

О реализации автоматического нормоконтроля графической части конструкторских документов для одного класса чертежей деталей

А. А. Бойков
albophx@mail.ru

МИРЭА - Российский технологический университет, Москва, Россия

Сформулирована задача нормоконтроля графической части конструкторских документов, показана ее актуальность. Приведен обзор подходов к автоматизации нормоконтроля технической документации. Показано, что центральное место в процедуре нормоконтроля графической части чертежей для заданного класса деталей занимает анализ геометрической формы детали по ее чертежу. Для выполнения процедуры анализа предложен структурный (грамматический) подход, приведена грамматика и элементы, из которых составляется форма детали. Описана процедура предварительной обработки чертежа. Приведен пример анализа чертежа грамматическим способом.

Ключевые слова: нормоконтроль, конструкторский документ, ЕСКД, автоматизация, компьютерная проверка, структурный анализ, грамматика.

On the implementation of automatic normative control of the graphics of design documents for one class of parts drawings

A. A. Boykov
albophx@mail.ru

MIREA - Russian Technological University

The task of normative control of the graphic part of design documents is formulated. A review of approaches to the automation of normative control of technical documentation is given. It is shown that the central place in the procedure for normative control of the graphics of the drawings for a given class of parts is occupied by the analysis of the geometric shape of the part according to its drawing. To perform the analysis procedure, a structural (grammatical) approach is proposed, a grammar and elements, from which the form of parts is composed, are presented. The procedure for preliminary processing of the drawing is described. An example of the analysis of the drawing in a grammatical way is given.

Keywords: normative control, design document, ESKD, automation, computer verification, structural analysis, grammar.

1. Введение

Несмотря на то, что в современном производстве ключевую роль играют трехмерные модели изделий, чертежи изделий сохраняют важное значение «юридически значимых документов» [1], и в связи с этим проблема нормоконтроля (НК) конструкторских документов (КД) остается актуальной.

Особенно трудоемкой является проверка графической части КД ввиду насыщенности чертежа информацией, восприятие которой требует пространственного воображения, и, в особенности, электронных чертежей - ввиду чрезвычайно высокой точности представления цифровых значений параметров геометрических фигур, составляющих чертеж, в современных САПР, отчего многие ошибки не могут быть определены «на глаз» и требуют измерений и сопоставления.

Упростить проведение, повысить быстроту и качество НК может компьютерная система анализа электронных чертежей в векторном формате, проверяющая их на соответствие требованиям, предъявляемым к графической части КД при нормоконтроле. Вопросам создания такой системы посвящена настоящая работа.

2. Общие сведения о нормоконтроле конструкторских документов

Цели, задачи, содержание и порядок НК КД приведены в ГОСТ 2.111 [2]. Нормоконтролю подлежит «КД на изделия основного и вспомогательного производства» в бумажной форме или в форме электронного КД. НК проводят в целях «обеспечения однозначности применения КД ... на всех стадиях жизненного цикла изделия». Задачи НК состоят в проверке: соблюдения в КД правил и норм, установленных в стандартах ЕСКД и других нормативных документах; достижения в изделиях необходимого уровня унификации на основе использования стандартизованных изделий, типовых решений; рационального применения ограничительных номенклатур изделий, норм, марок материалов и т. п.; достижения единообразия в оформлении, учете, хранении КД и др.

Содержание НК конструкторского документа зависит от вида документа и в общем случае проверяется:

1.а. Обозначение КД.

1.б. Комплектность документации.

1.в. Правильность выполнения основной надписи и дополнительных граф.

1.г. Правильность примененных сокращений слов.

1.д. Наличие и правильность ссылок на стандарты.

1.е. Полнота заполнения атрибутов реквизитной части.

1.ж. Проверка наличия подписей.

1.з. Проверка внешнего вида документации.

Кроме того, для чертежей всех видов дополнительно проверяется:

5.б. Выполнение в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

5.в. Рациональное использование конструктивных элементов, марок материалов и др.

5.г. Возможность замены оригинальных изделий типовыми.

Для чертежей деталей отдельно проверяется:

7.а. Отменяется проверка п. 5.в.

7.б. Соблюдение требований стандартов ЕСКД на условные изображения деталей, обозначения шероховатости и др.

7.в. Возможность замены оригинального конструктивного исполнения детали стандартизованным или типовым.

7.г. Возможность использования ранее спроектированных деталей.

7.д. Соблюдение установленных ограничительных номенклатур конструктивных элементов, допусков и посадок и др.

Отдельно отметим, что при проведении НК электронных моделей проверяется:

9.б. Полнота и соответствие графических документов, получаемых в виде чертежей из электронной модели, стандартам ЕСКД.

Таким образом, анализ ГОСТ 2.111 показывает, что НК КД включает в себя процедуры, которые можно разделить на следующие категории:

1. Проверка, не связанная с анализом графической части документа, например, 1.а, 1.г, 1.д.

