

## Синтез предварительной каркасной модели 3D-объекта по техническому чертежу, содержащему разрезы и сечения

В.А. Тюрина<sup>1</sup>, М.М. Смычек<sup>2</sup>, С.И. Ротков<sup>3</sup>, Т.В. Мошкова<sup>4</sup>  
55555\_73@mail.ru | mariasmychek@gmail.com | rotkovs@mail.ru | ng.forever.mtv@gmail.com

<sup>1</sup>ННГАСУ, Нижний Новгород, Россия;

<sup>2</sup>ННГАСУ, Нижний Новгород, Россия;

<sup>3</sup>ННГАСУ, Нижний Новгород, Россия;

<sup>4</sup>ННГАСУ, Нижний Новгород, Россия.

*Проблема синтеза 3D-модели по чертежу относится к разряду сложных для формализации задач и, как показывает анализ литературы, алгоритмы, реализующие учёт всей информации, содержащейся на техническом чертеже, до сих пор не разработаны. Каркасные модели, полученные известными способами автоматического синтеза, часто несут в себе ложную геометрическую информацию, что существенно затрудняет дальнейшее преобразование модели и её последующую визуализацию. Этап формирования каркасной модели является одним из наиболее значимых в задаче восстановления объекта. Использование всей многоплановой информации, содержащейся на техническом чертеже, является сложным процессом и с точки зрения алгоритмической реализации. Существующие алгоритмы решения задачи имеют ограничения на входную информацию и ни один из них не предусматривает работу с чертежом, выполненным в соответствии с требованиями ЕСКД. Ввиду необходимости преобразования архивов чертежей на электронных и бумажных носителях в электронные 3D-модели исследования по расширению видов входной информации в задаче синтеза весьма актуальны. В данной статье представлены результаты исследования, направленного на разработку алгоритмов, реализующих автоматизированное чтение чертежей, имеющих в своём составе разрезы и сечения.*

**Ключевые слова:** электронная геометрическая модель изделия, каркасная модель, предварительная каркасная модель, технический чертеж, разрезы и сечения, автоматизированное проектирование.

## Synthesis of the preliminary wireframe model of the 3D object according to the technical drawing, containing incisions and sections

V.A. Tyurina<sup>1</sup>, M.M. Smychek<sup>2</sup>, S.I. Rotkov<sup>3</sup>, T.V. Moshkova<sup>4</sup>  
55555\_73@mail.ru | mariasmychek@gmail.com | rotkovs@mail.ru | ng.forever.mtv@gmail.com

<sup>1</sup>NNGASU, Nizhny Novgorod, Russia;

<sup>2</sup>NNGASU, Nizhny Novgorod, Russia;

<sup>3</sup>NNGASU, Nizhny Novgorod, Russia;

<sup>4</sup>NNGASU, Nizhny Novgorod, Russia.

*The problem of synthesis of the 3D model according to the drawing belongs to the category of difficult tasks for formalization and, as analysis of the literature shows, algorithms that implement the accounting of all information contained in the technical drawing have not yet been developed. Wireframe models obtained by known automatic synthesis techniques often carry false geometric information, which makes it difficult to further transform the model and its subsequent visualization. The stage of the formation of the wireframe model is one of the most significant in the object restoration task. The use of all the multifaceted information contained in the technical drawing is a complex process from the point of view of algorithmic implementation. The existing algorithms for solving the problem have limitations on the input information and none of them provides for working with a drawing executed in accordance with the requirements of the ESKD. In view of the need to convert the archives of drawings on electronic and paper media into electronic 3D models, studies on expanding the types of input information in the synthesis problem are very relevant. This article presents the results of a study aimed at developing algorithms that implement automated reading of drawings that have incisions and sections in their composition.*

**Keywords:** electronic geometric model of the product, wireframe model, preliminary wireframe model, technical drawing, incisions and sections, computer-aided design.

### 1. Введение

Практически все системы геометрического моделирования позволяют осуществлять генерацию чертежей по трёхмерной модели. Однако получение трёхмерной модели по чертежу вызывает у проектировщиков затруднения, связанные с отсутствием математического и программного обеспечения.

Создание системы, выполняющей автоматическую реконструкцию трёхмерных моделей по техническому чертежу, позволило бы во много раз сократить время проектирования объектов различного назначения. Поэтому разработка алгоритмов для функционирования системы автоматической реконструкции трёхмерных моделей

объектов по техническому чертежу является весьма актуальной задачей для разработчиков САПР.

