

# Проблема неоднозначности в задаче синтеза каркасной модели объекта по техническому чертежу

В.А. Тюрина<sup>1</sup>, С.И. Ротков<sup>1</sup>, Т.В. Мошкова<sup>1</sup>, М.В. Лагунова<sup>1</sup>  
55555\_73@mail.ru|rotkovs@mail.ru|ng.forever.mtv@gmail.com|mvlnn@mail.ru  
<sup>1</sup>ННГАСУ, Нижний Новгород, Россия

*От полноты использования классов графической информации, используемой для синтеза 3D-модели объекта по техническому чертежу, зависит уровень качества каркасной модели, полученной на первом этапе решения задачи восстановления образа неплоского объекта. В тех случаях, когда чертеж достаточно прост и позволяет считывать полную информацию об объекте существующими процедурами автоматического "чтения чертежа", есть возможность восстанавливать каркасные модели, полностью соответствующие синтезируемому объекту. Их можно сразу использовать для дальнейших преобразований в другие типы 3D-моделей. Такие каркасные модели характеризуются тем, что все вершины и ребра, входящие в их структуру, принадлежат поверхности искомого объекта и задают клеточное разбиение тела. Но в большинстве практических случаев, когда моделируемые объекты соответствуют реальным изделиям и их технический чертеж насыщен трудноформализуемой информацией, в структуре каркасных моделей, построенных по стандартным процедурам, в силу ряда объективных причин появляются ложные геометрические элементы, т.е. такие, которые отсутствуют на поверхности искомого 3D объекта. Это приводит к неоднозначности восстановления единственной каркасной модели, соответствующей объекту, заданному на техническом чертеже, и требует разработки процедур, позволяющих избежать множественности решений.*

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование, технический чертеж, ортогональные проекции, каркасная модель, ложные геометрические элементы, граничная модель.

## The problem of ambiguity in the task of synthesizing a wireframe model objects according to a technical drawing

V.A. Tyurina<sup>1</sup>, S.I. Rotkov<sup>1</sup>, T.V. Moshkova<sup>1</sup>, M.V. Lagunova<sup>1</sup>  
55555\_73@mail.ru|rotkovs@mail.ru|ng.forever.mtv@gmail.com|mvlnn@mail.ru  
<sup>1</sup>NNGASU, Nizhny Novgorod, Russia

*The level of quality of the wireframe model obtained in the first stage of solving the problem of restoring the image of a non-planar object depends on the completeness of using the classes of graphic information used to synthesize a 3D model according to the technical drawing. In cases where the drawing is quite simple and allows you to read complete information about the object by existing procedures of automatic "reading the drawing", it is possible to restore the frame models that are fully consistent with the synthesized object. They can be used immediately for further transformations to other types of 3D models. Such frame models are characterized by the fact that all the vertices and edges included in their structure belong to the surface of the desired object. But in most practical cases, when the simulated objects correspond to real products and their technical drawing is full of difficult to formalize information, in the structure of frame models built according to standard procedures, due to a number of objective reasons, there are false geometric elements, i.e. those that are not on the surface of the desired 3D object. This leads to the ambiguity of the restoration of a unique wireframe model corresponding to the object specified in the technical drawing, and requires the development of procedures to avoid the multiplicity of solutions.*

**Keywords:** geometric modeling, technical drawing, orthogonal projections, wireframe model objects, false geometric elements, boundary model.

### 1. Введение

Задача синтеза 3D-модели по техническому чертежу относится к разряду сложно формализуемых и, как показывает анализ литературы [4], алгоритмы, реализующие полный учёт всей многоплановой информации, содержащейся на чертеже, пока находятся в стадии разработки. 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 [1]. Каркасные модели, полученные известными способами автоматического синтеза, часто несут в себе ложную геометрическую информацию, что существенно затрудняет дальнейшее преобразование модели и её последующую визуализацию [2]. Этап формирования каркасной модели является одним из наиболее значимых в задаче восстановления объекта. В данной статье представлены результаты исследования, направленного на выявление причин, вызывающих неоднозначность восстановления каркасной модели и поиск

путей, позволяющих преодолеть эту проблему. Необходимо, чтобы передаваемая для дальнейшего преобразования каркасная модель была по возможности полно освобождена от ложных геометрических элементов во время процедуры "чтения чертежа" и анализа графической информации, содержащейся на чертеже.

