

# Внедрение средств автоматической проверки решений конструктивных задач инженерной геометрии в CAD-систему

А. А. Бойков<sup>1</sup>, А. М. Федотов<sup>2</sup>  
albophx@mail.ru | fam1950@bk.ru

<sup>1</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, Россия

<sup>2</sup> Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина, Иваново, Россия

Предлагается модель взаимодействия инструментов автоматической проверки решений конструктивных задач с CAD-системой. Анализируются различные подходы к реализации этой модели. Отмечаются недостатки системы проверки файлов с решениями задач в контексте задач образования. Показывается, что этих недостатков лишена система проверки, интегрированная среди прочих инструментов в CAD-систему. Приводятся функциональная и структурная схемы интеграции инструментов проверки на основе CAD-системы и удаленной проверяющей системы, алгоритм работы модуля проверки в составе CAD-системы. Рассматриваются возможности CAD-системы «Компас-3D» для внедрения внешних модулей и программные интерфейсы системы. Показывается создание инструмента для проверки решений графических задач и его использование в CAD-системе «Компас-3D» на примере задачи о построении перпендикуляра к плоскости.

**Ключевые слова:** CAD-системы, автоматизированная проверка чертежей, автоматизированная проверка электронных моделей, конструктивные задачи инженерной геометрии, CAD-системы в образовании

## Implementing tools of the automatically verifying of the solutions of engineering geometry constructive problems to CAD

A. A. Boykov<sup>1</sup>, A. M. Fedotov<sup>2</sup>  
albophx@mail.ru | fam1950@bk.ru

<sup>1</sup> MIREA – Russian Technological University

<sup>2</sup> Ivanovo State Power University, Ivanovo, Russia

A model for the interaction of tools for automatically verifying of solutions of constructive problems with a CAD system is proposed. Various approaches to the implementation of this model are analysed. Shortcomings of the system for verifying files with problem solutions in the context of education are noted. It is shown that the verification system integrated among other tools in the CAD system is deprived of these shortcomings. The functional and structural diagrams of integration of verification tools based on a CAD system and a remote verification system, the algorithm of the verification module as part of the CAD system are given. The possibilities of the CAD «Компас-3D» for the implementation of external modules and its application programming interface (API). The creation of a tool for verifying solutions of constructive problems and its use in the CAD «Компас-3D» is shown.

**Keywords:** CAD, computer aided verifying of drawings, computer aided verifying of 3D models, constructive problems of engineering geometry, CAD-systems in education

### 1. Введение

В свете широкого внедрения современных информационных технологий в промышленности и техническом образовании становится актуальной проблема проверки качества электронных геометрических моделей, которые, являясь результатом работы обучающихся, содержат в себе объективные сведения о качестве обучения. Формализовать понятие качества (правильности) геометрической модели можно лишь сформулировав задачу, решением которой геометрическая модель является [1]. В [1, 2] для этого введено понятие **конструктивной геометрической модели** (КГМ) как совокупности именованных элементов (геометрических и вспомогательных) с их параметрами и атрибутами и связей между ними (это позволяет рассматривать с единых позиций электронные чертежи и трехмерные модели в векторном представлении), и понятие **конструктивной задачи инженерной геометрии** (КЗ) как задачи, состоящей в создании КГМ, удовлетворяющей заданным условиям. Автоматизация проверки осуществляется на основе эвристического подхода [3] и состоит в формализации условий КЗ и представлении их в виде эталона, с которым сопоставляется проверяемое решение (модель) для выявления количественной оценки правильности [4]. В настоящей работе рассматривается реализация этого подхода в среде CAD-системы.

### 2. Анализ проблемы и постановка задачи

В [1] подробно рассмотрены подходы (коды 1.1.1–2.2.3) к организации компьютерной проверки КГМ, реализующие указанную эвристическую модель (рис. 1). В следующих случаях решение задачи может быть выполнено в CAD-системе:

- решение и проверка выполняются в среде CAD-системы при помощи встроенных инструментов (код 1.1.1) или удаленно (код 2.1.1);
- решение выполняется в CAD-системе, сохраненные файлы проверяются при помощи специального приложения на том же компьютере (код 1.2) или на удаленном сервере (код 2.1.2).



