

УДК 004.896

А.Н. Афанасьев, С.И. Бригаднов, Д.С. Канев

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ В САПР КОМПАС-3D¹

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].

Канев Дмитрий Сергеевич, кандидат технических наук, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ, начальник научно-исследовательского отдела Института дистанционного и дополнительного образования УлГТУ. Имеет более 30 статей в области САПР. Область научных интересов: разработка и внедрение программно-аппаратных платформ, способствующих поддержке, интенсификации и повышению вовлеченности обучающихся в образовательный процесс с помощью информационных технологий. [e-mail: dima.kanev@gmail.com].

Аннотация

В настоящее время все более важным становится необходимость повышения качества проектных решений, а также создание методов и средств повышения квалификации проектировщиков. Разработана автоматизированная система анализа проектных решений САПР КОМПАС-3D, описаны основные режимы ее работы.

Предложен метод структурно-параметрического анализа проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС-3D.

Приведено описание взаимодействия программного продукта с САПР КОМПАС-3D с использованием API-интерфейса для автоматизированного построения дерева модели трехмерной детали или сборки. Также приведена структурная схема системы анализа проектных решений с описанием основных компонентов.

Разработаны алгоритм формирования последовательности оптимальных проектных операций и алгоритм классификации изделий машиностроительных объектов.

Приведен пример анализа проектного решения на основе конкретной детали, выполненной в САПР КОМПАС-3D.

Ключевые слова: САПР КОМПАС, анализ проектных решений, операции твердотельного моделирования, рекомендации.

THE DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR ANALYZING DESIGN SOLUTIONS IN CAD KOMPAS-3D

Aleksandr Nikolaevich Afanasev, Doctor of Engineering, Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering 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 systems, organization of computer processes and structures, intelligent system design, CAD systems, management of complex workflows, diagrammatics of graphic languages. e-mail: a.afanasev@ulstu.ru.

¹ 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.

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.

Dmitrii Sergeevich Kanev, Candidate of Engineering; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; Head of the Research Department of the Institute for Distance and Further Education of Ulyanovsk State Technical University; an author of more than 30 articles in CAD; research interests are development and implementation of software and hardware platforms aided in supporting, intensifying and enhancing the students involvement in the educational process with the help of information technologies. e-mail: dima.kanev@gmail.com.

Abstract

At the present time, the need to improve the quality of design solutions becomes increasingly important as well as the creation of effective tools and methods for the continuous improvement of the skills of designers. An automated system for analysis of design solutions CAD KOMPAS-3D is developed; the main modes of its operation are described.

The method of structural-parametric analysis of design solutions made in CAD KOMPAS-3D is proposed.

The interaction of the software product with CAD KOMPAS-3D is described using the API-interface for the automated construction of the 3D model tree or assembly model tree. Also, a structural diagram of the system for analyzing design solutions with a description of the main components is shown.

An algorithm for forming a sequence of optimal design operations and an algorithm for classifying products of machine-building objects are developed.

An example of an analysis of a design solution based on a specific part made in CAD KOMPAS-3D is given.

Key words: CAD KOMPAS, analysis of design solutions, solid modeling operations, recommendations.

ВВЕДЕНИЕ

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

В широко применяемых на производстве системах автоматизированного проектирования (САПР) (КОМПАС, INDORCAD, Autodesk Inventor [1], CATIA [2], SolidWorks, T-FLEX CAD) и инструментах анализа проектных решений (КОМПАС-Эксперт [3], INDORCAD 10 [4], ANSYS [5]) функции по определению неоптимальных последовательностей проектных операций отсутствуют. Отсутствует возможность автоматического перестроения трехмерной модели изделия на основе анализа проектного решения. Добавление новых правил анализа проектных решений и настройка критериев проверок моделей и чертежей, сформированных в САПР, реализовано только в системах КОМПАС-Эксперт, INDORCAD 10.

Таким образом, актуальной задачей в области автоматизированного проектирования машиностроительных объектов является структурно-параметрический анализ проектного решения с целью выявления неоптимальных последовательностей проектных операций,

автоматическая перестройка модели и формирование соответствующих рекомендаций проектировщику.

