

УДК 004.946

М. П. Руденко, А. А. Бабакина, В. В. Карабчевский  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Донецкий национальный технический университет», г. Донецк  
83001, г. Донецк, ул. Артема, 58

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ ТРЕХМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ ИЗОБРАЖЕНИЮ

M. P. Rudenko, A. A. Babakina, V. V. Karabchevsky  
State Educational Institution of Higher Education "Donetsk national technical University", Donetsk city  
83001, Donetsk, Artema str., 58

## IMPROVEMENT OF THE SYNTHESIS ALGORITHM FOR MODELS OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS FROM THEIR IMAGE

М. П. Руденко, А. А. Бабакіна, В. В. Карабчевський  
Державна освітня установа вищої професійної освіти «Донецький національний  
технічний університет», м. Донецьк  
83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58

## УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ МОДЕЛЕЙ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ЇХНІМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ

В статье рассматривается усовершенствованный алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению применительно к трехмерной реконструкции архитектурных сооружений, основанный на методе перспективных масштабов. Даются сравнения результатов построения с физическими замераами эталонного архитектурного сооружения. Показывается эффективность использования алгоритма.

**Ключевые слова:** синтез моделей, натуральная величина, перспективные масштабы, трехмерная реконструкция, трехмерное моделирование.

The article considers improvement of the synthesis algorithm for models of three-dimensional objects from their image in the context of the three-dimensional architectural structures reconstruction, based on the perspective scales method. Comparisons of construction results with physical measurements of the reference architectural structure are given. The efficiency of using the algorithm is shown.

**Key words:** synthesis of models, life size, perspective scales, three-dimensional reconstruction, three-dimensional modeling.

У статті розглядається вдосконалений алгоритм синтезу моделей тривимірних об'єктів по їх зображенню стосовно тривимірної реконструкції архітектурних споруд, заснований на методі перспективних масштабів. Даються порівняння результатів побудови з фізичними вимірами еталонного архітектурної споруди. Показується ефективність використання алгоритму.

**Ключові слова:** синтез моделей, натуральна величина, перспективні масштаби, тривимірна реконструкція, тривимірне моделювання.

**Актуальность работы.** В настоящее время активно развивается такой подраздел компьютерного зрения, как распознавание образов, в частности, синтез трехмерных объектов по их изображению. Применение последнего весьма актуально в направлении трехмерной реконструкции архитектурных сооружений, которую используют для работы архитекторов и археологов, а также специалистов, занимающихся трехмерным моделированием архитектурных и городских сред [1-5]. Вопросы автоматизации создания трехмерных моделей на основе их фотоизображений рассматриваются в [6-9]. Алгоритмы улучшения качества изображения для дальнейшего синтеза приводятся в [10-12].

Синтез моделей трехмерных объектов по их изображению может быть осуществлен разными способами, анализ и сравнение которых приводятся в [13], [14]. Самой сложной задачей при синтезе трехмерного объекта является определение и правильное построение его пропорций и натуральных величин, особенно когда дается только одно изображение объекта. В [15], [16] предлагается алгоритм синтеза модели трехмерных объектов по изображению, основанный на методе перспективных масштабов. Он позволяет найти относительные натуральные величины и построить трехмерную модель, имея на входе изображение исходного объекта.

В данной работе предложено усовершенствование алгоритма, состоящее в выравнивании точек схода относительно линии горизонта, а также более подробно описано отыскание совмещенной точки зрения для дальнейшего определения фокусного расстояния. Так как перспективное изображение невысокого здания до пяти этажей в большинстве случаев является двухточечным, то здесь рассматривается построение с определением двух точек схода.

**Цель работы.** Целью работы является исследование и анализ усовершенствованного алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению, а также сравнение результатов построения с физическими замерах эталонного архитектурного сооружения.

## Отыскание точек схода

Все геометрические построения выполнены в графической среде AutoCAD. В качестве архитектурного сооружения, выполняющего роль эталона, выбрано здание, находящееся в г. Донецке по улице Труда. Оно выбрано как здание, спроектированное в кирпичном стиле, актуальном для памятников архитектуры Донецка на рубеже XIX – XX веков.

Суть отыскания точек схода в следующем – на заданной фотографии намечаются основные отрезки ( $AC$ ,  $BD$ ,  $AE$ ,  $BM$ ), прямые линии которых будут уходить в перспективу. Точки пересечения этих прямых и есть точки схода ( $O_1=AC\cap BD$ ,  $O_2=AE\cap BM$ ).

Таким образом, с помощью точек схода  $O_1$  и  $O_2$  в дальнейшем будут находиться другие величины для реконструкции данного сооружения [17], [18].

Отрезок  $AB$  находится непосредственно на картинной плоскости и является величиной натуральной.

Для чертежа, представленного на рис. 1, в качестве опорных выбраны точки  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $M$ ,  $E$ . Далее необходимо определить расположение точек схода. Эти точки будем искать, как точки пересечения соответствующих прямых.

Запишем уравнения прямых  $AC$  и  $BD$ :

$$\begin{aligned} \frac{x - x_A}{x_C - x_A} &= \frac{y - y_A}{y_C - y_A}; \\ \frac{x - x_B}{x_D - x_B} &= \frac{y - y_B}{y_D - y_B}; \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A(x_A; y_A)$ ,  $B(x_B; y_B)$ ,  $C(x_C; y_C)$ ,  $D(x_D; y_D)$ .