**Рис. 1.** Функциональная модель системы проверки. В работах [2, 4] автоматизация проверки решений КЗ, выполненных в CAD-системах, осуществлялась, преимуще-

ственно, в виде проверки файлов решений на удаленном компьютере (код 2.1.2). Этот подход применительно к задачам образования имеет существенные недостатки:

- потери времени (в частности, аудиторного) на загрузку исходных файлов с заданием и решением, на экспорт решения в обменный графический формат;
- потери геометрической информации при конвертации в формат данных, с которым работает система компьютерной проверки.

Этих недостатков лишены подходы, основанные на проверке решения прямо в среде CAD-системы, причем в случае самоподготовки выгодна проверка встроенными инструментами (код 1.1.1) – не требуется доступ в Интернет, пересылка решения и результатов проверки; в случае проведения контрольных мероприятий – проверка на удаленном сервере (код 2.1.1) повышает достоверность результатов проверки и обеспечивает их передачу в Интернет-системы, например, Moodle.

Если система компьютерной проверки решений уже настроена для проверки загруженных пользователями СДО файлов решений, как это предлагается в [2, 4], тогда для реализации подхода 2.1.1 достаточно обеспечить возможность передачи решения (геометрической модели) непосредственно из среды CAD-системы в систему проверки, реализация инструментов проверки в CAD-системе не требуется.

С учетом сказанного целью настоящей работы является обеспечение возможности компьютерной проверки решений КЗ в CAD-системе, для чего требуется:

- Разработать модель внедрения инструментов для компьютерной проверки решений КЗ в CAD-систему;
- Реализовать инструменты для компьютерной проверки решений КЗ в CAD-системе.

### 3. Разработка модели внедрения инструментов компьютерной проверки КЗ в CAD-систему

В качестве примера рассмотрим CAD-систему «Компас-3D». Широкое распространение на отечественных предприятиях и в учебных заведениях делает ее привлекательным инструментом для решения учебных и прикладных задач, а тот факт, что основные форматы файлов остаются закрытыми, затрудняет использование сторонних проверяющих систем и требует конвертации чертежей и моделей с потерями в обменные форматы (например, DXF или IGES) для проверки.

Функциональная модель решения КЗ представлена следующей схемой (рис. 2).

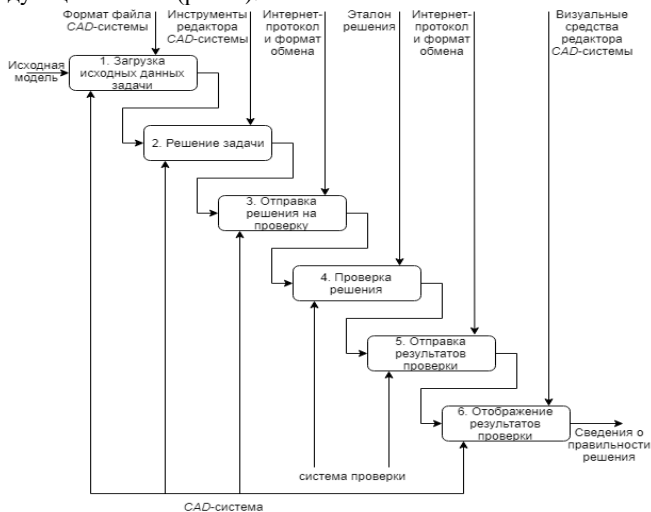


Рис. 2. Функциональная модель решения КЗ

Непосредственно с проверкой связаны блоки 3–6, из которых компоненты, внедренные в CAD-систему, должны реализовывать функции 3, 5 (частично) и 6. Функции 1–2 выполняются стандартными средствами CAD-системы, функции 4–5 – удаленная система проверки.

