

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

УДК: 004.896

DOI: 10.30987/article_5c387d61c4ead8.61787791

А.Н. Афанасьев, С.И. Бригаднов

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

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, метода автоматизированной генерации правил для 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.

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

A.N. Afanasyev, S.I. Brigadnov

AUTOMATION OF STRUCTURAL AND PARAMETRIC ANALYSIS OF PROJECT DECISIONS AND TRAINING OF THE DESIGNER OF MACHINE-BUILDING PRODUCTS WITH CAD COMPASS

A comprehensive system for analyzing design solutions made in CAD KOMPAS-3D and design training was developed. The mathematical software for a complex system for analyzing design decisions and designing a designer is developed: a method of structural and parametric analysis of design decisions, a method of automated rule generation for analyzing design solutions, an associative-oriented model of designer competences, an algorithm for generating an automated design learning trajectory. The architecture of the integrated system has been developed, its main components are described: a block for analyzing design solutions, a block for training a designer.

Keywords: CAD COMPASS, analysis of design solutions, training of the designer.

Введение

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

САПР «КОМПАС» представляет собой профессиональную систему трехмерного моделирования, ставшую стандартом для множества промышленных предприятий за счет удачного сочетания простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования, которые решают большинство основных задач проектировщиков. В систему заложены специальные средства

работы со сложными проектами, содержащими тысячи элементов. Специализированные приложения и библиотеки стандартных элементов, а также расчетные модули и средства визуализации и анимации повышают эффективность работы конструкторов и проектировщиков.

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

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

1. Обзор методов и систем анализа и оптимизации проектных решений САПР

В системах автоматизированного проектирования представлены различные подсистемы анализа, например: прочностной анализ, включающий статический расчёт, расчёт устойчивости, расчёт собственных частот и формы собственных колебаний, расчёт стационарной теплопроводности и термоупругости; анализ динамического поведения машин и механизмов; подсистема КОМПАС-Эксперт, включающие проверки на соответствие стандартам оформления (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 размерных цепей и пружин; оптимизация зубчатого зацепления; подбор электродвигателей, редукторов и муфт. При этом в САПР отсутствует анализ действий проектировщиков.

Проведен обзор систем анализа проектных решений и широко применяемых на производстве САПР: NX, CATIA V5, Creo, Autodesk Inventor, SOLIDWORKS 3D CAD, CADfix, CADIQ, 3DTransVidia, Heidelberg CAx Quality Manager, SOLIDWORKS Design Checker, Design QA, GeometryQA, PrescientQA, iCHECK IT, Knowledge Advisor, Knowledge Expert, ModelCHECK, NX Check-Mate, Q-Checker. Рассмотренные инструменты включают в себя анализ трехмерных моделей, сборок и чертежей, связанных с конкретным программным обеспечением САПР. Основными недостатками данных систем анализа проектных решений является отсутствие функций по определению неоптимальных последовательностей проектных операций, отсутствие возможности автоматического перестроения трехмерной модели машиностроительного изделия на основе анализа дерева модели проектного решения.

2. Формирование списка компетенций проектировщика

Для формирования списка компетенций проектировщика были проанализированы следующие профессиональные стандарты, рабочие программы, связанные с проектной деятельностью в САПР:

- профессиональный стандарт «Конструктор в автомобилестроении»;
- профессиональный стандарт «Специалист по компьютерному конструированию (автоматизированному производству)»;

- рабочая программа по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование»;
- рабочая программа по направлению подготовки «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов»;
- сертификационные тесты от компании АСКОН по направлению «КОМПАС - 3D. Машиностроительное направление».

Выделены следующие компетенции проектировщика [1]: знание общих сведений о САПР; знание предметной области автоматизированного проектирования; знание общих принципов моделирования; умение создавать рабочий чертеж; умение создавать сборочную единицу; умение создавать сборку изделия; умение создавать компонент в контексте сборки; умение создавать сборочный чертеж сборочной единицы; умение создавать сборочный чертеж изделия; умение создавать спецификации; навыки твердотельного моделирования в САПР; навыки добавления стандартных изделий; навыки использования тел вращения; использование методик проектирования в САПР; навыки коллективной работы над проектным решением; умеет использовать элементы по сечениям; умеет использовать пользовательские библиотеки трехмерных моделей; навыки построения листовых деталей; способен построить трехмерную модель по плоскому чертежу; навыки построения кинематических компонентов и пространственных кривых.

3. Анализ особенностей процесса обучения автоматизированному проектированию

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 автоматизированных обучающих систем (АОС), позволяющих персонализировать процесс обучения, таких как: ELM-ART, Web F-SMILE, ADIS, авторская система Васильевой, Protus, авторская АОС Канева Д.С. [2] и др. В рассмотренных АОС отсутствуют механизмы интеграции с моделью компетенции инженера-проектировщика. Рекомендательная 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 автоматизированной системы обучения проектировщика проектной деятельности в САПР:

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

4. 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.