Чертежи, с которыми имеют дело алгоритмы автоматического синтеза объекта, часто бывают неоднозначными, допускающими различное толкование. Такая неоднозначность возникает в силу природы процесса ортогонального проецирования. Данный процесс приводит к перекрыванию видимости вершин и ребер, принадлежащих проецирующим плоскостям и поверхностям. Это относится к конкурирующим вершинам, принадлежащим одной проецирующей прямой и проецирующимся на плоскость в одну точку, и конкурирующим ребрам, принадлежащим одной проецирующей поверхности и проецирующимся на плоскость на один и тот же сегмент кривой [3].

Количество конкурирующих элементов на проекциях зависит от выбора главного вида объекта и поэтому один и тот же оригинал может быть представлен различными

вариантами чертежа, что в конечном итоге не должно влиять на возможность формирования 3D-модели объекта.

Если некоторые элементы каркаса имеют во всех проецирующих направлениях конкурирующие элементы, то часто это приводит к появлению ложных вершин и ложных ребер, так называемых "фантомов". Это происходит вследствие того, что с проекций считываются все возможные соединения вершин, даже те, которые возникли в результате конкурирования с элементами, лежащими ближе или дальше от наблюдателя, чем рассматриваемое соединение.

Необходимо в процессе анализа проекций, на самом начальном этапе формирования 3D вершин и ребер, выявлять такие элементы, так как наличие элементов, не принадлежащих поверхности объекта, приводит к невозможности применения алгоритма, автоматически выделяющего истинные грани из каркасного представления. Такие элементы не позволяют выделить объем, заполненный материалом, а значит, являются препятствием на пути восстановления образа оригинала. Чтобы на этапе преобразования каркасной модели в граничную не возвращаться к анализу проекций, вся работа по нахождению ложных геометрических элементов (ЛГЭ) должна быть проделана на этапе создания каркасной модели.

## 2. Область существования множества ЛГЭ

Для формального описания каркасной модели будем использовать следующие обозначения:

$G = (V, R)$  – граф, задающий каркасную модель, где  $V$  – множество вершин, а  $R$  – множество ребер каркаса;

$G_K = (V_K, R_K)$  – подграф  $G$ , задающий множество всех конкурирующих элементов каркаса, где  $V_K \in V$  и  $R_K \in R$ , вершины и ребра, имеющие "конкурентов" по некоторым направлениям проецирования;

$G_{ЛГЭ}$  – множество ЛГЭ полученной каркасной модели [5].

Утверждение 1.  $G_{ЛГЭ}$  является подмножеством множества всех конкурирующих элементов  $G_K$ , восстановленных с проекций, т.е.  $G_{ЛГЭ} \subset G_K$ .

Это утверждение вытекает из того факта, что геометрические элементы каркаса, не имеющие конкурентов по направлениям проецирования, представляют собой элементы реального клеточного разбиения оригинала. Поэтому ЛГЭ не могут находиться среди них по определению. Следовательно, они находятся среди конкурирующих элементов.

Но в случае неоднозначности проекций, множество  $G_K$  может содержать и действительные ребра, и вершины, т.е. принадлежащие поверхности тела. Для каждого восстановленного по проекциям варианта образа объекта набор ложных элементов  $G_{ЛГЭ}^*$  будет своим, но  $G_{ЛГЭ}^* \subset G_K$ .

Назовем  $G_{ЛГЭ}^{max}$  множество, содержащее максимальное количество ЛГЭ и соответствующее одному из возможных вариантов объектов. Тогда множества  $G_{ЛГЭ}^*$ , соответствующие остальным возможным вариантам являются подмножествами  $G_{ЛГЭ}^{max}$ , т.е.  $G_{ЛГЭ}^* \subset G_{ЛГЭ}^{max}$ .

Целью является выделение подмножества  $G_{ЛГЭ}$  из множества  $G_K$ , а затем подмножеств  $G_{ЛГЭ}^*$  из  $G_{ЛГЭ}$ , для получения всех возможных образов оригинала.