Для реализации указанных функций требуется инструмент (модуль), дополняющий набор инструментов CAD-системы, имеющий доступ к геометрической модели (решению КЗ), представленной во внутреннем формате CAD-системы в памяти компьютера, и средствам оповещения пользователя (диалоговым окнам, всплывающим подсказкам). Структурная модель взаимодействия CAD-системы и удаленной системы проверки решений КЗ показана на рис. 3.

Интеграцию CAD-системы и подсистемы проверки решений КЗ обеспечивают внедренный в CAD-систему модуль и специальный компонент системы проверки (модуль обмена), отвечающий за получение решения (проверяемой КГМ) удаленно (например, используя протокол HTTP), передающий решение в систему проверки и по окончании проверки возвращающий сведения о ее результатах.

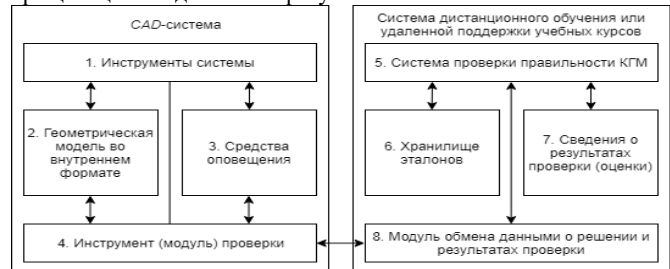


Рис. 3. Структурная модель взаимодействия CAD-системы и удаленной системы компьютерной проверки решений КЗ

Поскольку проверка (блок 5) осуществляется путем сравнения КГМ решения и эталона во внутреннем формате системы проверки [1, 4], то реализацию предлагаемой модели можно заметно упростить, если пересылать из модуля проверки 4 в модуль обмена 8 данные решения КЗ (блок 2) не в формате CAD-системы, а в формате, оптимизированном для проверки. В этом случае предлагаемая модель может быть использована для разных CAD-систем с различными внутренними форматами представления КГМ. Для каждой CAD-системы требуется создание своего уникального модуля проверки 4, но модуль обмена 8, который будет получать решения и отправлять сведения о результатах проверки в едином формате, изменений не потребует.

Инструмент проверки представлен в CAD-системе единственной командой (выполнить проверку активного чертежа или модели). Действие этой команды представляет следующий алгоритм (рис. 4).



Рис. 4. Алгоритм работы модуля проверки в составе CAD-системы

Шаги 2–3 не требуют взаимодействия с элементами CAD-системы: обмен данными через сеть Интернет обеспечивают соответствующие средства языка программирования.

Таким образом, для реализации разработанной модели требуется следующее:

- Обеспечить формирование КГМ для пересылки в систему проверки, действующую на удаленном сервере;

• Обеспечить получение сведений о результатах проверки и визуализацию результатов проверки в среде CAD-системы. Рассмотрим эти вопросы подробнее.

#### 4. Программные интерфейсы CAD-системы «Компас-3D» для внедряемых модулей

Поскольку сами по себе CAD-системы не предназначены для разработки программных модулей, то некоторые из них позволяют создавать новые инструменты в сторонних, специально созданных для этого системах (*Delphi*, *Visual Studio*, *C++ Builder* и др.). Обеспечить взаимодействие таких инструментов с CAD-системой позволяют так называемые интерфейсы создания приложений (*Application programming interface – API*): библиотеки подпрограмм, используя которые, созданные посторонними разработчиками программы могут обращаться к элементам CAD-системы, создавать, редактировать геометрическую модель, открывать и записывать файлы, управлять окнами и пр. Система «Компас-3D» предоставляет такой API и набор средств разработки (*Software development kit – SDK*), который включает в себя файлы-объявлений, упрощающих доступ к элементам графической среды «Компас-3D» из программного кода прикладных программ, справочную систему и набор примеров.