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

Разработан метод автоматизированной генерации правил для анализа проектных решений, который заключается в автоматическом заполнении шаблонов правил анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D, на основе определения зависимостей между проектными операциями проектировщика. Метод позволяет автоматизировано формировать новые правила для анализа проектных решений на основе уже имеющихся фактов и правил. Полученные правила пополняют базу правил анализа проектных решений и используются в методе структурно-параметрического анализа. Корректность сгенерированных правил проверяет эксперт. Шаблоны правил заполняются в результате поэлементного анализа последовательности проектных операций при построении трехмерного объекта в САПР КОМПАС-3D.

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

Модель шаблона имеет следующую структуру:

$$TMP = (id, type, initial, derivatives, params, Fc, Fa), \quad (1)$$

где id – множество идентификаторов правил, $type \in TypesOperation$ – множество типов операций, $initial$ – множество исходных объектов для выполнения проектной операции, $derivatives$ – множество производных объектов после выполнения проектной операции, $params \in ParamsOp$ – множество параметров операции со значением, $Fc = initial \times derivatives \rightarrow condition$ – функция формирования условия выполнения правила анализа проектного решения, $Fa = condition \times type \rightarrow action$ – функция, определяющая действия при срабатывании правила.

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

$$NR = (id, type, txt_c, txt_a), \quad (2)$$

где id – множество идентификаторов правил, $type \in TypesOperation$ – множество типов операций, txt_c – множество описаний условий срабатывания правил, txt_a – множество рекомендуемых действий при срабатывании правил, например: замена неоптимальных действий проектировщика на оптимальную последовательность проектных операций.

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

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

Шаг 2. Анализ истории построения трехмерного машиностроительного объекта.

Формируется последовательность проектных операций построения трехмерной модели – XML-описание истории построения.

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

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

–параметры проектной операции (*params*).

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

Шаг 5. Автоматическое извлечение параметров проектных операций.

Шаг 6. Автоматическое заполнение компонентов шаблона правила для анализа.

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

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

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

Шаг 10. Проверка сгенерированного нового правила на корректность экспертом.

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

Разработано математическое обеспечение комплексной системы обучения: модель компетенций (в качестве теоретической базы использовался аппарат параллельных сетевых схем алгоритмов[4]), алгоритм формирования персонифицированной траектории обучения, модель предметной области.

В предметной области выделены следующие классы:

–дидактическая единица (ДЕ);

–учебный материал (УМ) – набор сгруппированных по какому-либо признаку дидактических единиц;

–тестовые задания (ТЗ) – группирует теоретические вопросы для отдельно выбранной ДЕ;

–контрольное задание (КЗ) – группирует знания, умения и навыки по ряду ДЕ.

–тема изучения – группирует набор УМ, ТЗ и КЗ.

5. Разработка архитектуры и реализация комплексной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика

Обобщенная схема комплексной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика представлена на рисунке 1. 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 рекомендаций 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.