Основными целями разработки автоматизированной системы анализа проектных решений являются:

1. Повышение качества и уменьшение сложности проектных решений.
2. Повышение производительности САПР за счет уменьшения количества получаемых объектов в дереве модели в результате анализа проектных решений.
3. Повышение квалификации и эффективности деятельности проектировщиков.
4. Сокращение сроков обучения и переобучения проектировщиков.
5. Формирования у студентов, специалистов и инженеров предприятий компетенций, основанных на изучении и освоении лучших практик и опыта работодателей.

Для достижения вышеуказанных функциональных требований были решены следующие задачи:

1. Проведен обзор подходов построения систем анализа проектных решений САПР.
2. Разработан метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе последовательности проектных операций, выполненных в САПР КОМПАС-3D, включающий разработку:
 - моделей последовательности проектных операций, исходных данных для автоматизированного перестроения объекта трехмерного моделирования, деталей, переменных и параметров трехмерной модели;

- алгоритма формирования последовательности проектных операций на основе анализа проектных решений [6, 7];
- алгоритма поиска неоптимально выполненных проектных операций и замены их на операции с меньшим количеством действий;
- алгоритма классификации изделий машиностроительных объектов;
- правил для поиска и замены неоптимальных проектных операций.

3. Предложенные модели, метод и алгоритмы реализованы в виде программного комплекса.

ОБЗОР ПОДХОДОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ САПР

В работе [8] предлагается использование в NX – флагманская CAD/CAM/CAE-система производства компании Siemens PLM Software – интегрированной автоматизированной возможности проверки конструкций. В CAD/CAM-системе Cimatron it [9] при проектировании и анализе сложных деталей используется система генерации сетки конечных элементов. В работе [10] описывается использование в Creo Parametric параметрического управления проектным решением на уровне деталей и сборок и возможность включать технологическую информацию на всех этапах разработки. Разработка немецкой фирмы Ziegler (DataSolid GmbH) – сквозная объектно-ориентированная система CADdy [11] – обеспечивает стандартизацию и унификацию проектных решений на основе параметризации. В работе [12] описана система CATIA, которая позволяет эффективно решать все задачи технической подготовки производства – от концептуального проектирования до выпуска чертежей, спецификаций, монтажных схем и управляющих программ для станков с ЧПУ.

Общим недостатком организации анализа проектных решений в приведенных выше работах является отсутствие функции поиска неоптимальных последовательностей проектных операций и автоматического перестроения трехмерной модели изделия.

МЕТОД СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В САПР КОМПАС-3D

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.

В дереве модели проектного решения отображается деталь (сборка) в виде списка объектов в том порядке, в котором они были созданы. Сборка в дереве модели проектного решения отображается в режиме «История

построения». Данный режим служит для представления последовательности проектных операций и применяется для редактирования операций, в которых результат предыдущих действий проектировщика влияет на последующие. Каждый элемент дерева модели имеет определенные свойства и параметры: внешние параметры, покрытие, материал изготовления и т. д.

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.

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

$$PPrOperations = (Operations, TypesOperation, ParamsOp),$$

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

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

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

Модель операции имеет следующий вид:

$$Operation = (number, type, params),$$

где $number$ – номер операции в последовательности операций,

$type \in TypesOperation$ – тип операции,

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

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

$$RebuildModel = (Details, Operations, Rules),$$

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

$Operations = \{op \in Operation\}$ – множество проектных операций,

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

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

$$Details = (id, class, attribute, material),$$

где id – уникальный идентификатор детали,

class – класс детали (например, «Кольцо», «Втулка», «Фланец» и т. д.),

attribute – множество переменных и параметров трехмерной модели,

material – материал для изготовления детали (например, «Сталь 10 ГОСТ 1050-88»).

Модель переменных и параметров трехмерной модели имеет следующий вид:

$$attribute = (name, value, note),$$

где *name* – обозначение переменной или параметра трехмерной модели,

value – значение переменной или параметра трехмерной модели,

note – описание переменной или параметра трехмерной модели (например, « $d = 24$ – диаметр посадочной поверхности корпуса»).