Основу API системы «Компас-3D» составляют объектно-ориентированные элементы, называемые интерфейсами (*interface*), которые предоставляют разработчику доступ к своим данным (*свойства*) и возможность управлять своим поведением (*методы*) [5]. Достаточно подробно создание программ для построения чертежей и моделей в CAD-системе «Компас-3D» на языке *Object Pascal* в среде *Delphi* рассмотрено в [6, 7]. Ввиду универсальности интерфейсов [5] на других языках программирования такие программы создаются аналогично.

Для получения доступа к текущему документу и геометрической модели текущего документа используются следующие интерфейсы API «Компас-3D» [8].

*KompasObject* – приложение «Компас-3D», интерфейс версии 5. Для получения доступа к активному документу предоставляет методы – *ActiveDocument2D*, *ActiveDocument3D* и др. Для создания итераторов для навигации по объектам некоторого типа – *GetIterator*. Для доступа к интерфейсу версии 7 – *ksGetApplication7*.

*IApplication* – приложение «Компас-3D», интерфейс версии 7. Для доступа к активному документу предоставляет свойство – *ActiveDocument*, ко всем документам – *Documents*.

*ksDocument2D* – плоский документ (фрагмент или чертеж), интерфейс версии 5. Для получения доступа к основной надписи предоставляет метод *GetStamp*. Для создания геометрических фигур содержит набор соответствующих методов – *ksCircle*, *ksLine*, *ksLineSeg*, *ksPoint* и др.

*IKompasDocument2D* – общий интерфейс плоских документов, может быть получен у текущего документа, если он является чертежом, фрагментом (или активным эскизом в трехмерной модели). Для доступа к слоям и видам плоского документа предоставляет свойство *ViewsAndLayersManager*.

*IViewsAndLayersManager* – менеджер групп слоев (коллекция *LayerGroups*) и видов (коллекция *Views*).

*IView* – вид (стандартный, дополнительный, местный и др.) и дополнительные интерфейсы вида *IViewDesignation* (обозначение вида), *IDrawingContainer* (графические объекты), *ISymbols2DContainer* (размеры и обозначения), *IBreakViewParam* (параметры разрывов вида), *ICutViewParam* (параметры разрезов вида), *IViewI* (системы координат) и др.

*IDrawingObject* – интерфейс графических объектов и производные от него *ILineSegment* (отрезок), *ICircle* (окружность), *IPoint* (точка), *IDrawingText* (текст на чертеже), *ILine* (прямая), *ILineDimension* (линейный размер) и др.

Также имеются интерфейсы для доступа к трехмерным документам (деталь и сборка) и элементам таких документов. В настоящей работе мы ограничимся плоскими документами и проверкой чертежей.

Для вывода сообщений интерфейсы *KompasObject* и *IApplication* предоставляют следующие методы – *ksMessage* (окно с сообщением), *ksError* (сообщение об ошибке), *MessageBoxEx* (окно с сообщением или всплывающее сообщение в правом нижнем углу экрана), *ksYesNo* (диалоговое окно с вопросом типа Да/Нет) и др.

Таким образом, рассмотренные программные интерфейсы позволяют внедряемому модулю получать сведения о геометрической модели и взаимодействовать с элементами интерфейса CAD-системы «Компас-3D».

#### 5. Формирование КГМ для проверки

Рассмотрим работу блока формирования КГМ для отправки в систему проверки.

КГМ представляет собой структуру данных вида  $M = \langle O, R, G, A, E \rangle$  [4], где  $O$  – множество объектов (различаются значением *ключ*), составляющих решение,  $R$  – множество связей между объектами,  $G$  – множество видов связей,  $A$  – множество видов объектов (алфавит),  $E$  – совокупность свойств пространства, в котором рассматриваются объекты  $O$  и связи  $R$ . Каждый объект описывается четверкой  $o = \langle a, \text{ключ}, P, V \rangle$ , где  $a$  – символ вида объекта,  $P$  – множество параметров,  $V$  – множество атрибутов в виде пар (название, значение). Каждая связь описывается четверкой  $r = \langle q, o_1, o_2, V \rangle$ , где  $q$  – символ вида связи,  $o_1, o_2$  – ключи целевого и исходного объекта,  $V$  – множество атрибутов связи. Каждый элемент алфавита  $A$  описывается тройкой  $\langle a, P_0, V_0 \rangle$ , где  $a$  – символ вида объекта,  $P_0$  – множество параметров,  $V_0$  – множество атрибутов. Каждый элемент  $G$  описывается четверкой  $\langle q, a_1, a_2, V_0 \rangle$ , где  $q$  – символ вида связи,  $a_1, a_2$  – символы целевого и исходного объекта,  $V_0$  – множество атрибутов связи. КГМ в такой форме позволяет единообразно представлять различные геометрические объекты и связи между ними и может быть получена из внутреннего формата данных CAD-системы, такое представление КГМ используется и в проверяющей системе.