Множество  $G_K$  во многих случаях может содержать большое число элементов, поэтому простой перебор всех сочетаний  $C_n^i$  [9], принадлежащих ему элементов, который выражается суммой:

$$\sum_{i=1}^n C_n^i = \sum_{i=1}^n \frac{n!}{(n-i)! i!}$$

где  $n$  – число элементов, нецелесообразен, хотя возможен, как один из вариантов решения данной задачи.

Необходимо найти ряд эвристик, позволяющих сократить во множестве  $G_K$  область поиска  $G_{ЛГЭ}$ . Такими эвристиками могут являться нижеследующие утверждения [5].

Утверждение 2. ЛГЭ могут находиться только среди элементов, имеющих конкурирующие элементы на каждом проекционном виде.

Основанием этого утверждения является тот факт, что если элемент не имеет конкурентов хотя бы на одном виде, то проекция данного элемента на этом виде принадлежит единственному пространственному элементу, а значит, принадлежит клеточному разбиению оригинала. Другими словами, он является действительным, т.к. принадлежит поверхности оригинала.

Множество  $G_{II}$ , состоящее из таких ребер и вершин, которые не имеют конкурирующих элементов хотя бы в одном проецирующем направлении, будем называть множеством истинных геометрических элементов (ИГЭ).

Утверждение 3. Если ребро  $R_{ij} \subset G_{II}$ , то и вершины, инцидентные ему  $V_i, V_j \subset G_{II}$ .

В самом деле, если ребро является истинным, то оно не может быть удалено из каркаса, так как это повлечет за собой несоответствие проекциям. Следовательно, не могут не существовать и конечные точки этого ребра.

Утверждение 4. Если у ребра  $R_{ij}$  конечные точки  $V_i, V_j \subset G_{II}$  и валентность этих вершин  $P(V_i, V_j) = 3$ , то и  $R \subset G_{II}$ .

Действительно, если истинная вершина имеет валентность равную 3, то трехгранный материальный угол, представленный этой вершиной, тоже истинный. Поэтому все ребра, выходящие из данной вершины, относятся к ИГЭ.

Утверждения 2, 3, 4 позволяют существенно сокращать область существования ЛГЭ. Исключив множество  $G_{II}$  из множества  $G_K$ , получаем его подмножество  $G_{K}^*$ , то есть:  $G_{K}^* = (G_K \setminus G_{II})$

Замечание. Можно искать  $G_{K}^* = (G \setminus G_{II})$ , так как  $G_K$  получено из  $G$  исключением элементов  $G_{II}$ , найденных ранее.

Дальнейший поиск  $G_{ЛГЭ}$  будем проводить в этом подмножестве.

Если восстановление по проекциям даёт одно или несколько решений, но их получение было затруднено существованием ЛГЭ, то множество  $G_{K}^*$  в большинстве случаев и является  $G_{ЛГЭ} = G_{ЛГЭ}^{max}$  (см. рис.1).