Модель правила [13] имеет следующий вид:

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

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

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

Зададим алфавит символов для формул логики первого порядка:

- предметные переменные:

$OP = \{opt \in TypesOperation\}$ – множество типов операций в САПР;

- символы логических операций: $\wedge, \vee, \rightarrow, \leftrightarrow$;
- термины:

- $type = Operations \rightarrow TypesOperation$ – получение типа проектной операции;

- $optParam = ParamsOp \times type \rightarrow pr$ – получение параметра проектной операции со значением.

Рассмотрим пример формирования оптимального множества проектных операций при выполнении операции «Скругление», являющейся базовой операцией при создании 3D-объектов, подготовленных в САПР КОМПАС. При наличии данной операции во множестве проектных операций запускается поиск правила по базе, в результате чего находится правило «Не используйте операцию «Скругление» для каждого ребра в отдельности, параметры для которых одинаковы». Шаблон данного правила имеет следующий вид:

$$type(opt1) = \text{Скругление} \wedge type(opt1) = \text{Скругление} \wedge optParam(opt1, \text{Признак продолжения скругления по касательным ребрам}) = optParam(opt1,$$

Признак продолжения скругления по касательным ребрам) $\wedge optParam(opt2, \text{Радиус второго скругления}) = optParam(opt2, \text{Радиус второго скругления})$.

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

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

Шаблон правила в общем виде имеет следующую структуру:

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

где *id* – идентификатор правила,

$type \in TypesOperation$ – тип операции,

txt – описание правила,

action – условие срабатывания правила.

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

$$ClassDetails = (detail, ClassTemplates),$$

где *detail* $\in Details$ – деталь, входящая в трехмерную модель изделия САПР КОМПАС,

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

Повышение качества проектных решений, выполненных в САПР КОМПАС, а также повышение эффективности работы проектировщика достигается за счёт поиска и замены неоптимальной последовательности проектных операций на последовательность операций с меньшим количеством действий.

Алгоритм формирования последовательности оптимальных проектных операций представлен на рисунке 1.

Алгоритм классификации изделий машиностроительных объектов представлен на рисунке 2.



