quality Manager. – URL: [https://www.heidelberg.com/industry/en/it\\_solutions/it\\_solutions\\_2/hqm/cax\\_quality\\_manager.jsp](https://www.heidelberg.com/industry/en/it_solutions/it_solutions_2/hqm/cax_quality_manager.jsp) (дата обращения: 20.01.2018).
6. PrescientQA. – URL: <http://www.prescientqa.com/> (дата обращения: 20.01.2018).
7. Creo Modelcheck Overview. – URL: [https://support.ptc.com/help/creo/creo\\_pma/usascii/index.html#page/model\\_analysis/modelcheck/ModelCHECK\\_Overview.html](https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/usascii/index.html#page/model_analysis/modelcheck/ModelCHECK_Overview.html) (дата обращения: 20.01.2018).
8. 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.
9. 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». – Ульяновск, 2018. – С. 136–142.
10. Афанасьев А.Н., Гужавин А.А., Кокаев О.Г. Ассоциативное микропрограммирование. – Саратов : СГУ, 1991. – 116 с.

## REFERENCES

1. Afanasev A.N., Brigadnov S.I., Kanev D.S. Razrabotka avtomatizirovannoi sistemy analiza proektnykh reshenii v SAPR KOMPAS-3D [The Development of an Automated System for Analyzing Design Solutions in Cad Kompas-3D]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2018, no. 1 (51), pp. 108–117.
2. *CADfix, CAD translation, repair and simplification*. Available at: <https://www.iti-global.com/cadfix> (accessed: 20.01.2018).
3. *CADIQ*. Available at: <https://www.iti-global.com/cadiq> (accessed: 20.01.2018).
4. *3DTransVidia Translates and Repairs Common Errors Created in Different CAD Systems*. Available at: <http://www.capvidia.com/capvidia-products/3d-transvidia-cad-data-translation-repair> (accessed: 20.01.2018).
5. *More time for development. Heidelberg CAx Quality Manager*. Available at: [https://www.heidelberg.com/industry/en/it\\_solutions/it\\_solutions\\_2/hqm/cax\\_quality\\_manager.jsp](https://www.heidelberg.com/industry/en/it_solutions/it_solutions_2/hqm/cax_quality_manager.jsp) (accessed: 20.01.2018).
6. *PrescientQA*. Available at: <http://www.prescientqa.com/> (accessed: 20.01.2018).
7. *Creo Modelcheck Overview*. Available at: [https://support.ptc.com/help/creo/creo\\_pma/usascii/index.html#page/model\\_analysis/modelcheck/ModelCHECK\\_Overview.html](https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/usascii/index.html#page/model_analysis/modelcheck/ModelCHECK_Overview.html) (accessed: 20.01.2018).
8. Afanasev A.N., Voyt N.N., Kanev D.S. Razrabotka avtorskoi intellektualnoi obuchaiushchei sistemy [Development of an Original Smart Training System]. *Elektronnoe obuchenie v nepreryvnom obrazovanii* [E-Learning in Continuous Education], 2016, no. 1 (3), pp. 100–104.
9. Brigadnov S.I. Razrabotka kompleksnoi avtomatizirovannoi intellektualnoi sistemy analiza proektnykh reshenii i obucheniia proektirovshchika [The Development of a Complex Automated Intelligent System for Design Solution Analysis and Designer Training]. *V Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia "Elektronnoe obuchenie v nepreryvnom obrazovanii 2018"* [Proc. of the 5th Int. Sci. Workshop 'E-Learning in Continuous Education 2018']. Ulyanovsk, 2018, pp. 136–142.
10. Afanasev A.N., Guzhavin A.A., Kokaev O.G. *Assotsiativnoe mikroprogrammirovanie* [Associative Microprogramming]. Saratov, SSU Publ., 1991. 116 p.