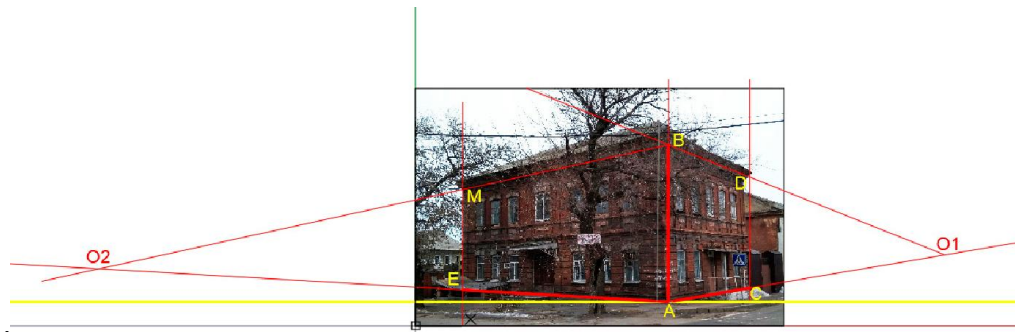


Рисунок 1 – Геометрическое построение точек схода

Для нахождения точки пересечения  $AC$  и  $BD$  (точки  $O_1$ ) запишем уравнения прямых в виде  $Ax + By + C = 0$ . Таким образом, для нахождения точки  $O_1$  необходимо решить систему:

$$\begin{cases} A_{AC}x + B_{AC}y + C_{AC} = 0; \\ A_{BD}x + B_{BD}y + C_{BD} = 0; \end{cases} \quad (2)$$

где коэффициенты  $A_{AC}$ ,  $B_{AC}$ ,  $C_{AC}$ ,  $A_{BD}$ ,  $B_{BD}$ ,  $C_{BD}$  могут быть найдены по следующим формулам:

$$\begin{aligned} A_{AC} &= y_C - y_A; \\ B_{AC} &= x_A - x_C; \\ C_{AC} &= y_A x_C - x_A y_C; \\ A_{BD} &= y_D - y_B; \\ B_{BD} &= x_B - x_D; \\ C_{BD} &= y_B x_D - x_B y_D; \end{aligned} \quad (3)$$

которые были получены преобразованием уравнений (1).

Если  $\begin{vmatrix} A_{AC} & B_{AC} \\ A_{BD} & B_{BD} \end{vmatrix} \neq 0$ , то по теореме Кронекера-Капелли система (2) совместна и имеет единственное решение.

Координаты точки  $O_1$  можно вычислить по формулам:

$$\begin{aligned} x_{O_1} &= \frac{C_{BD} B_{AC} - C_{AC} B_{BD}}{A_{AC} B_{BD} - A_{BD} B_{AC}}; \\ y_{O_1} &= \frac{A_{BD} C_{AC} - A_{AC} C_{BD}}{A_{AC} B_{BD} - A_{BD} B_{AC}}; \end{aligned} \quad (4)$$

Аналогично рассуждениям выше, из уравнений прямых  $AE$  и  $BM$ :

$$\begin{aligned} \frac{x - x_A}{x_E - x_A} &= \frac{y - y_A}{y_E - y_A}; \\ \frac{x - x_B}{x_M - x_B} &= \frac{y - y_B}{y_M - y_B}; \end{aligned} \quad (5)$$

составим систему для нахождения координат точки  $O_2$ , которая является их пересечением:

$$\begin{cases} A_{AE}x + B_{AE}y + C_{AE} = 0; \\ A_{BM}x + B_{BM}y + C_{BM} = 0; \end{cases} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} A_{AE} &= y_E - y_A; \\ B_{AE} &= x_A - x_E; \\ C_{AE} &= y_A x_E - y_E x_A; \\ A_{BM} &= y_M - y_B; \\ B_{BM} &= x_B - x_M; \\ C_{BM} &= y_B x_M - x_M y_B. \end{aligned} \quad (7)$$

Координаты точки  $O_2$  вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} x_{O_2} &= \frac{C_{BM} B_{AE} - C_{AE} B_{BM}}{A_{AE} B_{BM} - A_{BM} B_{AE}}; \\ y_{O_2} &= \frac{A_{BM} C_{AE} - A_{AE} C_{BM}}{A_{AE} B_{BM} - A_{BM} B_{AE}}; \end{aligned} \quad (8)$$

Для того чтобы чертеж в дальнейшем был правильным, необходимо выровнять точки схода так, чтобы они лежали на одной линии (линии горизонта).

Алгоритм отыскания линии горизонта имеет следующий вид:

1. Проводится линия основания картины  $k1$  из точки  $A$  параллельно оси  $x$ . Аналитически прямая  $k1$  будет задана уравнением:

$$y = y_A. \quad (9)$$

2. Из точек  $O_1$  и  $O_2$  проводятся перпендикуляры  $h_1$  ( $O_1 O_k$ ) и  $h_2$  ( $O_2 O_{2k}$ ) к линии основания картины  $k1$  (рис. 2а). Точка  $O_{1k}$  имеет координаты  $(x_{O_1}, y_A)$ , а точка  $O_{2k}$  ( $x_{O_2}, y_A$ ).