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

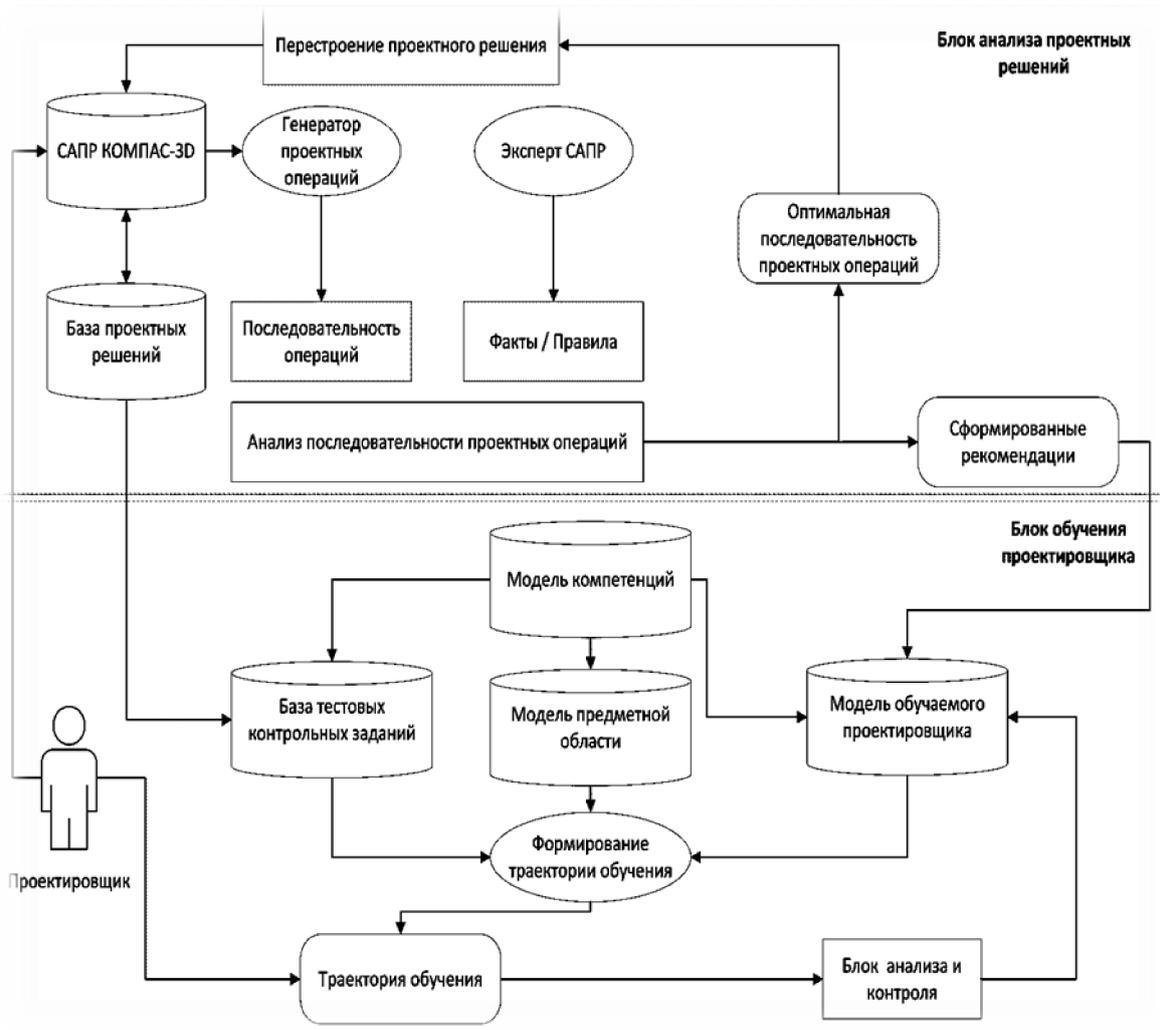


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемой комплексной системы

Реализация программно-информационного обеспечения выполнена с помощью Web-сервера Apache HTTP Server, MySQL, NoSQL LiteDB и Java Platform, Microsoft.NET, Ruby. Разработана система, обеспечивающая управление анализом проектных решений, позволяет классифицировать изделия машиностроительных объектов, а также имеет возможность просмотра рекомендаций. Интерфейс программы поддерживает следующие режимы работы:

- 1) построение дерева модели – автоматизированное создание справочника к сборке/детали, который содержит дерево построения трехмерной модели и описание проектных операций;
- 2) анализ проектного решения – запуск анализа проектного решения с составлением рекомендаций по каждой детали, перестроение проектного решения на основе сформированных рекомендаций;
- 3) анализ изделий – состоит из различных модулей анализа определенных классов изделий;
- 4) поиск по базе данных машиностроительных изделий.

6. Результаты вычислительного эксперимента

Предложена 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.

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

Заключение

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

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

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

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

Исследования поддержаны 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.

Список литературы:

References:

1. Бригаднов С.И. Разработка комплексной автоматизированной интеллектуальной системы анализа проектных решений и обучения проектировщика // V Междунар. науч. конф. «Электронное обучение в непрерывном образовании 2018». Ульяновск, 2018. С. 136–142.
2. 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.
3. Афанасьев А.Н., Бригаданов С.И., Канев Д.С. Разработка автоматизированной системы анализа проектных решений в САПР КОМПАС-3D // Автоматизация процессов управления. 2018. № 1 (51). С. 108-117.
4. Афанасьев А.Н. Гужавин А.А., Кокаев О.Г. Ассоциативное микропрограммирование. Саратов: СГУ, 1991. 116 с.

1. Brigadnov S.I. (2018). Development of a complex automated intellectual system for the analysis of design solutions and the training of a designer. V international scientific conference «E-learning in continuing education 2018», Ulyanovsk, pp. 136-142. [in Russian language]
2. Afanasyev A.N., Voit N.N., Kanev D.S. (2016). Development of the author's intellectual learning system. Electronic learning in continuous education, No. 3(1), pp. 100-104. [in Russian language]
3. Afanasyev A.N., Brigadanov S.I., Kanev D.S. (2018). Development of an automated system for analysis of design solutions in CAD KOMPAS-3D. Automation of management processes, No. 52(1), pp. 108-117. [in Russian language]
4. Afanasiev A.N. Guzhavin A.A., Kokaev O.G. (1991). Associative microprogramming. Saratov: SSU. [in Russian language]

Статья поступила в редколлегию 31.09.18.

*Рецензент: к.т.н., доцент Брянского
государственного технического университета
Рытов М.Ю.*

Статья принята к публикации 12.12.18.

Сведения об авторах:

Афанасьев Александр Николаевич

доктор технических наук, профессор, Первый проректор, проректор по дистанционному и дополнительному образованию Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ)

E-mail: a.afanasev@ulstu.ru

Бригаднов Сергей Игоревич

аспирант кафедры «Вычислительная техника» УлГТУ.

E-mail: sergbrig@yandex.ru

Information about authors:

Afanasyev Alexander Nikolaevich

Doctor of Engineering, professor, Vice-president of Distance and Further Ulyanovsk State Technical University.

E-mail: a.afanasev@ulstu.ru

Brigadnov Sergey Igorevich

graduate student of the Department of Computer Science of Ulyanovsk State Technical University. E-mail:

sergbrig@yandex.ru