Рис. 1. Алгоритм формирования последовательности оптимальных проектных операций

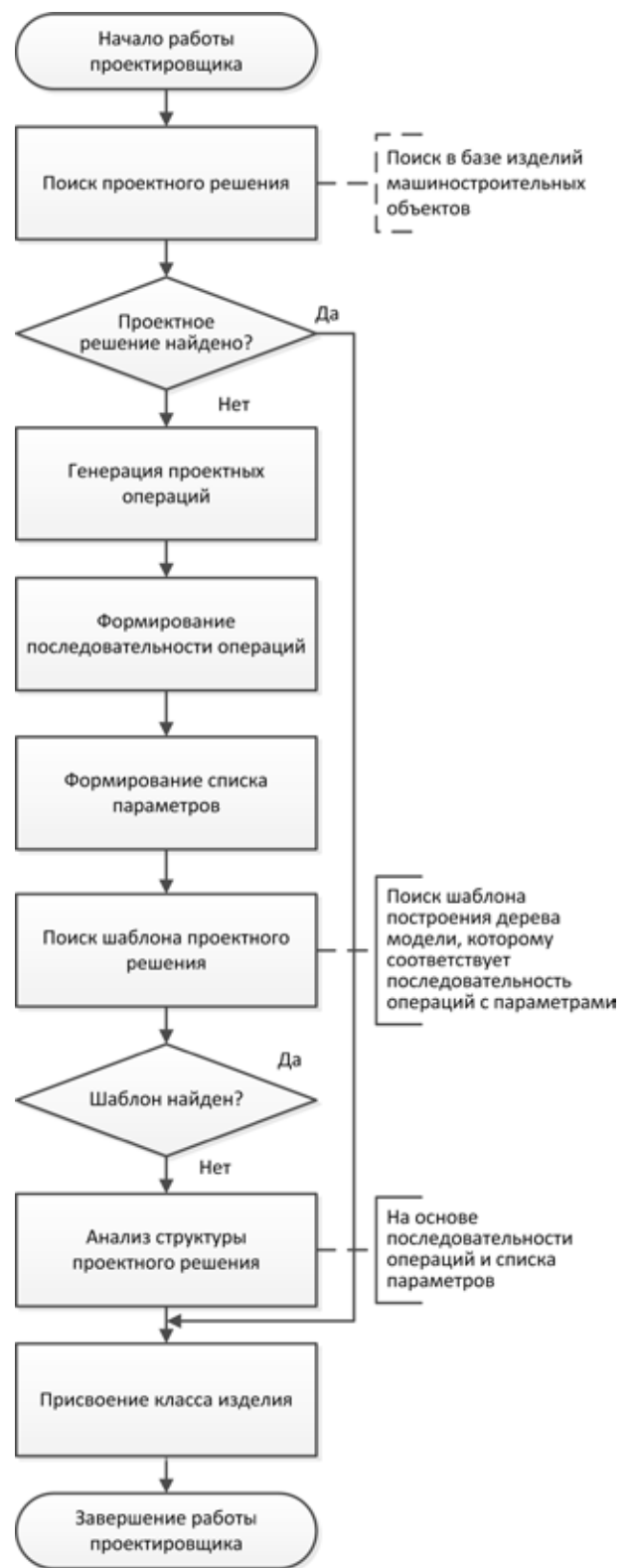


Рис. 2. Алгоритм классификации изделий машиностроительных объектов

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АНАЛИЗА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Автоматизированная система анализа проектных решений (рис. 3), выполненных в среде САПР КОМПАС, состоит из следующих частей:

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

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

Генератор операций поддерживает анализ операций твердотельного моделирования, представленных ниже.

1. Построение геометрических объектов: точки, прямые, отрезки, окружности, эллипсы, дуги, многоугольники, ломаные, кривые Безье, NURBS.
2. Операции твердотельного моделирования: выдавливание, вращение, кинематическая, по сечениям-эскизам, булева операция, отсечение, скругление, фаска, круглое отверстие, уклон.
3. Построение массивов: по сетке, по концентрической сетке, вдоль кривой, по точкам, по таблице, зеркальный, по образцу.
4. Построение сопряжений: совпадение, касание, соосность, параллельность, перпендикулярность, расстояние, угол.

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

Система классификации изделий машиностроительных объектов состоит из шаблонов построения деревьев для определенных классов изделий, различных модулей анализа классов изделий и базы данных со