2. Проверка, связанная с анализом графической части документа и проверкой общих для разных чертежей требований (ЕСКД), например, 5.б, 7.б, 7.д, 9.б.

3. Проверка, требующая не только анализа графической части чертежа, но и принятия решений в контексте обширной базы типовых решений, стандартных элементов и т. п., например, 5.г, 7.в, 7.г.

4. Проверка иного рода, связанная с комплектами документов в целом или с документами на бумажном носителе, например, 1.б, 1.ж, 1.з.

Процедуры категории 1, как будет показано ниже, известны и широко применяются на практике. Процедуры категории 3 требуют предварительного создания базы стандартных и типовых решений, соответствующих структур данных и интеллектуальных алгоритмов. Такая проверка возможна только после проверки процедурами категории 2 (правильность чертежа и соответствие стандартам ЕСКД).

Таким образом, реализация процедур проверки категории 2 является не только решением частной задачи НК, но и необходимым промежуточным этапом для более сложных процедур. Поэтому настоящая работа

посвящена вопросам автоматизации процедур проверки из категории 2.

3. Анализ существующих подходов к автоматизации нормоконтроля конструкторских документов

Рассмотрим существующие подходы к реализации автоматической проверки чертежей и НК КД.

В работах А.А. Соколова, А.М. Дворянкина и А.Ю. Ужвы (2012-2013) разрабатывается надстройка к программе *MS Word* для проверки текстовых технических документов [3].

В [4] приводится обзор функций программы «Электронный нормоконтроль» (2014) для файлов *AutoCAD*. Проверка выполняется на уровне имен файлов (запрещенные символы, структура), стилей и слоев (наименование, состав и параметры), на уровне объектов (не разрешенные значения параметров, шрифты, параметры шрифта, откорректированные вручную размеры, наложение блоков), на уровне листов (таблицы стилей печати, корректное расположение рамки и штампа, неиспользованные листы, объекты за пределами рамки) и др.

В работе П.Н. Воронковой, Ю.В. Францовой (2017) разрабатывается функциональная модель автоматизированной системы НК КД [5].

В работе О.В. Сулиной, А.А. Астановой (2018) рассматривается применение приложения «Компас-Эксперт» для проверки учебных чертежей. Проверка выполняется на уровне стандартов оформления (стиль текста, расстояние между размерными линиями, масштабы и обозначения видов, разрезов, сечений, наклон текста), на уровне ограничивающих перечней (разрешенные резьбы, фаски, конусности, применяемость материалов, стандартных изделий), на уровне владения программой (ручной ввод размеров и др.) [6].

В работе А.В. Губарева, А.А. Назарцевой (2019) предлагается совершенствовать НК КД при помощи систем электронного документооборота, что позволяет снять необходимость проверки 1.б, 1.ж, 1.з [7].

Кроме перечисленных работ представляют интерес обзоры инструментов *CAD*-систем для проверки чертежей.

В [8] приводится обзор возможностей утилиты «Пакетный нормоконтроль» (*Batch Standards Checker*) программы *AutoCAD*. Утилита проверяет параметры слоя, текстового стиля, размерного стиля, типы линий.

В [9] приводится обзор возможностей команды «*Design Checker*» системы *SolidWorks*. Команда позволяет проверять сборки, детали и чертежи. На чертежах проверяются стили стрелок размеров, расположение размерного текста, шрифты, единицы измерения, основные надписи, материалы и др.

В [10] приводится обзор возможностей утилиты *QCheck* для *Creo*, выполняющей проверку сборок, деталей и чертежей. На чертежах проверяются формат,

рамка, шрифты, элементы за пределами рамки, размеры, погашенные виды и др.

Также имеется ряд публикаций, посвященных обнаружению ошибок на чертежах.

В работе Е.Е. Шмуленковой (2010) рассматривается автоматическая оценка расположения фрагментов изображений при решении задачи размещения изображений на чертежах металлорежущего инструмента. В основе метода лежит понятие фрагмента изображения (ФИ), который представляет собой группу геометрических примитивов и задается внешней границей, математической моделью которой служит уравнение области на основе R -функций, подход позволяет установить факт наложения двух ФИ, свидетельствующий об ошибке. Автоматическое формирование уравнений осуществляют подпрограммы на языке *AutoLISP*. [11].

В работе Д.Ю. Васина и С.И. Роткова (2014) приведены алгоритмы проверки электронных чертежей ручного исполнения на наличие геометрических ошибок - таких комбинаций геометрических объектов, которые с высокой вероятностью свидетельствуют о неточности построений. Выделены три вида ошибочных ситуаций - совпадения/наложения (наложение отрезков или ломаных линий, дуг, окружностей и др.), угловых ошибок (нарушение параллельности, ортогональности), нарушения топологии (отсутствие или наличие ошибочного примыкания, разрывы в контуре и др.) [12].