Длины отрезков  $h_1$  и  $h_2$  можно вычислить по формулам:

$$\begin{aligned} h_1 &= \sqrt{(x_{O_{1k}} - x_{O_1})^2 + (y_{O_{1k}} - y_{O_1})^2} = |y_{O_{1k}} - y_{O_1}|, \text{ т.к. } x_{O_{1k}} = x_{O_1} \\ h_2 &= \sqrt{(x_{O_{2k}} - x_{O_2})^2 + (y_{O_{2k}} - y_{O_2})^2} = |y_{O_{2k}} - y_{O_2}|, \text{ т.к. } x_{O_{2k}} = x_{O_2} \end{aligned} \quad (10)$$

3. Находится среднее арифметическое  $h$  длин высот  $h_1$  и  $h_2$  (рис. 2б):

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}. \quad (11)$$

4. Проводим линию горизонта, уравнение которой имеет вид:  $y = h$ .

5. Находим новые точки  $O_1$  и  $O_2$ :  $O_1$  – является точкой пересечения  $AC$  с линией горизонта,  $O_2$  – является точкой пересечения  $AE$  с линией горизонта. Из соответствующих систем уравнений находим их координаты:

$$O_1 \left( x_A + \frac{(h - y_A)(x_C - x_A)}{y_C - y_A}; h \right);$$

$$O_2 \left( x_A + \frac{(h - y_A)(x_E - x_A)}{y_E - y_A}; h \right); \quad (12)$$

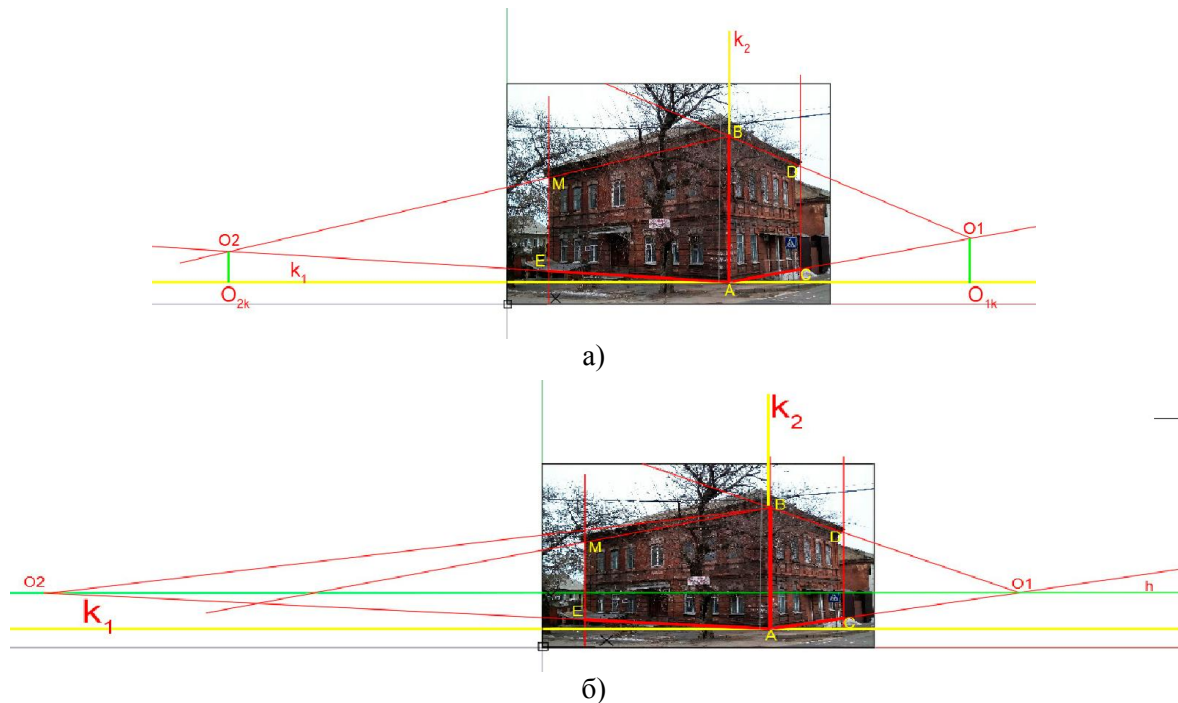


Рисунок 2 – а) построение перпендикуляров к линии основания картины  $k_i$ ;  
б) выравнивание точек схода по линии горизонта  $h$

## Отыскание окружностей для определения совмещенной точки зрения

Совмещенная точка зрения  $S$  находится на вертикальной оси перспективы в точке пересечения двух окружностей, построение которых описано в [19].

Чтобы найти совмещенную точку зрения  $S$ , необходимо:

1. Из точки  $O_1$  провести прямую  $f$  параллельно прямой  $AB$ .