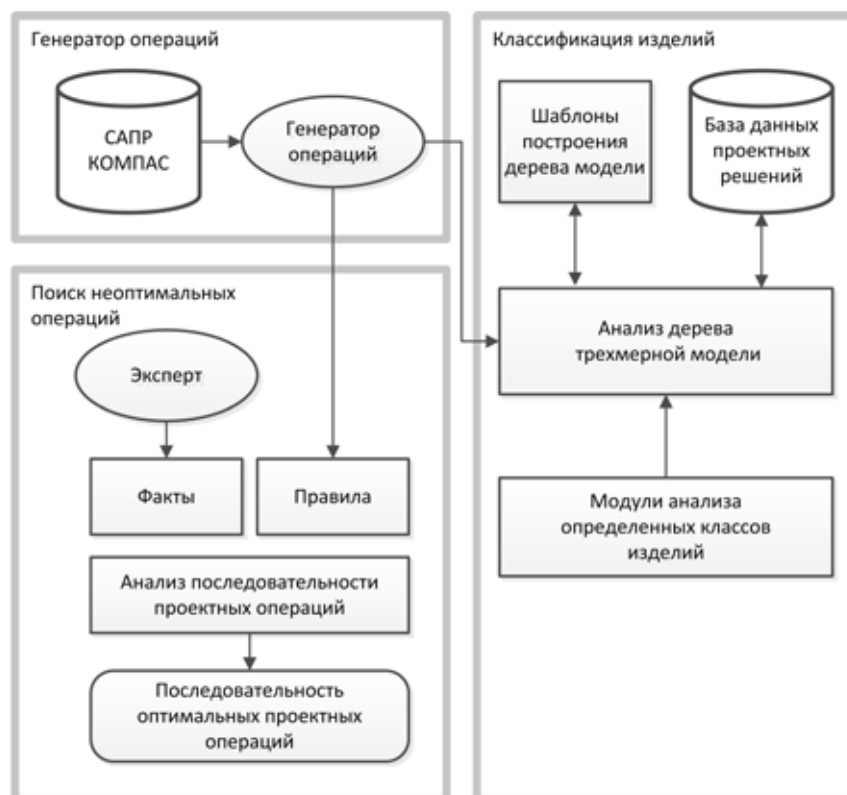


Рис. 3. Структурная схема системы анализа проектных решений

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

Разработанная система обеспечивает управление анализом проектных решений, позволяет классифицировать изделия машиностроительных объектов, а также имеет возможность просмотра рекомендаций [14]. 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 [15];
- 2) анализ проектного решения – запуск анализа проектного решения с составлением рекомендаций по каждой детали, перестроение проектного решения на основе сформированных рекомендаций;
- 3) анализ изделий – состоит из различных модулей анализа определенных классов изделий;
- 4) поиск по базе данных изделий машиностроительных объектов.

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

- дерево построения;
- описание операций и их параметров.

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

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

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

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

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

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

Рассмотрим в качестве примера деталь «Кожух», дерево модели которой до анализа проектного решения представлено на рисунке 4.

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

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

Выполнение сформированной рекомендации позволяет уменьшить количество действий относительно выполнения операции «Скругление» над каждым ребром в отдельности, а также уменьшает количество получаемых объектов в дереве модели (рис. 5) в результате перестроения проектного решения.