Таким образом, имеющиеся подходы к проверке чертежей и НК КД позволяют, по большей части, выполнять процедуры категории 1, некоторые ошибки несоблюдения стандартов ЕСКД (недопустимый масштаб, шрифт, тип линии, стрелки, расположение размеров, выход изображений за границы рамки) и владения инструментами *CAD*-системы (ручной ввод размерных значений, наложение элементов, нарушение привязки и т. п.), но не способны оценить правильность чертежа - «структуру и форму элементов детали, количество размеров на чертеже, грамотность выбора размерных баз, способ простановки размеров» [6] и т.п.

Для реализации процедур НК КД категории 2 требуется разработать способ, который позволял бы распознавать и проверять графическую часть КД (чертеж) на уровне содержания модели - состав и содержание изображений (виды, разрезы, сечения, выносные элементы), форма и расположение детали, число и правильность выбора размеров и т.д.

4. Уточнение задачи проверки для чертежей одного класса деталей

Будем рассматривать чертежи деталей, основу формы которых составляют тела вращения с общей осью. Такие детали для выявления формы требуют наличия одного (главного) вида, как правило, соединенного с половиной разреза или содержащего местные разрезы. В некоторых случаях требуется второй вид - слева или одно или несколько поперечных сечений, выносные элементы. Кроме тел вращения, форма детали может

включать призматические элементы, пазы, выступы и углубления, поперечные отверстия, условное изображение резьбы или зубьев. Типичными деталями этого класса являются валы, штуцеры, зубчатые колеса и т. п. (рис. 1).

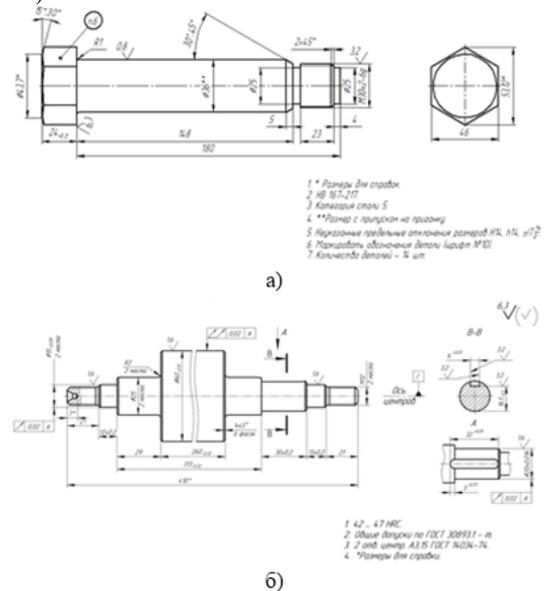


Рис. 1. Примеры чертежей деталей

Задачу проверки правильности чертежа разобьем на следующие частные задачи:

А.1. Проверка правильности изображений.

А.2. Проверка правильности нанесения размеров и предельных отклонений.

А.3. Проверка правильности нанесения шероховатостей и графических обозначений допусков формы и расположения.

Все перечисленные задачи требуют отдельного рассмотрения. Отметим однако, что проверка А.1 является необходимым условием для последующих, поскольку на этом этапе требуется выявить геометрическую структуру детали - состав и взаимосвязь ее элементов, для которых затем можно производить анализ и давать оценку нанесенных размеров (А.2), определять ограничивающие поверхности и их шероховатости и допуски формы и расположения (А.3).

Рассмотрим решение задачи проверки А.1 подробнее. Требуется выявить, является или нет проверяемая совокупность геометрических и вспомогательных (обозначения) объектов в векторной форме (электронный чертеж) правильным представлением некоторого пространственного предмета. Как известно, геометрическая форма предметов в большинстве случаев может быть представлена как комбинация более простых (элементарных, производных) геометрических фигур [13]. При этом изображение составной формы представляет собой совокупность элементов, которые являются частями изображений элементарных фигур или линий, принадлежащих одновременно нескольким элементарным фигурам.

Если пространственная форма предмета известна, то эталонное изображение может быть сформировано заранее, как это показано в [14], но тогда для проверки чертежей различных деталей требуется столько же эталонных изображений.

Требуется способ, который позволял бы, задав набор некоторых элементарных фигур, находить среди объектов чертежа группы, соответствующие этим фигурам, и таким образом проверять правильность изображения поэлементно. Сведения об элементах, обнаруженных в ходе проверки, составляют модель геометрической структуры предмета, своеобразное «знание» о его форме, которое может быть использовано при выполнении проверки А.2-А.3.

5. Грамматический подход к проверке чертежа

В [15] рассмотрен общий подход (способ наложения) к проверке решений конструктивных задач инженерной геометрии и показано его применение к проверке решений проекционных задач с точками, прямыми и пр. В [16] показано его применение к проверке чертежей решений задач начертательной геометрии, а также подробно рассмотрены этапы проверки, такие как формирование эталона, предварительная обработка проверяемого чертежа и т. п. В [17] вводится понятие проверяющей машины и описывается алгоритм ее работы. В основе способа лежит установление соответствия между графической моделью (чертежом) и эталоном при условии, что группа объектов чертежа представляет некоторый объект эталона. Именно такое соответствие требуется устанавливать в проверке А.1: на различных изображениях чертежа множество линий обозначают пространственную фигуру.