Её уравнение:

$$x = x_{O_1}. \quad (13)$$

2. Из точки  $A$  провести прямую через точку  $D$  до пересечения с прямой  $f$ .  
Уравнение прямой  $AD$ :

$$\frac{x - x_A}{x_D - x_A} = \frac{y - y_A}{y_D - y_A}; \quad (14)$$

Для нахождения точки  $F = f \cap AD$  следует решить систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{x - x_A}{x_D - x_A} = \frac{y - y_A}{y_D - y_A}; \\ x = x_{O_1} \end{cases} \quad (15)$$

Найденные  $x$  и  $y$  являются координатами точки  $F$ .

$$\begin{cases} x_F = x_{O_1} \\ y_F = y_A + \frac{(x_{O_1} - x_A)(y_D - y_A)}{x_D - x_A} \end{cases} \quad (16)$$

3. Далее построим окружность с центром в т.  $O_1$  и радиусом  $R = O_1F$ . Радиус окружности:

$$R_{O_1F} = \sqrt{(x_F - x_{O_1})^2 + (y_F - y_{O_1})^2}; \quad (17)$$

Центр окружности имеет координаты  $O_1(x_{O_1}; y_A + h)$ .

Уравнение окружности с центром в точке  $O_1$  и  $R = R_{O_1F}$  будет иметь вид:

$$(x - x_{O_1})^2 + (y - y_A - h)^2 = R_{O_1F}^2; \quad (18)$$

4. Найдем центр второй окружности, диаметром которой является отрезок  $O_1O_2$ . Пусть точка  $O$  – центр данной окружности. Координаты её центра и радиус можно найти по формулам:

$$\begin{aligned} x_O &= \frac{x_{O_1} + x_{O_2}}{2}; \\ y_O &= \frac{y_{O_1} + y_{O_2}}{2}; \end{aligned} \quad (19)$$

$$R_{OO_1} = \frac{1}{2} O_1O_2 = \frac{1}{2} \sqrt{(x_{O_2} - x_{O_1})^2 + (y_{O_2} - y_{O_1})^2}$$

Уравнение второй окружности будет иметь вид:

$$(x - x_O)^2 + (y - y_O)^2 = R_{OO_1}^2; \quad (20)$$

5. В пересечении построенных окружностей найдем искомую точку  $S$ . Точка  $S$  может быть найдена, как одно из решений системы уравнений:

$$\begin{cases} (x - x_{O_1})^2 + (y - y_A - h)^2 = R_{O_1F}^2; \\ (x - x_O)^2 + (y - y_O)^2 = R_{OO_1}^2; \end{cases} \quad (21)$$

Найти приближённое решение системы (21) можно методом Ньютона или методом последовательных приближений.

Решив систему (21), получаем совмещенную точку зрения  $S$  (рис. 3).

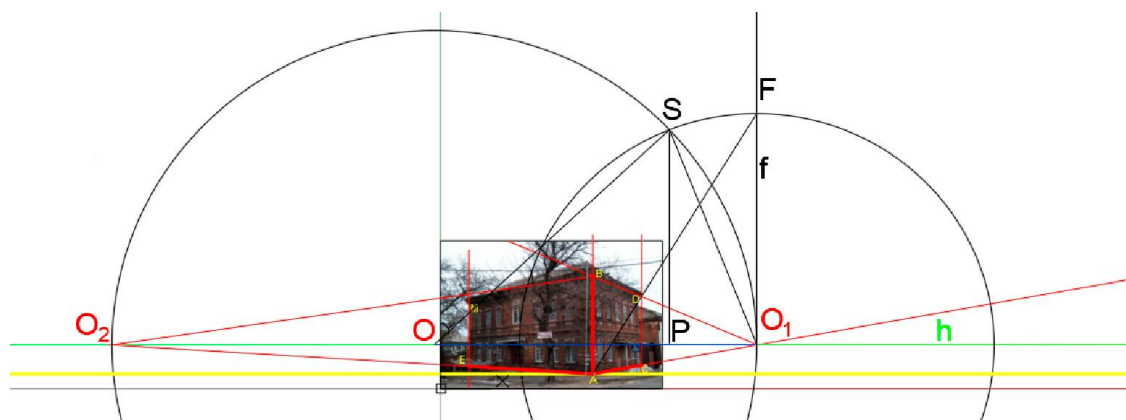


Рисунок 3 – Определение совмещенной точки зрения  $S$

### Отыскание относительных натуральных величин архитектурного сооружения, изображенного на фотографии

Точки схода  $O_1$  и  $O_2$ , а также совмещенная точка зрения  $S$  являются основными точками, необходимыми для определения относительных натуральных величин перспективных линий архитектурного сооружения, изображенных на фотографии. Относительными они считаются до тех пор, пока не указан один из физических размеров указанного архитектурного сооружения.

Считаем, что отрезок  $AB$  находится на картинной плоскости и является относительной натуральной величиной. Точка  $A$  была взята за точку, лежащую на основании картины. Через нее были проведены прямая  $k_1$  которая перпендикулярна отрезку  $AB$ , и  $k_2$  параллельна отрезку  $AB$ . Прямые  $k_1$  и  $k_2$  являются основаниями картинной плоскости.

Уравнение прямой  $k_2$  будет совпадать с уравнением прямой  $AB$ :

$$\frac{x - x_A}{x_B - x_A} = \frac{y - y_A}{y_B - y_A}; \quad (22)$$

Уравнение прямой  $k_1$  уже было найдено в виде соотношения (9).