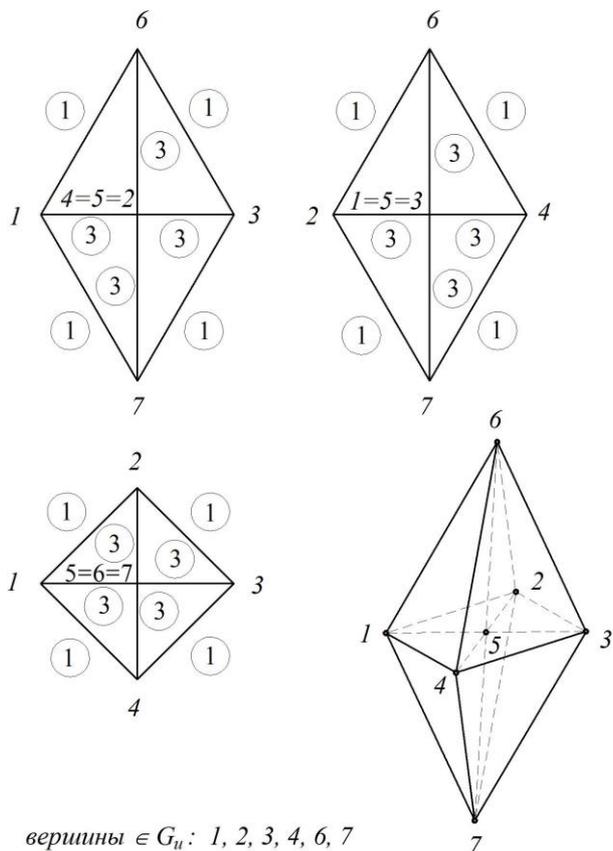
## 3. Пример поиска множества ЛГЭ

Как отмечалось выше, решений может быть несколько, поэтому может потребоваться дальнейший анализ множества  $G_{K}^*$  с целью выделения из него подмножеств  $G_{ЛГЭ}$ .

Замечание: Некоторые ребра  $R \subset G_{K}^*$  могут не являться в прямом смысле ЛГЭ, так как лежат на поверхности оригинала. Они возникли не как образы проекций реальных ребер клеточного разбиения поверхности, а в результате восстановления конкурирующих элементов. Такие ребра порождают смежные грани, принадлежащие одной геометрической поверхности-носителю. Они не мешают преобразованию каркасной модели в граничную, но увеличивают количество граней и замедляют преобразование, поэтому их удаление (по принадлежности ЛГЭ) приводит к более эффективному действию алгоритмов преобразования.

На рисунке 1 приведен пример трехмерного объекта, заданного тремя ортогональными проекциями (вид спереди, вид сверху, вид слева). Показан процесс формирования множеств  $G_{II}$  и  $G_K$  его вершин и ребер, учитывающий

наличие конкурирующих элементов на каждом из видов. В «кружке» цифрой обозначено количество ребер, соответствующих на проекции одной геометрической линии-носителю. Например, ребро (1,6) на виде спереди не имеет конкурирующих ребер (но имеет их на двух других видах), следовательно:  $(1, 6) \in G_{II}$ . Ребро (6, 4) не имеет конкурирующих ребер на виде слева и поэтому также принадлежит множеству истинных геометрических элементов  $G_{II}$ . Аналогичный признак используется и для выделения истинных вершин. Для показанного на рисунке объекта таких вершин шесть. Если же на каждом виде для вершины (либо ребра) находятся конкурирующие элементы, то это свидетельствует о принадлежности их множеству  $G_K$  и возможности принадлежать множеству  $G_{ЛГЭ}$ . На рисунке показаны списки сформированных множеств  $G^*_{K}$ ,  $G_{ЛГЭ}$  и  $G^{max}_{ЛГЭ}$  и случай их совпадения, то есть для рассматриваемого объекта  $G^*_{K} = G_{ЛГЭ} = G^{max}_{ЛГЭ}$ .



вершины  $\in G_{II}$ : 1, 2, 3, 4, 6, 7  
 вершины  $\in G^*_k$ : 5

ребра  $\in G_{II}$ : (1, 6), (2, 6), (3, 6), (4, 6), (1, 2), (2, 3),  
 (3, 4), (4, 1), (1, 7), (2, 7), (3, 7), (4, 7).

ребра  $\in G^*_k$ : (5, 6), (5, 7), (1, 5), (2, 5), (3, 5), (4, 5)

Рис. 1. Пример формирования множеств ИГЭ и ЛГЭ.

Дальнейший анализ позволяет выделить из множества  $G^{max}_{ЛГЭ}$  восемь подмножеств  $G^*_{ЛГЭ}$ . Каждое из них соответствует объекту «с вырезанной четвертью» - варианты зависят от расположения «выреза», так как изменение параметров положения оригинала при распознавании его по проекциям приводит к формированию новой 3D-модели. Рисунок 2 иллюстрирует мультипликативное решение синтеза каркасной модели приведенным проекционным видам. Одна модель соответствует выпуклому («целому») многограннику и восемь вариантов соответствуют восьми многогранникам «с вырезанной четвертью».