В соответствии с [15, 16] эталон для проверки создается на основе контекстно-свободной (КС) грамматики. Во всех рассмотренных примерах грамматика формировалась на основе деления чертежа на изображения, состав которых был известен заранее, а присутствие или отсутствие проекции объекта на изображении определялось только свойствами объекта. В случае проверки А.1 для чертежей рассматриваемого класса деталей состав изображений (видов, разрезов, сечений) точно не определен, а присутствие проекций объекта (элемента формы) на них определяется как свойствами объекта, так и свойствами изображений (вид, разрез или сечение) и возможностью элементов перекрывать и усекать друг друга. Другое отличие задачи проверки А.1 состоит в том, что в ней так же заранее неизвестны число и состав эталонных объектов.

Для определения формы детали будем использовать следующую грамматику (используется расширенная форма Бэкуса-Наура):

$$\begin{aligned}
 t &= \text{outerShape} [\text{innerShapeLeft}] [\text{innerShapeRight}] \\
 \text{outerShape} &= \text{oElement} \{ \text{oElement} \} \\
 \text{innerShapeLeft} &= \text{iElement} \{ \text{iElement} \} \\
 \text{innerShapeRight} &= \text{iElement} \{ \text{iElement} \} \\
 \text{oElement} &= \text{oFig} \{ \text{oAddon} \}
 \end{aligned}$$

$$iElement = iFig \{ iAddon \}$$

Приведенный фрагмент грамматики описывает форму детали, как состоящую из элементов трех групп - наружной формы (*outerShape*) и необязательных осных отверстий с левой (*innerShapeLeft*) и правой (*innerShapeRight*) сторон. Если отверстие сквозное, то *innerShapeRight* не используется. Далее каждая группа рассматривается как последовательная цепочка элементарных геометрических форм (*oElement* и *iElement*). Элементы групп *outerShape* и *innerShapeLeft* располагаются в пространстве слева направо, *innerShapeRight* - справа налево. Наружные элементы (*oElement*) являются выпуклыми и наружная форма получается как результат их объединения, внутренние - являются пустотами. Кроме собственно тела (*oFig*) фигуры могут иметь один или несколько модификаторов (*oAddon* или *iAddon*). Структура, задаваемая грамматикой, выглядит как показано на рис. 2. Геометрические модели с подобной структурой ранее рассматривались в [21], где показали простоту формирования 3D-представления и проекционных изображений. Именно это требуется в настоящей задаче, где на каждом шаге анализа необходимо адаптивно формировать образцы элементов для сравнения.

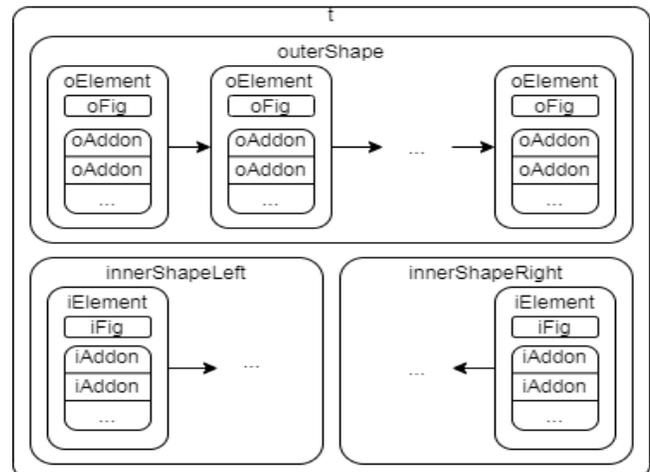


Рис. 2. Модель формы детали рассматриваемого класса

Из рисунка видно, что форма детали имеет, в основном, линейную (одномерную) структуру - элементы формы следуют один за другим как снаружи (*outerShape*), так и внутри детали (*innerShapeLeft* или *innerShapeRight*). Рассмотренные элементы грамматики составляют нетерминальные символы, не имеют внешне-го вида, управляют порядком анализа.

Терминальные символы, которые будут соответствовать элементарным геометрическим фигурам модели, в грамматику формы детали введем следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \text{oFig} &= \text{oCYL} \mid \text{oCONE} \mid \text{oSPHERE} \mid \text{oPRISM} \mid \text{oTORUS} \mid \dots \\
 \text{oAddon} &= \text{oRND} \mid \text{oCUT} \mid \text{oTHREAD} \mid \text{oKEYWAY} \mid \dots \\
 \text{iFig} &= \text{iCYL} \mid \text{iCONE} \mid \text{iTORUS} \mid \text{iSPHERE} \mid \text{iPRISM} \mid \dots
 \end{aligned}$$

$iAddon = iHSET | iTHREAD | \dots$

В отличие от задач, рассмотренных в [15, 16], где терминальным символам соответствовали отдельные фигуры или строго определенные группы фигур, в проверке А.1 терминальным символам грамматики соответствуют фрагменты одного или нескольких изображений на чертеже. Каждый терминальный символ требует задания определенного числа параметров, значения которых должны считываться с объектов чертежа в процессе анализа. Значения этих параметров сравниваются с эталонными в ходе проверки. На рис. 3 показаны характерные изображения элементарных фигур, из которых может быть составлена форма детали (по вертикали для каждого терминального символа показаны его варианты).