Проблема синтеза 3D модели объекта по ортогональным проекционным изображениям решалась в работах В.С. Полозова [3], С.И. Роткова [4], G. Markowsky, M.A. Wesley [5], а также других авторов.

Однако существующие алгоритмы решения задачи имеют ограничения на входную информацию и ни один из них не предусматривает работу с чертежом, выполненным в соответствии с требованиями ЕСКД (Единой Системы Конструкторской Документации).

Каркасные модели, полученные известными способами автоматического синтеза [2, 4, 5], часто несут в себе ложную геометрическую информацию, что существенно затрудняет дальнейшее преобразование модели и её

последующую визуализацию. Этап формирования каркасной модели является одним из наиболее значимых в задаче восстановления объекта. Использование всей многоплановой информации, содержащейся на техническом чертеже, является сложным процессом с точки зрения алгоритмической реализации. Ввиду необходимости преобразования архивов чертежей на электронных и бумажных носителях в электронные 3D-модели востребованы исследования по расширению классов обрабатываемой входной информации, в том числе необходима разработка алгоритмов, реализующих автоматизированное чтение чертежей, имеющих в своём составе разрезы и сечения.

Классический подход к программной реализации алгоритма восстановления оригинала по его проекционным изображениям состоит в его разбиении на шесть основных шагов [3]:

- 1) анализ изображений;
- 2) создание массивов 3-х мерных координат;
- 3) создание каркасной модели;
- 4) анализ ложных геометрических элементов;
- 5) создание граничной модели;
- 6) создание конструктивной модели.

В данной статье представлены результаты исследования и разработки алгоритма, для случая, когда технический чертеж содержит в своем составе простые разрезы.

## 2. Общая схема анализа изображений технического чертежа, включающих разрезы и сечения

В основе разработки общей схемы автоматического анализа изображений технического чертежа, включающих разрезы и сечения, лежит ГОСТ 2.305-2008 «Изображения – виды, разрезы, сечения». В соответствии с методом эвристического моделирования (процесс описания поведения человека в ходе решения неформальной задачи) были проведены эксперименты с «чтением» технического чертежа. Такой подход делает возможным выявить исходные данные задачи и наложенные на них ограничения, определить признаки правильности решения и т.д.

С точки зрения возможности восстановления трёхмерных образов геометрических объектов наиболее значимыми являются следующие изображения:

- 1) основные виды;
- 2) сечения;
- 3) разрезы.

Стандартами предусмотрено формирование чертежей при условии минимального количества изображений, входящих в чертёж. Напомним, что в процессе создания чертежа формируется параметрический граф [3], включающий в себя размеры и геометрические условия, позволяющие заменить размеры. Выбор изображений оригинала осуществляется так, что на них в совокупности отображаются без искажений все элементы параметрического графа. Для минимизации количества изображений на каждом из них должно присутствовать максимально возможное количество элементов графа, показанных без искажения. Очевидно, что чем сложнее геометрическая форма объекта, тем большее количество изображений наносится на чертёж при его формировании. Для несложных объектов бывает достаточно двух или трёх основных видов, а для некоторых тел требуется добавление и разрезов, и выносных и местных видов, и сечений.

Основные изображения являются наиболее важной и обязательной информацией для получения 3D образов проектируемых изделий и деталей, а вспомогательные изображения – это дополнительная информация, которая

требует уточнений представления о проектируемом объекте.

Многообразие геометрических форм предметов окружающего нас мира определяет высокую сложность формализации задачи автоматического чтения полного многовидового технического чертежа. Алгоритмы, позволяющие считывать и анализировать всю возможную графическую информацию, встречающуюся на чертежах, пока не созданы. Поэтому основная работа ведётся в области расширения классов графической информации, доступной для обработки. Этот процесс делает возможным автоматический синтез всё более сложных геометрических объектов.

В данной работе предлагается расширить спектр обрабатываемой входной информации, содержащейся на техническом чертеже, а именно, за счёт возможности анализировать информацию о разрезах и сечениях объекта. В результате проведенного исследования было выявлено, что формирование предварительной каркасной модели по чертежу, на котором присутствуют разрезы, даёт возможность получать предварительную каркасную модель с большим количеством истинных элементов (вершин и рёбер), и позволяет сократить количество процедур по распознаванию и удалению ложных геометрических элементов, присутствующих в предварительной каркасной модели.