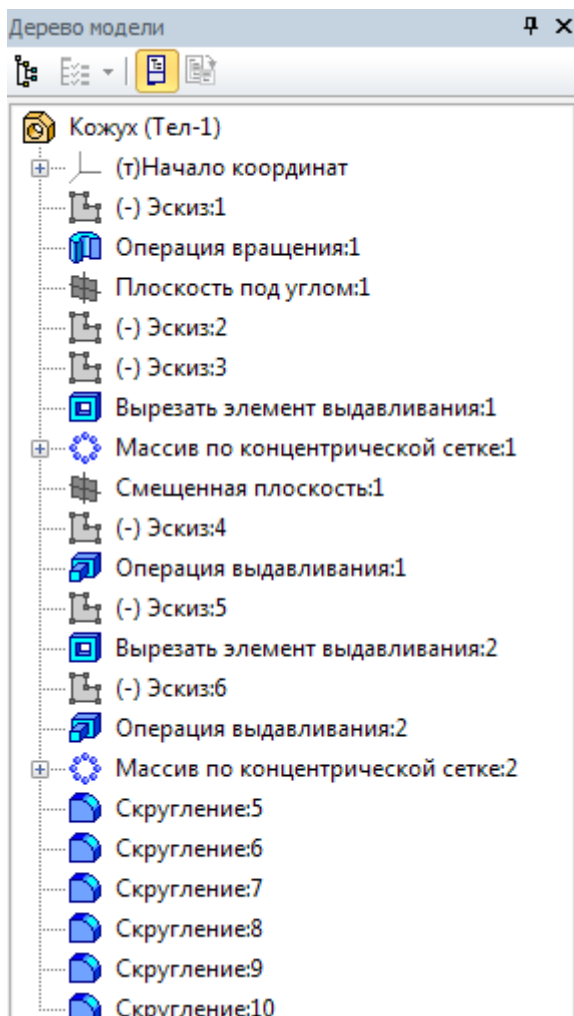


Рис. 4. Дерево модели детали «Кожух» до анализа проектного решения

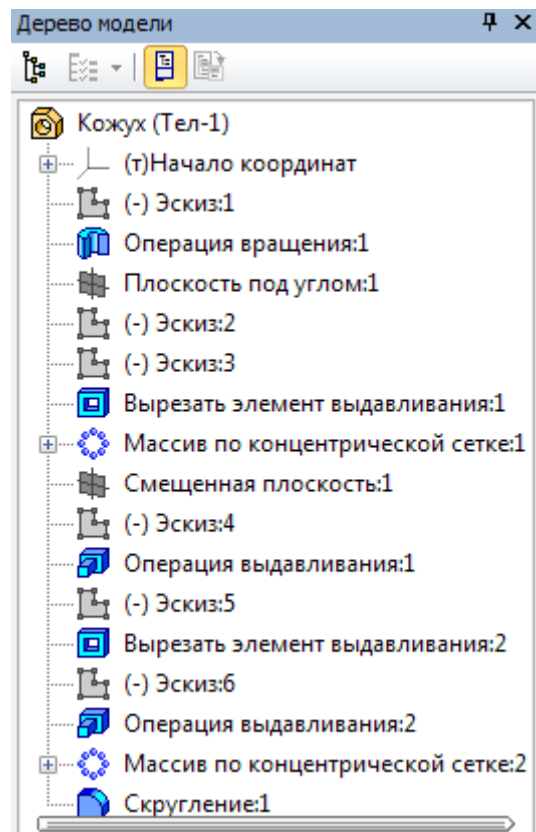


Рис. 5. Дерево модели детали «Кожух» после анализа проектного решения

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА с САПР

На рисунке 6 представлена схема взаимодействия программного комплекса с САПР КОМПАС-3D.

Автоматизированная система анализа проектных решений взаимодействует с САПР КОМПАС с использованием программных API-интерфейсов, содержащих методы трехмерного моделирования и математические функции ядра САПР. В САПР КОМПАС-3D осуществляется поддержка двух версий API-интерфейсов: AP15 (интерфейс KompasObject) и AP17 (интерфейс IKompasAPIObject).

Для формирования текстового описания твердотельной трехмерной модели проектного решения САПР КОМПАС-3D разработан авторский универсальный инструмент [15], который обеспечивает автоматизированное создание справочника к сборке/детали. Полученный справочник содержит дерево построения трехмерной модели и проектное описание (какие проектные операции были выполнены и в какой последовательности, чтобы построить трехмерную модель).

Инструмент написан на языке программирования C#. Справочная информация о проектном решении автоматически генерируется из справочных систем помощи КОМПАС-3D (Азбука Компас-График, Азбука Компас-3D) и сохраняется в отдельном файле в формате XML [16] для дальнейшего использования при анализе проектного решения, выполненного в САПР КОМПАС.

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

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены модели последовательности проектных операций, исходных данных для автоматизированного перестроения объекта трехмерного моделирования, деталей, переменных и параметров трехмерной модели.



Рис. 6. Схема взаимодействия программного продукта с САПР КОМПАС

На основе предложенных моделей разработан метод структурно-параметрического анализа проектных решений на основе потока действий проектировщика в САПР, позволяющий повысить эффективность работы проектировщика, а также повысить качество и уменьшить сложность проектных решений САПР.

Разработанный программный комплекс состоит из генератора операций, системы поиска неоптимальных проектных операций и системы классификации изделий машиностроительных объектов. Генератор операций выполнен на платформе .NET Framework с использованием технологии OLE Automation, реализованной в виде подключаемого модуля на языке программирования C#. Система поиска неоптимальных проектных операций реализована на платформе Ruby и позволяет расширять функциональность за счет добавления новых правил для поиска неоптимальных операций. Система классификации изделий машиностроительных объектов выполнена на платформе NET Framework. Модули анализа классов изделий реализованы на языке программирования C#.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Inventor-3D-САПР для машиностроительного проектирования, Autodesk. – URL: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview/> (дата обращения: 27.12.2017).
2. Интерпроком: портфель решений CATIA. – URL: <https://interprocom.ru/products/dassault-systems/portfel-resheniy-catia/> (дата обращения: 27.12.2017).
3. КОМПАС-Эксперт. – URL: <https://machinery.ascon.ru/software/developers/items/?prpid=1253> (дата обращения: 27.12.2017).
4. INDORCAD 10 как BIM-инструмент анализа проектных решений и обнаружения коллизий / В.Н. Бойков, Н.С. Мирза, Д.А. Петренко, А.В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2 (5). – С. 108–113.
5. Engineering Simulation & 3D Design, ANSYS. – URL: <http://www.ansys.com/> (дата обращения: 27.12.2017).