Форма детали из примера на рис. 1,а будет представлена следующей цепочкой (модификаторы показаны в скобках):

$t \rightarrow outerShape \rightarrow oPRISM \rightarrow oCYL (oRND) \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL \rightarrow oCYL (oTHREAD) \rightarrow oCONE (oTHREAD) \rightarrow oCYL$

Форма детали из примера на рис. 1,б - следующей:

$t \rightarrow outerShape \rightarrow oCONE (oTHREAD) \rightarrow oCYL (oTHREAD) \rightarrow oCYL \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL$

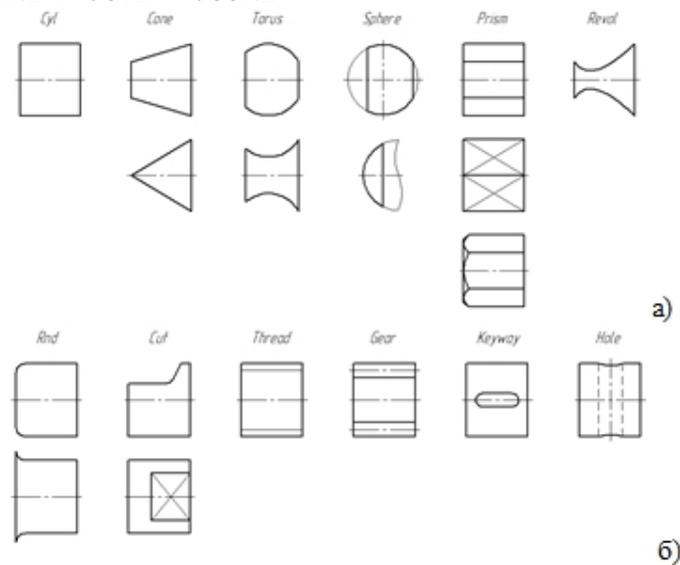


Рис. 3. Элементарные фигуры и модификаторы формы

Характерной чертой $oCONE$ является наличие контурных отрезков, наклоненных к оси под некоторым углом. Элемент может подтверждаться одной или двумя окружностями (которые подавляются при наличии модификаторов $oRND$ или $oTHREAD$ на конце элемента) либо такими же отрезками на другом виде в проекционной связи.

Характерной чертой $oPRISM$ является наличие контурных отрезков, параллельных оси, отрезков той же длины, расположенных между контурными и осью. Элемент должен подтверждаться изображением многоугольника на другом виде в проекционной связи и т.п.

$oCYL (oRND) \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL (oRND \rightarrow oKEYWAY) \rightarrow oCYL (oKEYWAY) \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL \rightarrow oCYL (oTHREAD) \rightarrow oCONE (oTHREAD)$

$\rightarrow innerShapeLeft \rightarrow oCONE \rightarrow oCYL \rightarrow oCONE$

В дальнейшем возможно формирование элементов более высокого уровня как подцепочек определенной структуры. Так, цилиндрическая резьба с недорезом выглядит как цепочка $oCONE (oTHREAD) \rightarrow oCYL (oTHREAD) \rightarrow oCYL$ слева или $oCYL \rightarrow oCYL (oTHREAD) \rightarrow oCONE (oTHREAD)$ справа.

Каждая элементарная фигура и модификатор обладают характерным (распознаваемым) изображением на главном виде и могут или должны подтверждаться соответствующим изображением на других видах, разрезах, сечениях или выносных элементах. Рассмотрим несколько примеров.

Характерной чертой $oCYL$ является наличие контурных отрезков, параллельных оси. При этом элемент может (не должен) подтверждаться окружностью соответствующего диаметра или также отрезками, расположенными на том же расстоянии от оси, на другом виде в проекционной связи.

Эти и подобные эвристические правила сравнительно легко формулируются и могут быть распознаны для подавляющего большинства случаев появления элементов на чертежах деталей рассматриваемого класса.

6. Подготовка чертежа к анализу формы

Возможность анализа чертежа и проверки правил типа приведенных выше требует выявления предварительной структуры во множестве составляющих чертеж объектов. Ее выявление производится в ходе предварительной обработки чертежа [15, 16], включающей в себя следующие этапы:

- фильтрацию и нормализацию, в ходе которых из чертежа должны быть исключены заведомо ошибочные элементы - дубликаты, наложение линий, объекты за пределами поля чертежа и т. п.