Выше отмечалось, что в рассматриваемой модели, КГМ пересылается в том же формате, в каком выполняется проверка, то есть элементы данных  $\langle G, A, E \rangle$  модели уже присутствуют в системе проверки. Будем называть тройку  $J = \langle G, A, E \rangle$  контекстом для некоторого класса задач. Будем называть структуры данных вида  $M^J = \langle O, R \rangle^J$  КГМ (решением) в контексте  $J$ . Таким образом, требуется выполнить пересылку только данных  $M^J$ . Для этого будем формировать текстовое описание – информацию о каждом объекте КГМ запишем отдельным предложением одного из трех видов:

- (а) *ключ* = вид фигуры (список параметров и атрибутов)
  - (б) *ключ* = вид фигуры (список параметров и атрибутов, список связей)
  - (в) *ключ* = вид фигуры (список связей)
- где список параметров и атрибутов состоит из доек *имя=значение*,  
– а список связей – из троек:  
*имя связи (список параметров связи)=связанный объект*

– причем при переводе может быть сформировано ровно одно предложение вида (а), (б) или (в) для каждого значения ключ (уникально для каждого объекта модели).

Рассмотрим в качестве примера решение задачи курса начертательной геометрии на построение треугольника по заданным координатам его вершин и построение перпендикуляра к его плоскости из [1]. Чертеж решения в системе «Компас-3D» представлен на рис. 5, а.

Для передачи в систему проверки сформировано описание следующего вида (показаны фрагменты):

$T4294967331 = \text{Text}(x=25.19512007419307, y=267.23920236796960, \text{width}=101.70019531250000, \text{height}=35.67906951904297, \text{angle}=0, \text{mirror}=0, \text{content}=\text{"ASCODE\#001\}\n\text{Задание. По данным размерам построить\}\n\text{чертеж треугольник..."}\text{"})$

$T4294967320 = \text{Text}(x=63.69026738388821, y=186.65682389420499, \text{width}=7.56854152679443, \text{height}=8.35843849182129, \text{angle}=0, \text{mirror}=0, \text{text}=\text{"A\$m;2\$"}\text{"}) \dots$

$S4294967297 = \text{Segment}(ax=151.76421064830959, ay=115.24344890420329, bx=129.76421064830959, by=85.24344890420335, \text{style}=\text{solid})$

$C4294967310 = \text{Circle}(x=69.76421064830964, y=192.10099883548799, \text{radius}=1.0, \text{style}=\text{thin}) \dots$

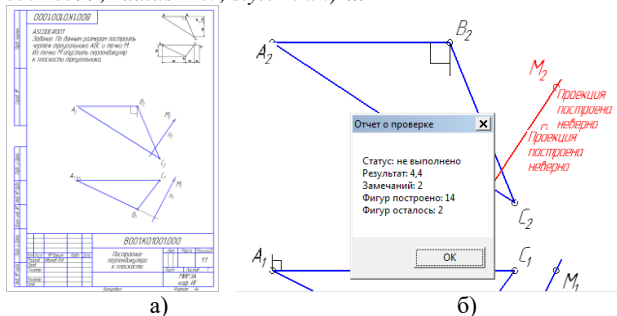


Рис. 5. Пример чертежа с решением задачи и результаты проверки

Существенная информация (геометрические параметры объектов, стиль линий, содержание текстовых полей и др.) представлена полностью; КГМ восстанавливается модулем обмена и выполняется ее проверка, как показано в [4].