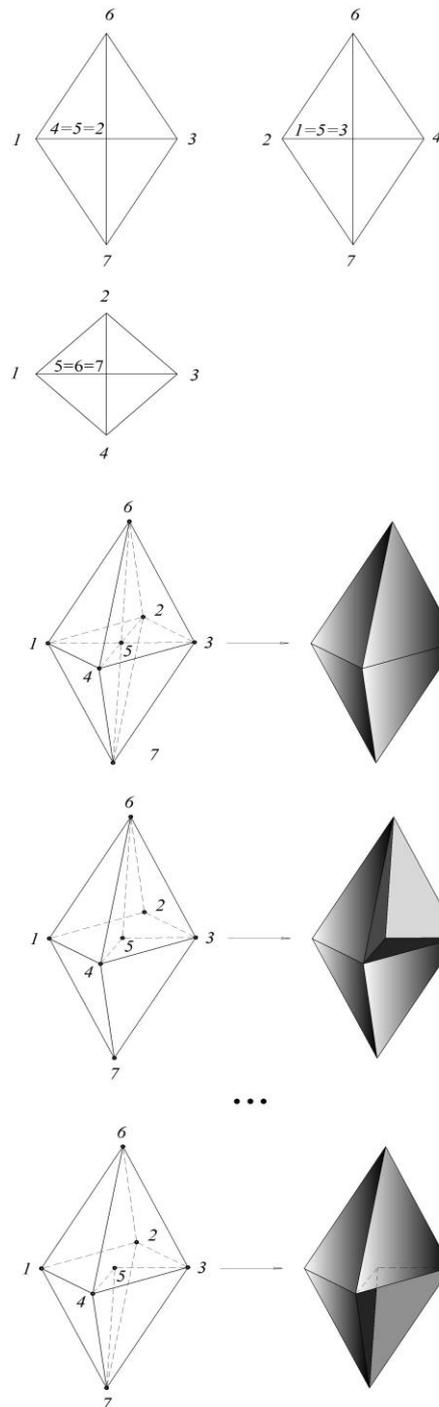


Рис. 2. Пример мультипликативного решения: девять вариантов каркасных моделей, соответствующих проекционным видам

#### 4. Заключение

Проведенное исследование позволило сделать вывод, что решение проблемы неоднозначности восстановления каркасной модели по техническому чертежу, включающему основные виды, требует расширения возможностей эвристических алгоритмов поиска ложных геометрических элементов. Кроме того, необходимо продолжать исследование в области разработки алгоритмов, использующих различные классы входной информации, присутствующей на многовидовом техническом чертеже, с целью получения множеств истинных геометрических

элементов каркасной модели с наименьшим количеством ложных элементов. Минимизация множества ЛГЭ упрощает процесс дальнейших преобразований каркасной модели, необходимых для решения различных задач, в том числе визуализации генерируемого объекта.

## 5. Благодарности

Работа выполнена по грантам РФФИ №17-07-00543 и РФФИ 19-07-01024.

## 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. Смышчѐк, 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] Мошкова, Т.В. Проблема синтеза модели 3D объекта по его проекционным изображениям. Аналитический обзор / Мошкова, Т.В., С. И. Ротков, В. А. Тюрина // Научная визуализация, 2018, том 10, номер 1, стр. 135-156, DOI: [10.26583/sv.10.1.11](https://doi.org/10.26583/sv.10.1.11)
- [5] Тюрина, В.А. Разработка методов преобразований каркасной модели в задаче синтеза образа 3D-объекта по его проекциям : Дис. канд. техн. наук: 05.01.01 / В.А. Тюрина. – Н. Новгород, 2003. – 170 с.

## Об авторах

Тюрина Валерия Александровна, к.т.н., доцент, профессор кафедры инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: [55555\\_73@mail.ru](mailto:55555_73@mail.ru)

Ротков Сергей Игоревич, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: [rotkovs@mail.ru](mailto:rotkovs@mail.ru)

Мошкова Татьяна Владимировна, к.т.н., доцент, профессор кафедры инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: [ng.forever.mtv@gmail.com](mailto:ng.forever.mtv@gmail.com)

Лагунова Марина Викторовна, д.п.н., профессор, зам. заведующего кафедрой инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета. E-mail: [mvlnn@mail.ru](mailto:mvlnn@mail.ru)