- выделение фигур более высокого уровня, в случае задачи проверки 1.А на этом этапе требуется разделить объекты на виды, определить связь между ними.

Рассмотрим эти процедуры подробнее.

Процедура фильтрации и нормализации призвана найти ошибки чертежа, присутствие которых не позволяет выполнять дальнейшую обработку. За основу была взята классификация геометрических ошибок из [12] и составлена новая, основанная на числе элементов, которые требуется сравнить для выявления ошибки:

о унарные ошибки выявляются в ходе проверки одного элемента:

- вырождение элемента (отрезка, дуги, окружности);
- нарушение вертикальности / горизонтальности отрезка, концов дуги, линейного размера;
- несоответствие размерного числа измеренной величине;

о бинарные ошибки выявляются путем сравнения двух элементов:

- неточное совпадение концов отрезков, дуг, центров окружностей, дуг;

• ошибочное наложение отрезков, дуг или окружностей;

- нарушение параллельности / перпендикулярности отрезков (вертикальные и горизонтальные не рассматриваются);

- нарушение касания отрезка или дуги с окружностью или дугой;

- потеря опорного элемента для размерного объекта;

- нарушение симметричности отрезка, линейного размера, окружности или дуги относительно данной оси;

о тернарные ошибки требуют сравнения двух элементов в зависимости от параметров третьего:

- нарушение симметричности двух отрезков, окружностей или дуг относительно оси.

Алгоритмы поиска геометрических ошибок приведены в [12]. В [18] приведен вычислительный алгоритм определения несимметричности элементов.

Процедура состоит из следующих этапов:

- в ходе первого элементы формата *CAD*-системы преобразуются во внутреннее представление, проверяются унарные ошибки, составляется список осей симметрии на чертеже;

- в ходе второго этапа объекты сравниваются парно, проверяются бинарные ошибки;

- в ходе третьего этапа для каждой оси симметрии проверяется симметричность отрезков, дуг, окружностей и линейных размеров (бинарные ошибки), пар отрезков, пар окружностей и дуг (тернарные ошибки).

Бинарные и тернарные ошибки следует искать только в пределах отдельных видов, поэтому после первого этапа выполняется процедура разделения исходного

множества объектов на изолированные группы. Разделение выполняется подобно тому, как показано в [19], - для каждого геометрического объекта чертежа рассматривается ограничивающий его прямоугольник (ОП), если ОП двух объектов пересекаются, они помещаются в одну группу, ОП которой увеличивается. Размерные объекты и линии-выноски добавляются к тем областям, в которых расположены их опорные точки. Недостатком алгоритма является то, что ОП изображений на чертеже могут перекрывать друг друга. Поэтому для объектов полученных групп строятся матрицы связности, и производится дополнительное разделение. Это позволяет, в частности, отделить рамку и основную надпись, нарисованные вручную, от помещенных внутри видов. Некоторые из групп могут быть выполненными вручную стрелками взгляда и обозначением секущей плоскости (рис. 1,б). Такие группы отделяются. Объекты полученных групп проверяются на наличие бинарных и тернарных ошибок. Симметричные фигуры и пары фигур помечаются. Полученные изолированные группы затем анализируются [14], и формируется схема изображений. Для чертежа на рис. 1,а схема изображений будет следующей:

```
главный вид (F_VIEW)
|-- вид слева (F_VIEW+F_LINKED)
```

Для чертежа на рис. 1,б - следующей:

```
главный вид (F_VIEW)
|-- местный разрез (F_CUT+F_OVERLAP+
| F_PARTIAL)
|-- вид A
(F_VIEW+F_SIGNED+F_PARTIAL)
|-- разрез B-B (F_CUT+F_SIGNED)
```

С каждым изображением связан список осевых линий, геометрические фигуры отсортированы: продольные (главный, вид сверху, продольный разрез) - слева-направо (сначала по левому, затем - по правому краю) и сверху-вниз, поперечные (вид слева, справа, сечения) - сверху-вниз (сначала по верхнему, затем - по нижнему краю) и слева-направо (рис. 4).

Такое упорядочение упрощает анализ изображений на основе предлагаемого грамматического подхода.

7. Грамматический анализ чертежа

Грамматический анализ способом нисходящего разбора состоит в том, что анализатор «предполагает» в рассматриваемой текстовой цепочке наличие некоторого символа, определенного грамматическим правилом, и выполняет соответствующую проверку. В случае успеха проверяется следующий символ и так до окончания цепочки. В случае отказа выбирается другое грамматическое правило и процедура повторяется. Если ни одно правило грамматики не позволяет пройти цепочку до конца, значит цепочка недопустима [20].

В нашем случае «цепочкой символов» является совокупность фигур, предварительно разделенная на изображения с выделенным корневым элементом - главным видом (п. 6). Грамматические правила опреде-

ляются, как показано в п. 5. В ходе анализа (грамматического разбора) сначала последовательно отыскиваются элементы наружной формы (*oFig*) с модификаторами (*oAddon*), затем - внутренней формы слева, в конце, если остались непомеченные фигуры, - справа.