Такой подход был применен для разработки общей схемы алгоритма чтения чертежа, содержащего разрезы и сечения [1].

Проведённые наблюдения за поведением человека, перед которым стоит задача «прочитать» чертёж, позволили выделить следующие признаки, присутствующие на чертеже и позволяющие выявить изображения, на которых присутствуют разрезы и сечения:

- 1) наличие на чертеже объекта «Штриховка»;
- 2) наличие на чертеже буквенно-цифровых обозначений типа «А-А» или «I-I»;
- 3) наличие на изображениях чертежа линий обрыва;
- 4) наличие на чертеже условного графического обозначения «повернуто»;
- 5) наличие на чертеже изображения в разрыве между частями одного и того же вида;
- 6) наличие на чертеже изображения, связанного с видом нормальной штрихпунктирной тонкой линией.

Для определения типов разрезов и сечений человек, осуществляющий «чтение» чертежа, в первую очередь обращает внимание на следующие признаки:

- 1) способ оформления области штриховки;
- 2) обозначения секущей плоскости;
- 3) как расположен след секущей плоскости относительно системы координат;
- 4) какова структура следа секущей плоскости;
- 5) количество секущих плоскостей.

Анализ данных признаков позволяет определить виды разрезов и сечений, присутствующих на чертеже, понять их назначение и, в результате, получить полное представление об особенностях формы изображенного на чертеже объекта.

Электронный чертёж объекта, выполненный в той или иной системе геометрического моделирования, позволяет получить информацию о приведённых выше признаках в формальном (цифровом) представлении и даёт возможность после процедур преобразования полученных данных перейти к построению предварительной каркасной модели объекта в автоматизированном режиме.

Работа над программной реализацией описанного подхода к решению поставленной задачи требует подробного эвристического анализа каждого шага алгоритма и приведения его к наиболее полному

формальному виду. Процедуры преобразования данных электронного чертежа объекта могут отличаться конкретной формой реализации, зависящей от вида системы, используемой для построения чертежа, но общая схема синтеза электронной 3D модели от вида системы не зависит и в перспективе может быть использована и для работы с растровыми архивными изображениями.

### 3. Алгоритм синтеза предварительной каркасной модели по чертежу, имеющему в своём составе простые разрезы

Изображение является сложной графической структурой, в состав которой входят более простые графические элементы, а именно – отрезки, дуги, окружности, области штриховки, буквенно-цифровые обозначения типа «А-А» и «1-1» и т.д. Эти простые элементы выполняются согласно «Общим правилам выполнения чертежей и содержат в себе данные об изображённых деталях и изделиях, в том числе и информацию, позволяющую распознавать и восстанавливать 3D-объект.

Разработанный алгоритм синтеза ПКМ по техническому чертежу продемонстрирован на двух примерах. Для визуализации алгоритма разработана блок-схема, представленная на рис. 1.

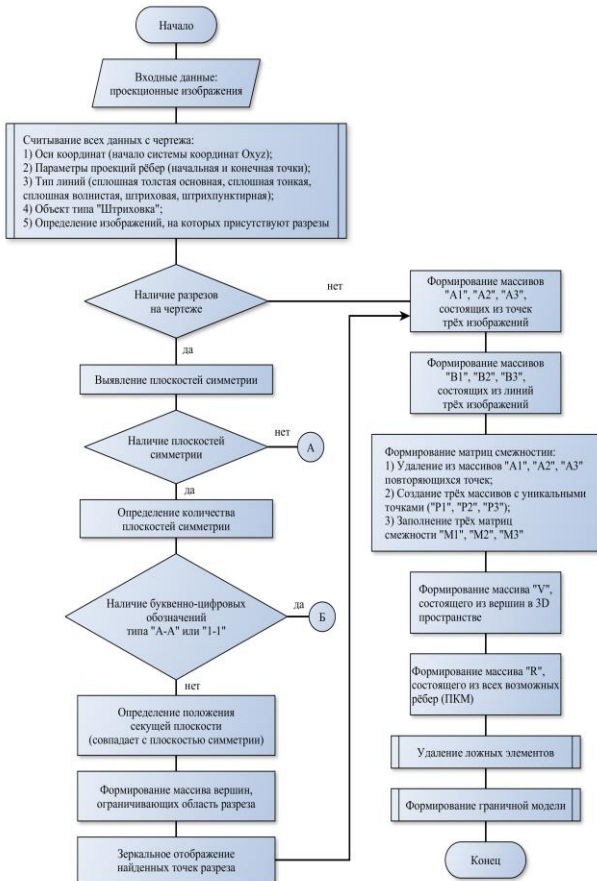


Рис. 1. Блок-схема процесса «чтения чертежа» с простыми разрезами.