### Отыскание относительной натуральной величины общего блока здания без учета крыши

Основной блок архитектурного сооружения, изображенного на фотографии, в упрощенном виде напоминает параллелепипед. Ширина этого параллелепипеда –  $AE$ , глубина –  $AC$ , высота –  $AB$ . Т.к.  $AB$  – величина относительная натуральная, то остается определить относительные натуральные величины ширины и глубины.

1. Через точку  $A$  проведем прямую  $m$  параллельную прямой  $O_2S$ .

Для аналитического представления прямой  $m$  нам необходимо найти направляющий вектор  $\overline{O_2S}$ :

$$\overline{O_2S} = (x_S - x_{O_2}; y_S - y_{O_2}). \quad (23)$$

Уравнение прямой  $m$  будет иметь вид:

$$\frac{x - x_A}{x_S - x_{O_2}} = \frac{y - y_A}{y_S - y_{O_2}}; \quad (24)$$

или

$$A_m x + B_m y + C_m = 0,$$

где

$$\begin{aligned} A_m &= y_S - y_{O_2} \\ B_m &= x_{O_2} - x_S \\ C_m &= -x_A(y_S - y_{O_2}) + y_A(x_{O_2} - x_S) \end{aligned}$$

2. Для определения относительной натуральной величины ширины  $AE$  проведем из точки  $S$  прямую через точку  $E$ . Найдем её точку пересечения с  $m$ . Отрезок  $AE_m$  является натуральной величиной отрезка  $AE$ .

Уравнение  $SE$  имеет вид:

$$\frac{x - x_S}{x_E - x_S} = \frac{y - y_S}{y_E - y_S}; \quad (25)$$

или

$$A_{SE} x + B_{SE} y + C_{SE} = 0,$$

где

$$\begin{aligned} A_{SE} &= y_E - y_S \\ B_{SE} &= x_S - x_E \\ C_{SE} &= y_S x_E - x_S y_E \end{aligned}$$

Точка  $E_m$  будет найдена из системы уравнений:

$$\begin{cases} A_m x + B_m y + C_m = 0; \\ A_{SE} x + B_{SE} y + C_{SE} = 0; \end{cases} \quad (26)$$

Её координаты:

$$\begin{aligned} x_{E_m} &= \frac{C_{SE} B_m - B_{SE} C_m}{A_m B_{SE} - A_{SE} B_m}; \\ y_{E_m} &= \frac{A_{SE} C_m - A_m C_{SE}}{A_m B_{SE} - A_{SE} B_m}; \end{aligned} \quad (27)$$

Относительную натуральную величину  $AE_m$  можно найти по формуле:

$$AE_m = \sqrt{(x_{E_m} - x_A)^2 + (y_{E_m} - y_A)^2}. \quad (28)$$

Проведем аналогичные рассуждения для нахождения относительной натуральной величины отрезка  $AC$ .



3. Через точку  $A$  проведем прямую  $n$  параллельную прямой  $O_1S$ .

Уравнение прямой  $n$  будет иметь вид:

$$\frac{x - x_A}{x_S - x_{O_1}} = \frac{y - y_A}{y_S - y_{O_1}}; \quad (29)$$

или

$$A_n x + B_n y + C_n = 0,$$

где

$$A_n = y_S - y_{O_1}$$

$$B_n = x_{O_1} - x_S$$

$$C_n = -x_A(y_S - y_{O_1}) + y_A(x_S - x_{O_1})$$

4. Для определения относительной натуральной величины глубины  $AC$  проведем из точки  $S$  прямую через точку  $C$ . Найдем её точку пересечения с  $m$ . Отрезок  $AC_n$  является натуральной величиной отрезка  $AC$ .

Уравнение  $SC$  имеет вид:

$$\frac{x - x_S}{x_C - x_S} = \frac{y - y_S}{y_C - y_S}; \quad (30)$$

или

$$A_{SC} x + B_{SC} y + C_{SC} = 0,$$

где

$$A_{SC} = y_C - y_S$$

$$B_{SC} = x_S - x_C$$

$$C_{SC} = y_S x_C - x_S y_C$$

Точка  $C_n$  будет найдена из системы уравнений:

$$\begin{cases} A_n x + B_n y + C_n = 0; \\ A_{SC} x + B_{SC} y + C_{SC} = 0; \end{cases} \quad (31)$$

Её координаты:

$$\begin{aligned} x_{C_n} &= \frac{C_{SC} B_n - B_{SC} C_n}{A_n B_{SC} - A_{SC} B_n}; \\ y_{C_n} &= \frac{A_{SC} C_n - A_n C_{SC}}{A_n B_{SC} - A_{SC} B_n}; \end{aligned} \quad (32)$$

Относительную натуральную величину  $AC_n$  можно найти по формуле:

$$AC_n = \sqrt{(x_{C_n} - x_A)^2 + (y_{C_n} - y_A)^2}. \quad (33)$$

Таким образом, относительные натуральные величины основного блока здания найдены (рис. 4).