Рассмотрим разбор наружной формы на примере детали рис. 1,а. Разбор выполняется на основе изображения главного вида (рис. 4). Порядок поиска элементов задан грамматическим правилом: *oCYL* → *oCONE* → *oSPHERE* → *oPRISM* → *oTORUS* и т.д. (см. п. 5). Вертикальные отрезки (0, 10, 15 и др.) используются в качестве разделителей участков формы. Так, если встречается очередной разделитель, а на пройденном участке остались непомеченные (нераспознанные) фигуры, - это свидетельствует об ошибке.

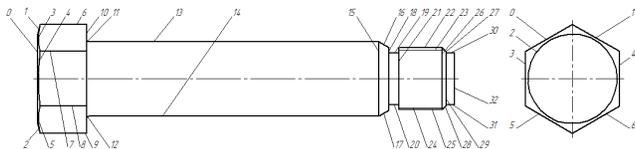


Рис. 4. Изображения детали к примеру

Указатель текущей позиции разбора помещается на самый левый элемент. Вертикальный отрезок 0 пропускается. На виде слева помечается окружность 2 соответствующего диаметра и принимается за форму «слепой зоны». Элементы, проекции которых меньше этой фигуры, не будут видны.

Анализ начинается с попытки найти элемент *oCYL*. Берется отрезок 1, который наклонен к оси, а не параллелен ей, поэтому *oCYL* не подтверждается. Затем проверяется коническая форма (*oCONE*). В списке симметричных находится отрезок 2, но на участке между левым и правым концами отрезков 1 и 2 найдены дуги 3, 4 и 5, так что *oCONE* не подтверждается. Также не подтверждается *oSPHERE*. Затем проверяется *oPRISM*, находятся отрезок 6 и симметричный ему 9, затем расположенные между ними и равные по длине - 7 и 8. Изображение призмы требует подтверждения. На виде слева отыскиваются отрезки 1, 4 и 6, и, образуя с ними замкнутый контур, отрезки 0, 3 и 5, помечаются. Элемент *oPRISM* подтвержден. Наклонные отрезки 1 и 2, дуги 3, 4 и 5, как характерные для одного из типовых вариантов *oPRISM* тоже помечаются. Указатель разбора сдвигается к отрезку 10. Это разделитель. На пройденном участке непомеченных фигур нет. Шестиугольник 1-4-6-5-3-0 принимается за форму «слепой зоны». Отрезок 10 пропускается.

Симметричные дуги 10 и 12 в ходе проверки элемента *oCYL* пропускаются, находятся отрезки 13 и 14, которые могут свидетельствовать о цилиндрическом элементе, никаких других линий между 13 и 14 нет, что также подтверждает *oCYL*. На виде слева нет соответствующей окружности, это не ошибка, поскольку окружность - «в слепой зоне». Наоборот, наличие непомеченной ранее окружности привело бы к пометке

ошибки. Следующий отрезок 15 - разделитель. Система перебирает модификаторы и находит *oRND*, дуги 10 и 12 помечаются. Отрезок 15 пропускается.

Далее распознаются *oCONE* (отрезки 16-18) и *oCYL* (19-21) элементы без каких-либо особенностей. Затем следует *oCYL* - симметричные отрезки 22 и 25. Тонкие отрезки 23 и 24 помечаются модификатором *oTHREAD*. Поскольку части этих отрезков выступают за концы элемента, они помечаются частично. Отрезок 26 - разделитель - пропускается.

Конический элемент *oCONE*, задаваемый отрезками 27 и 28, окончательно помечает отрезки 23 и 24 модификатором *oTHREAD*. Отрезок-разделитель 29 пропускается.

Оставшийся элемент *oCYL* (отрезки 30-32) распознается без каких-либо особенностей.

Таким образом, на выходе из блока грамматического анализа все объекты, составляющие изображения детали, окажутся помечены и отнесены к элементарной фигуре или модификатору. В дальнейшем сформированная модель формы может использоваться для организации проверок А.2 и А.3. Кроме того, в ходе анализа из графических данных чертежа извлекаются числовые характеристики элементов - диаметры, длины. Эти сведения могут использоваться для формирования конструктивной модели детали [22].

8. Основные результаты

Описанный в настоящей работе подход к анализу геометрической формы детали по ее чертежу и проверке был реализован для работы с чертежами в формате *AutoCAD DXF* и показал, что может успешно применяться для проверки чертежей простых деталей (рис. 1). Планируется его совершенствование для работы с более сложными чертежами деталей того же класса. Дальнейшая работа будет также связана с реализацией процедур проверки - А.2 (нанесение размеров и предельных отклонений) и А.3 (обозначение шероховатостей и обозначений допусков формы и расположения).