Объект, на примере которого демонстрируется работа алгоритма, специально выбран простым для простоты восприятия и представляет собой четырёхугольную призму с цилиндрическим отверстием. На рис. 2 изображены три проекционных изображения: «вид спереди», совмещённый с простым разрезом, «вид сверху» и «вид слева»,

составляющие в совокупности входную графическую информацию.

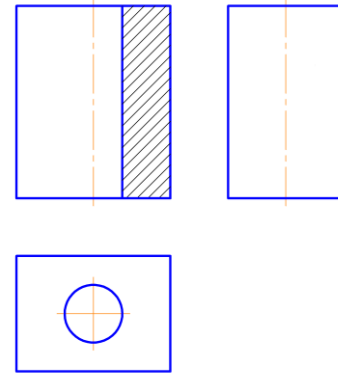


Рис. 2. Пример проекционных изображений с разрезом, совмещённым с главным видом.

После получения входной электронной графической информации происходит считывание всех данных с технического чертежа, а именно:

- 1) оси координат (начало системы координат Oxyz);
- 2) параметры проекций рёбер (начальная и конечная точки);
- 3) тип линий (сплошная толстая основная, сплошная тонкая, сплошная волнистая, штриховая, штрихпунктирная);
- 4) объект типа «Штриховка»;
- 5) определяется изображение, на котором присутствует разрез.

Необходимо отметить, что область штриховки содержит в себе информацию о «заполненности» материалом конкретной части объекта, чей пространственный образ необходимо восстановить, то есть позволяет определить, где в объекте «материал», а где «отверстие». Эта информация очень важна для отсеивания ложной геометрической информации при формировании каркасной модели 3D объекта, так как её анализ позволяет обнаружить рёбра и вершины, не лежащие на поверхности тела.

Описанный алгоритм реализуется на языке Java SE 1.8 в среде разработки IntelliJ IDEA Community Edition 2016.2.5.

Одним из значимых этапов алгоритма является этап обработки массива с исходными данными, в результате которого происходит поиск «уникальных» точек с помощью разработанного метода unique\_points() и добавление их в 3 отдельные массива, соответствующие трём разным видам на чертеже. Демонстрационный пример работы алгоритма показан на рис. 3.

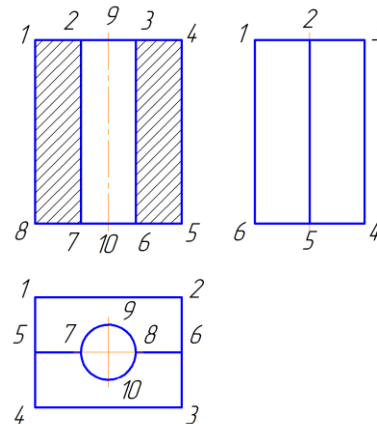


Рис. 3. Поиск «уникальных» точек.

Формируются три матрицы смежности соответствующие каждому виду. Далее, с помощью разработанной процедуры, формируется массив точек разреза, состоящий из 14 вершин на 3-х изображениях, см. рис.4.

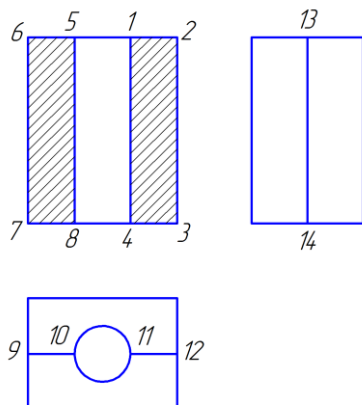


Рис. 4. Формирование вершин, принадлежащих разрезу.

Затем формируется массив с точками в 3D пространстве, учитывающий разрезы (см. рис. 5), и массив R, состоящий из всех возможных рёбер. В рассматриваемом примере насчитывается 32 ребра. На следующем этапе алгоритма происходит удаление из массива R ложных элементов.