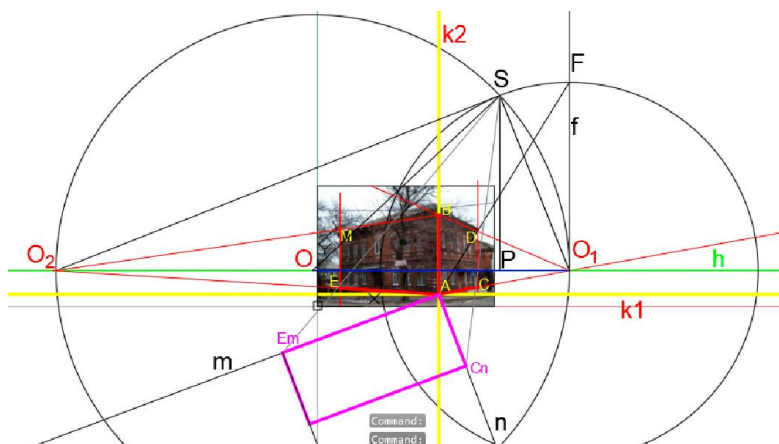


Рисунок 4 – Отыскание относительных натуральных величин основного блока архитектурного сооружения

## Сравнение аналитических расчетов и физических замеров эталонного архитектурного сооружения

В работе [16] представлено сравнение результатов построения трехмерной модели архитектурного сооружения с его физическими замера, показывающее 20 – 30 мм отклонения, что согласно ГОСТ 21779-82 «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски» является допустимым значением при производстве замеров. Усовершенствованный алгоритм дает отклонение в пределах 11 – 15 мм, что объясняется более точным определением точек схода, а соответственно и определения фокусного расстояния, значения которых дают более точные размеры относительных натуральных величин трехмерной модели архитектурного сооружения.

## Выводы

Усовершенствованный алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению применительно к трехмерной реконструкции архитектурного сооружения, основанный на методе перспективных масштабов, дает более близкие к физическим размерам эталонного архитектурного сооружения результаты, чем предложенные ранее версии алгоритма.

## Список литературы

1. Крейдун Ю. А. Построение пространственных моделей утраченных архитектурных памятников по одиночным изображениям [Текст] / Ю. А. Крейдун, С. И. Жилин // Ползуновский вестник. – № 3, 2004. – С. 83–88.
2. Меженин А. В. Реконструкция трехмерных моделей по растровым изображениям [Текст] / А. В. Меженин, В. Т. Тозик // Научно-технический вестник информационных технологий, механики, оптики. – № 45, 2007. – С. 203–207.
3. Захаров А. А. Трехмерная реконструкция визуальной обстановки по видеоизображениям на основе вероятностного подхода [Текст] / А. А. Тужилкин, А. Ю. Тужилкин // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – № 2. – 2014. – С. 45–49.

4. Chandelier L. Numerisation 3D et deroule photographique des 134 colonnes de la Grande Salle Hypostyle de Karnak / L. Chandelier, Y. E. Chazaly, E. Laroze // *Revue XYZ*. – 2009. – № 120. – P. 33–39.
5. Thi Porter S. Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field / S. Thi Porter, M. Roussel, M. A Soressi // *Advances in Archaeological Practice*. – 2016. – № 4(1). – P. 71–86.
6. Талапов В.В. О некоторых закономерностях и особенностях информационного моделирования памятников архитектуры // *Международный электронный научно-образовательный журнал «АМИТ» [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <https://marhi.ru/АМИТ/2015/2kvart15/talapov/abstract.php>
7. Аникеева С. О. Воссоздание утраченных памятников истории и архитектуры с помощью технологии ВМ (на примере дома с печкой, с. Паново, Красноярский край) [Текст] // *Вестник Томского государственного университета. История*. – 2013. – № 3 (23). – С. 7–9.
8. Меньшикова Е. П. Градостроительство как элемент развития ВМ-технологии [Текст] / Е. П. Меньшикова, А. М. Лола, У. А. Лола // *Проблемы искусственного интеллекта*. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2019. – № 1 (12). – С. 64–70.
9. Зори С. А. Автоматизация создания трехмерных моделей реальных ландшафтов на основе фотографий [Текст] / С. А. Зори, С. В. Ковальский // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – № 5(106). – 2010. – С. 134–140.
10. Тарасов Н. Ю. Система имитации тренажера специального назначения [Текст] / Н. Ю. Тарасов, В. В. Бондарчук, С. И. Уланов // *Проблемы искусственного интеллекта*. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2018. – № 3 (10). – С. 122–128.
11. Белозерский Л. А. Автоматический контроль и коррекция положений автоматически расставленных точек геометрического согласования изображений разновременной спутниковой съемки [Текст] / Л. А. Белозерский // *Проблемы искусственного интеллекта*. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2017. – № 1 (4). – С. 3–15.
12. Котенко В. Н. Метод повышения качества выделения границ изображений с использованием алгоритма PARTICLE SWARM OPTIMIZATION [Текст] / В. Н. Котенко, И. Н. Полищук // *Проблемы искусственного интеллекта*. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2016. – № 1 (2). – С. 53–63.
13. Руденко М. П. Способы виртуальной реконструкции памятников архитектуры [Текст] / М. П. Руденко // *Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе*. – 2015. – № 1(8) – 2(9). – С. 110–117.
14. Руденко М. П. Инструментальные средства виртуальной реконструкции утраченных памятников архитектуры [Текст] / М. П. Руденко // *Информатика и кибернетика*. – 2016. – № 2 (4). – С. 62–67.
15. Руденко М. П. Трехмерная реконструкция утраченных памятников архитектуры по фотографическому изображению методом перспективных масштабов [Текст] / М. П. Руденко // *Информатика и кибернетика*. – 2018. – № 2(12). – С. 64–68.
16. Руденко М. П. Алгоритм трехмерного моделирования архитектурных сооружений по фотоизображению методом перспективных масштабов [Текст] / М. П. Руденко // *Информатика и кибернетика*. – 2019. – № 2(16). – С. 89–95.
17. Соловьев С.А. Черчение и перспектива [Текст] / С. А. Соловьев, Г. В. Буланже. – М. : Высшая школа, 1982. – 319 с.: ил.
18. Конспект лекций по начертательной геометрии для студентов специальности «Архитектура». Часть 2. Перспективные проекции [Текст] / состав.: А. А. Крысько, О. В. Кувшинова, О. С. Воронова. – Макеевка : ДонНАСА, 2013. – 53 с.
19. Климухин А. Г. Тени и перспектива. Учебник для вузов [Текст] / А. Г. Климухин. – Москва : Архитектура-С, 2010. – 200 с.: ил.