Данный подход может быть использован как для автоматизации нормоконтроля чертежей, так и для компьютерной проверки чертежей в учебном процессе, в том числе в ходе самопроверки, что приобретает особую значимость в свете внедрения и развития практико-ориентированного подхода подготовки специалистов инженерных специальностей [23].

Библиографический список

- [1] Попов Е.В., Ротков С.И. Кратко о сути компьютерной геометрии и графики // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации (КГП-2016). - Пермь, 2016. - 62-67.
- [2] ГОСТ 2.111-2013 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Нормоконтроль. - М.: Стандартинформ, 2018.

- [3] Соколов А.А., Дворянкин А.М., Ужва А.Ю. Разработка метода автоматизации процесса нормоконтроля технической документации // Известия ВолГТУ. - 2013. - № 22. - С. 114-118.
- [4] Электронный нормоконтроль. Русский САПР [Электронный ресурс]. - URL: <http://rusapr.ru/pages/shortcode/gk-russkij-sapr/23-software/97-elektronnyj-normokontrol> - Загл. с экрана. (Дата обращения: 10.05.2020)
- [5] Воронкова П.Н., Французова Ю.В. Обеспечение качества конструкторской документации за счет средств автоматизации нормоконтроля // Известия ТулГУ. Технические науки. - Тула, 2017. - С. 195-198.
- [6] Сулина О.В., Астанова А.А. Проверка учебных технических чертежей // Электронный журнал: наука, техника и образование. - 2018. - № СВ2 (20). - С. 59-65.
- [7] Назарцева А.А., Губарев А.В. Совершенствование процесса нормоконтроля технической документации посредством внедрения электронного документооборота // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сб. науч. тр. 14-ой Международной науч.-практ. конф. - Курск, 2019. - С. 149-152.
- [8] Пакетный нормоконтроль файлов AutoCAD. САПР-журнал [электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://sapr-journal.ru/tips-tricks/paketnyj-normokontrol-fajlov-autocad/> (Дата обращения: 10.05.2020).
- [9] SolidWorks Design Checker [электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.customizecad.com/solidworks-design-checker-maintain-consistency-of-your-organization-designs-as-per-your-standards-with-solidworks-design-checker/> (Дата обращения: 10.05.2020).
- [10] SF QCheck. Check CAD models against standards and design guidelines. [электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.sf.com/products/mechanical-design-automation/qcheck/?lang=en> (Дата обращения: 10.05.2020).
- [11] Шмуленкова Е.Е. Автоматизированный способ оценки взаимного положения фрагментов изображений на чертежах металлорежущего инструмента // Вестник СибАДИ. - Омск, 2010. - № 17. - С. 58-64.
- [12] Васин, Д., Ротков С. Автоматическое обнаружение геометрических ошибок на машиностроительных 2D-чертежах // ГрафиКон'2014: 24-я Международная конференция по компьютерной графике и зрению. - Ростов-на-Дону, 2014. - С. 20-22.
- [13] Полозов В. С. Автоматизированное проектирование / В. С. Полозов [и др.]. - М.: Машиностроение, 1983. - 280 с.
- [14] Бойков А. А. Машинная проверка задачи построения чертежа // Материалы конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XVIII Бенардосовские чтения). Т. 3. - Иваново. - 2015. - С. 377-381.
- [15] 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.
- [16] Бойков А.А. Компьютерная проверка решений задач начертательной геометрии для инженерно-графического образования // Геометрия и графика. - 2020. - №2.
- [17] Бойков А.А. Автоматизация проверки инженерно-графических заданий // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. - Пермь: ПНИПУ, 2016. - Т. 1. - С. 99-120.
- [18] Бойков А. А. Вычислительный алгоритм определения несимметричности фигур относительно заданной прямой // МНТК «Энергия-2018»: Материалы конференции. Т. 5. - Иваново, 2018. - С. 114.
- [19] Tanaka I. A self checking CAD tool for mechanical drawings in introductory courses // Proceedings of the 16th International Conference on Geometry and Graphics. Innsbruck, August 4-8, 2014. Innsbruck university press, 2014. pp. 1111-1116.
- [20] Ахо А. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий / А.Ахо [и др.]. - М.: Вильямс, 2008. - 1184 с.
- [21] Бойков А. А. Геометрические тренажеры для курса инженерной графики / Информационная среда вуза. - 2015. - № 1 (22). - С. 49-52.
- [22] Жилина Н.Д. Синтез параметрической конструктивной модели 3D-объекта / Н.Д. Жилина [и др.] // GraphiCon 2017. Труды 27-й Международной конф. по комп. графике и машинному зрению. - Пермь, 2017. - С. 350-354.
- [23] Голована Н.Б., Рогова В.А. Реализация практико-ориентированного подхода в подготовке специалистов по радиотехнике и системам связи // Российский технологический журнал. - 2018. - Т. 6, №2 (22). - С. 5-19.

Об авторах

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