В предварительной каркасной модели рёбра или вершины могут быть истинными или ложными, то есть отсутствующими у реального объекта.

За счёт дополнения графа каркасной 3D модели графом разреза появляются рёбра, которые со 100% вероятностью будут являться истинными, так как разрез даёт точную информацию о структуре объекта в секущей плоскости.

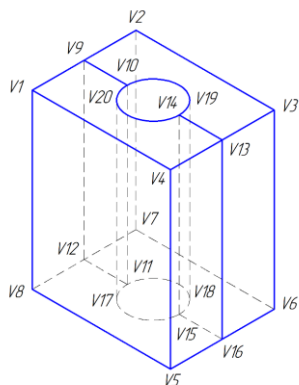


Рис. 5. Полный набор 3D-вершин объекта.

На основе информации о разрезах и сечениях ускоряется поиск и удаление ложных элементов (ложные вершины, ложные рёбра, ложные грани) каркасной модели объекта. Таким образом, расширение входной информации алгоритма задачи синтеза 3D-модель объекта по техническому чертежу за счёт включения в анализ информации о разрезах, позволяет эффективнее выявлять ложные геометрические элементы предварительной каркасной модели в сравнении с алгоритмом, работающим без учёта данной информации.

#### 4. Заключение

Проведённое исследование позволило сделать вывод, что использование в качестве входной информации

чертежа, на котором присутствуют простые разрезы, даёт возможность получить каркасную модель с меньшим количеством ложных элементов, в сравнении с каркасной моделью, восстановленной по техническому чертежу, включающему только основные виды. Этот результат позволяет облегчить процесс дальнейших преобразований каркасной модели, необходимых для решения различных задач, в том числе визуализации генерируемого объекта.

Перспектива дальнейших исследований в данной области заключается в разработке алгоритмов распознавания сложных разрезов, сечений, дополнительных видов и т.д. для получения возможности полного решения задачи синтеза 3D-модели по чертежу, выполненному в соответствии с требованиями ЕСКД.

#### 5. Благодарности

Работа выполнена по гранту РФФИ №17-07-00543.

Исследование проводилось в рамках магистерской научно-исследовательской работы Смычк М.М., обучающейся по направлению 09.04.01 Информационные системы и технологии, по профилю Инженерная геометрия и компьютерная графика в 2016-2018 гг. в ННГАСУ.

#### 6. Литература

- [1] Дергунов В.И., Формирование предварительной каркасной модели 3D-объекта по техническому чертежу, содержащему разрезы и сечения / В.И. Дергунов, М.В. Лагунова, М.М. Смычк, В.А. Тюрина // Сборник трудов Междунар. Научно-практ. конф., Протвино, 2018.
- [2] Зудин, А.А. Новая технология геометрического моделирования твердых тел / А.А. Зудин, С.И. Ротков // Сб. тезисов Междунар. конф. «VAI-91». – Новосибирск, 1991.
- [3] Котов, И. И. Алгоритмы машинной графики / И.И. Котов, В.С. Полозов, Л.В. Широкова. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
- [4] Ротков, С. И. Средства геометрического моделирования и компьютерной графики пространственных объектов для CALS-технологий: Дис. докт. техн. наук: 05.01.01 / С.И. Ротков. – Н. Новгород, 1999. – 287 с
- [5] Markowsky, G. Generation of solid models from two-dimensional and three-dimensional data / G. Markowsky, M.A. Wesley // in Pickett, MS and Boyse, J M (eds). Solid modelling by computer: from theory to application: Plenum, 1986. – P. 23–51.

#### Об авторах

Тюрина Валерия Александровна, к.т.н., доцент, профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Ego e-mail: 55555\_73@mail.ru.

Смычк Мария Михайловна, ассистент кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. Ego e-mail: mariasmychek@gmail.com.

Ротков Сергей Игоревич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета.

Ego e-mail: rotkovs@mail.ru.

Мошкова Татьяна Владимировна, к.т.н., доцент,  
профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной  
графики и автоматизированного проектирования  
Нижегородского государственного архитектурно-  
строительного университета.

Его e-mail: [ng.forever.mtv@gmail.com](mailto:ng.forever.mtv@gmail.com).