## References

1. Kreidun Yu. A., Zhilin S. I. Postroyeniye prostranstvennykh modeley utrachennykh arkhitekturnykh pamyatnikov po odinochnym izobrazheniyam [Construction of spatial models of lost architectural monuments from single images]. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Bulletin], No. 3, 2004, S. 83–88.
2. Mezhenin A. V., Tozik V. T. *Rekonstruktsiya trekhmernykh modeley po rastrovym izobrazheniyam* [Reconstruction of three-dimensional models from raster images]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki, optiki* [Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics, Optics], No. 45, 2007, P. 203–207.
3. Zakharov A. A., Tuzhilkin A. Yu. Trekhmernaya rekonstruktsiya vizual'noy obstanovki po videoizobrazheniyam na osnove veroyatnostnogo podkhoda [Three-dimensional reconstruction of the visual

- environment from video images based on a probabilistic approach]. *Radiotekhnicheskiye i telekommunikatsionnyye sistemy* [Radio engineering and telecommunication systems], No. 2, 2014, P. 45-49.
4. Chandelier L., Chazaly Y. E., Laroze E. Numerization 3D et deroule photographique des 134 colonnes de la Grande Salle Hypostyle de Karnak. *Revue XYZ*, 2009, No 120, P. 33-39.
  5. Thi Porter S. Roussel M., Soressi M. A Simple Photogrammetry Rig for the Reliable Creation of 3D Artifact Models in the Field. *Advances in Archaeological Practice*, 2016, No 4 (1), P. 71-86.
  6. Talapov V.V. O nekotorykh zakonmernostyakh i osobennostyakh informatsionnogo modelirovaniya pamyatnikov arkhitektury [About some patterns and features of information modeling of architectural monuments]. *Mezhdunarodnyy elektronnyy nauchno-obrazovatel'nyy zhurnal «AMIT»* [International Electronic Scientific and Educational Journal "AMIT"] [Electronic resource], Access mode: <https://marhi.ru/AMIT/2015/2kvart15/talapov/abstract.php>
  7. Anikeeva S.O. Vossozdaniye utrachennykh pamyatnikov istorii i arkhitektury s pomoshch'yu tekhnologii BIM (na primere doma s pechkoy, s. Panovo, krasnoyarskiy kray) [Recreating lost historical and architectural monuments using BIM technology (for example, a house with a stove, village of Panovo, Krasnoyarsk Territory)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya* [Bulletin of Tomsk State University. History]. 2013. No 3 (23). S. 7-9.
  8. Menshikova E.P., Lola A.M., Lola W.A. Gradostroitel'stvo kak element razvitiya BIM-tekhnologii [Urban planning as an element of the development of BIM technology]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], Donetsk, GU IPII, 2019, No. 1 (12), S. 64-70.
  9. Zori S.A., Kovalsky S.V. Avtomatizatsiya sozdaniya trekhmernykh modeley real'nykh landshaftov na osnove fotografii [Automation of creating three-dimensional models of real landscapes based on photographs]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki* [News of SFU. Engineering], No. 5 (106), 2010, S. 134-140.
  10. Tarasov N. Yu., Bondarchuk V. V., Ulanov S. I. Sistema imitatsii trenazhera spetsial'nogo naznacheniya [A system for simulating a special-purpose simulator]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], Donetsk, GU IPII, 2018, No. 3 (10), S. 122-128.
  11. Belozersky L.A. Avtomaticheskii kontrol' i korrektsiya polozheniy avtomaticheskii rasstavlennykh toчек geometricheskogo soglasovaniya izobrazheniy raznovremennoy sputnikovoy s"yemki [Automatic control and correction of positions of automatically spaced points of geometric alignment of images of satellite images of different times]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of artificial intelligence], Donetsk, GU IPII, 2017, No. 1 (4), S. 3-15.
  12. Kotenko V.N., Polishchuk I.N. Metod povysheniya kachestva vydeleniya granits izobrazheniy s ispol'zovaniyem algoritma PARTICLE SWARM OPTIMIZATION [A method for improving the quality of highlighting image boundaries using the PARTICLE SWARM OPTIMIZATION algorithm]. *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of Artificial Intelligence], Donetsk, GU IPII, 2016, No. 1 (2), S. 53-63.
  13. Rudenko M.P. Sposoby virtual'noy rekonstruktsii pamyatnikov arkhitektury [Methods of virtual reconstruction of architectural monuments]. *Sistemnyy analiz i informatsionnyye tekhnologii v nauках o prirode i obshchestve* [System analysis and information technology in the sciences of nature and society], 2015, No. 1 (8) – 2 (9), S. 110-117.
  14. Rudenko M.P. Instrumental'nyye sredstva virtual'noy rekonstruktsii utrachennykh pamyatnikov arkhitektury [Instruments for virtual reconstruction of lost architectural monuments]. *Informatika i kibernetika* [Informatics and cybernetics], 2016, No. 2 (4), S. 62-67.
  15. Rudenko M. P. Trekhmernaya rekonstruktsiya utrachennykh pamyatnikov arkhitektury po fotograficheskomu izobrazheniyu metodom perspektivnykh masshtabov [Three-dimensional reconstruction of lost architectural monuments from a photographic image using the perspective scale method]. *Informatika i kibernetika* [Informatics and cybernetics], 2018, No. 2 (12), S. 64-68.
  16. Rudenko M.P. Algoritm trekhmernogo modelirovaniya arkhitekturykh sooruzheniy po fotoizobrazheniyu metodom perspektivnykh masshtabov [Algorithm for three-dimensional modeling of architectural structures by photo using the method of perspective scales] *Informatika i kibernetika* [Informatics and cybernetics], 2019, No. 2 (16), S. 89-95.
  17. Soloviev S.A., Boulanger G.V. *Chercheniye i perspektiva* [Drawing and perspective ], M., Higher school, 1982, 319 p.: Ill.
  18. Konspekt lektsiy po nachertatel'noy geometrii dlya studentov spetsial'nosti «Arkhitektura». Chast' 2. Perspektivnyye proyeksii [Summary of lectures on descriptive geometry for students of the specialty "Architecture". Part 2. Perspective projections] / composition: A.A. Krysko, O.V. Kuvshinova, O.S. Voronova, Makeevka, DonNASA, 2013, 53 p.
  19. Klimukhin A.G. *Teni i perspektiva. Uchebnik dlya vuzov* [Shadows and perspective. Textbook for high schools], Moscow, Architecture-S, 2010, 200 p.: Ill.