6. Бригаднов С.И., Афанасьев А.Н. Рекомендательная система для САПР КОМПАС // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2016) : тр. XVI-й междунар. молодёж. конф. – М. : Аналитик, 2016. – С. 33–36.

7. Бригаднов С.И., Канев Д.С. Разработка рекомендательной системы САПР КОМПАС-3D // Информатика и вычислительная техника : сб. науч. тр. VIII Всерос. науч.-техн. конф. аспирантов, студентов и молодых ученых ИВТ-2016. – Ульяновск, 2016. – С. 68–73.

8. NX for Design: Advantages and Benefits. – URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/for-design/advantages-benefits.shtml> (дата обращения: 27.12.2017).

9. 3D Systems Software. – URL: <http://www.3dsystemssoftware.it>ShowProduct.aspx?ID=Cimatron> (дата обращения: 27.12.2017).

10. 3D CAD Software Creo PTC. – URL: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo> (дата обращения: 27.12.2017).

11. CADdy++ mechanical professional. – URL: <http://english.datasolid.com/products/caddy-mechanical-design/caddy-mechanical-design-professional?showall=&start=1> (дата обращения: 27.12.2017).

12. CATIA Engineering. – URL: <https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v6/portfolio/d/digital-product-experience/s/catia-engineering/> (дата обращения: 27.12.2017).

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

14. Бригаднов С.И. Разработка пользовательского интерфейса рекомендательной системы для САПР КОМПАС-3D // Электронное обучение в непрерывном образовании. – 2017. – № 1 (4). – С. 48–53.

15. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015616393. Автоматическое построение модели предметной области САПР на основе детали из КОМПАС-3D / Афанасьев А.Н., Войт Н.Н., Канев Д.С. ; заявитель и правообладатель Ульян. гос. тех. ун-т. – № 2015613505 ; заявл. 24.04.2015 ; зарегистр. 09.06.2015 г. – М.: Роспатент, 2015.

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

REFERENCES

1. *Inventor-3D-SAPR dlia mashinostroitel'nogo proektirovaniia*, Autodesk [Inventor-3D-SAPR for Machine Building Design, Autodesk]. Available at: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview/> (accessed 27.12.2017).

2. *Interprokom: portfel resheni CATIA* [Interprokom: CATIA Product Portfolio]. Available at: <https://interprocom.ru/products/dassault-systems/portfel-resheniy-catia/> (accessed 27.12.2017).

3. *KOMPAS-Ekspert* [KOMPAS-Expert]. Available at: <https://machinery.ascon.ru/software/developers/items/?prpid=1253> (accessed 27.12.2017).

4. Boykov V.N., Mirza N.S., Petrenko D.A., Skvortsov A.V. INDORCAD 10 kak BIM-instrument analiza proektnykh reshenii i obnaruzheniia kollizii [IndorCAD 10 as BIM-Tool for Project Analysis and Conflicts Detection]. *SAPR i GIS avtomobilnykh dorog* [CAD & GIS for Roads], 2015, no. 2 (5), pp. 108–113.

5. *Engineering Simulation & 3D Design*, ANSYS. Available at: <http://www.ansys.com/> (accessed 27.12.2017).