## 6. Обработка результатов проверки

Интернет-запрос, выполняющий отправку данных при помощи Интернет-протокола (например, *HTTP*), также возвращает и результат в виде обыкновенного текста. Будем использовать строки-предложения вида:

*идентификатор=значение*

Такой формат позволяет передавать и общие результаты проверки (в качестве идентификаторов выступают показатели проверки – оценка, число ошибок, мера), и сведения об ошибках (в качестве идентификаторов выступают ключи, а в качестве значений сообщения об ошибке).

Полученный в виде текста отчет о проверке обрабатывается следующим образом (рис. 6).



Рис. 6. Алгоритм обработки отчета о проверке

Если в очередной строке отчета содержится показатель проверки, он добавляется в строку отчета, которая, по окончании выводится в диалоговом окне (рис. 5, б). Если в строке

отчета содержится ключ фигуры и сообщение об ошибке, то создается текстовый элемент с сообщением, а фигура перемещается в специальный слой ошибок (рис. 5, б сообщения об ошибках размещены поверх соответствующих фигур).

## 7. Основные результаты

Была разработана модель внедрения средств компьютерной проверки решений КЗ в CAD-систему на примере «Компас-3D», особенностью подхода является использование существующей системы компьютерной проверки, размещенной на сервере в сети Интернет или локальной сети. Были созданы подпрограммы на языке *Delphi*, которые позволяют переслать решение в проверяющую систему, получить и отобразить в среде CAD-системы результаты проверки.

Работоспособность подпрограмм была успешно опробована на ряде задач курса начертательной геометрии из раздела «Точка, прямая, плоскость».

Планируется создание DLL-библиотеки для внедрения созданных подпрограмм в среду CAD-системы «Компас-3D» в качестве команды проверки. Дальнейшее изучение возможностей API системы позволит осуществлять компьютерную проверку других классов задач, в частности, связанных с пересечением поверхностей и др.

## 8. Литература

- Бойков А.А. Анализ подходов к созданию системы компьютерной проверки решений конструктивных задач инженерной геометрии // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сб. материалов IX Всероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. 400–403.
- Бойков А. А., Федотов А. М. Обзор компьютерных технологий для проверки и самопроверки решений графических задач // Проблемы координации работы технических вузов в области повышения качества инженерно-графической подготовки студентов: материалы науч.-метод. конф. (с. Дивноморское, 10-16 сентября 2018 г.). – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2018. – С. 171–189.
- Автоматизированное проектирование / В.С. Полозов, О.А. Будаков, С.И. Ротков и др. – М., 1983. – 280 с.
- Бойков А.А., Федотов А.М. Автоматическая проверка решений задач инженерной геометрии // ГРАФИКОН'2016 Труды 26-й Международной научной конференции. – Москва-Протвино, 2016. – С. 352–356.
- Роджерсон Д. Основы СОМ 2000. Библиотека программиста. – М., 2000. – 400 с.
- Троицкий Д. И. Создание САПР на базе Компас-3D: Методические указания для выполнения лабораторных работ / Д.И. Троицкий. – Тула: ТулГУ, 2007. – 20 с.
- Норсеев С. А. Разработка приложений под Компас в *Delphi* [Электронный ресурс]. – URL: <http://norseev.ru/books/kompas-delphi-2013/> (дата обращения: 10.04.2019).
- Справочная система КОМПАС-МАСТЕР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: входит в состав системы «Компас-3D», файл SDK/SDK.chm. – Загл. с экрана.

## Об авторах

Федотов Александр Михайлович, к.т.н., доцент кафедры конструирования и графики Ивановского государственного энергетического университета. E-mail fam1950@bk.ru.

Бойков Алексей Александрович, старший преподаватель кафедры Инженерной графики Российского технологического университета МИРЭА. E-mail alborphx@mail.ru.