6. Brigadnov S.I., Afanasev A.N. Rekomendatelnaia sistema dlia SAPR KOMPAS [The System of Recommendations for CAD KOMPAS]. *Sistemy proektirovaniia, tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva i upravleniia etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta (CAD/CAM/PDM-2016)*. Tr. XVI-i mezhdunar. molodezh. konf. [Proc. of the XVI Intern. Youth Conf. on Computer-Aided Design Systems, Production Planning and Management Systems of Lifecycle Phases of Industrial Product (CAD/CAM/PDM-2016)]. Moscow, Analitik Publ., 2016, pp. 33–36.

7. Brigadnov S.I., Kanev D.S. Razrabotka rekomendatelnosistemy SAPR KOMPAS-3D [SAPR KOMPAS-3D Recommendation System Development]. *Informatika i vychislitelnaia tekhnika. Sb. nauch. tr. VIII Vseros. nauch.-tekhn. konf. aspirantov, studentov i molodykh uchenykh IVT-2016* [Proc. of VIII Russ. Sci.-Tech. Conf. on Informatics and Computers for Postgraduates, Students, and Young Scientists. IVT-2016]. Ulyanovsk, 2016, pp. 68–73.

8. *NX for Design: Advantages and Benefits*. Available at: <https://www.plm.automation.siemens.com/en/products/nx/for-design/advantages-benefits.shtml> (accessed 27.12.2017).

9. *3D Systems Software*. Available at: <http://www.3dsystemssoftware.it>ShowProduct.aspx?ID=Cimatron> (accessed 27.12.2017).

10. *3D CAD Software Creo PTC*. Available at: <https://www.ptc.com/en/products/cad/creo> (accessed 27.12.2017).

11. *CADdy++ Mechanical Professional*. Available at: <http://english.datasolid.com/products/caddy-mechanical-design/caddy-mechanical-design-professional?showall=&start=1> (accessed 27.12.2017).

12. *CATIA Engineering*. Available at: <https://www.3ds.com/products-services/catia/products/v6/portfolio/d/digital-product-experience/s/catia-engineering/> (accessed 27.12.2017).

13. Pinkov A.P., Afanasev A.N., Voyt N.N., Kanev D.S. Razrabotka metodov i sredstv kompiuternykh system obucheniia avtomatizirovannomu proektirovaniu mashinostroitelnykh ob'ektov [Development of Methods and Means of Computer Systems for Machine Objects CAD Training]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2017, no. 1 (47), pp. 75–84.

14. Brigadnov S.I. Razrabotka polzovatelskogo interfeisa rekomendatelnoi sistemy dlia SAPR KOMPAS-3D [Development of the User Interface of the Recommendation System for Compass-3D CAD]. *Elektronnoe obuchenie v nepreryvnom obrazovanii* [E-Learning in Continuous Education], 2017, no. 1 (4), pp. 48–53.

15. Afanasev A.N., Voyt N.N., Kanev D.S. *Avtomaticheskoe postroenie modeli predmetnoi oblasti SAPR na osnove detali iz KOMPAS-3D* [An Automated Formation of the Model of CAD Application Based on Details from KOMPAS-3D]. Certificate of Registration of Software Program no.

2015616393. Applicant and Proprietor: Ulyanovsk State Technical University. Application no. 2015613505. Date of filing: April 24, 2015. Date of publ.: June 09, 2015. Moscow, Rospatent Publ., 2015.

16. Afanasev A.N., Voyt N.N. Razrabotka i issledovanie sredstv izvlecheniia iz SAPR KOMPAS-3D i predstavlenie v veb-sistemakh konstruktorskogo opisaniia, 3D-modelei promyshlennykh detalei i sborok [Development and Research of Extracting Means from CAD KOMPAS-3D and Presentation in Web-Systems of Design Description]. *Sistemy proektirovaniia, tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva i upravleniia etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta (CAD/CAM/PDM-2015)*. Tr. mezhdunar. Konf. Pod red. A.V. Toloka [Proc. of Intern. Conf. on Computer-Aided Design Systems, Production Planning and Management Systems of Lifecycle Phases of Industrial Product (CAD/CAM/PDM-2016)]. Edited by A.V. Tolok. Moscow, Analitik Publ., 2015, pp. 208–212.