## RESUME

*M. P. Rudenko, A. A. Babakina, V. V. Karabchevsky*  
*Improvement of the Synthesis Algorithm for Models*  
*of Three-Dimensional Objects From Their Image*

Currently, such a subsection of computer vision is actively developing as pattern recognition, in particular, the synthesis of three-dimensional objects from their image. The use of the latter is very relevant in the direction of the three-dimensional architectural structures reconstruction, which is used for the architects and archaeologists work, as well as specialists involved in three-dimensional modeling of architectural and urban environments.

The most difficult task in the synthesis of a three-dimensional object is the definition and proper construction of its proportions and natural quantities, especially when only one image of the object is given. The proposed algorithm for the synthesis of the three-dimensional objects model from image is based on the perspective scales method of. It allows you to find relative natural quantities and build a three-dimensional model, having at the input an image of the original object. In this paper, we show such improvements of the algorithm as alignment of vanishing points relative to the horizon, as well as a more accurate search for the combined point of view for further determination of the focal length. Since the perspective image of a low building with up to five floors is in most cases two-point, here we consider the construction of finding two vanishing points.

The aim of the work was to consider the three-dimensional objects models synthesis algorithm by their mage improvement, as well as comparing the results of construction with physical measurements of a reference architectural structure, which showed a deviation of 11 – 15 mm, which indicates an improved operation of the algorithm with previously obtained results.

The three-dimensional objects models synthesis algorithm by their mage improvement in relation to three-dimensional reconstruction of an architectural structure, based on the method of perspective scales, is considered. The results of constructing a three-dimensional model, as well as comparing them with physical measurements of a reference architectural building, showed that the algorithm has been improved and can be applied by specialists working with the three-dimensional architectural buildings reconstruction.

## РЕЗЮМЕ

*М. П. Руденко, А. А. Бабакина, В. В. Карабчевский*  
*Усовершенствованный алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов*  
*по их изображению*

В настоящее время активно развивается такой подраздел компьютерного зрения, как распознавание образов, в частности, синтез трехмерных объектов по их изображению. Применение последнего весьма актуально в направлении трехмерной реконструкции архитектурных сооружений, которую используют для работы архитекторов и археологов, а также специалистов, занимающихся трехмерным моделированием архитектурных и городских сред.

Самой сложной задачей при синтезе трехмерного объекта является определение и правильное построение его пропорций и натуральных величин, особенно когда дается только одно изображение объекта. Предложенный алгоритм синтеза модели трехмерных объектов по изображению основан на методе перспективных масштабов.

Он позволяет найти относительные натуральные величины и построить трехмерную модель, имея на входе изображение исходного объекта. В данной работе показаны такие усовершенствования алгоритма, как выравнивание точек схода относительно линии горизонта, а также более подробное описание отыскания совмещенной точки зрения для дальнейшего определения фокусного расстояния. Так как перспективное изображение невысокого здания до пяти этажей в большинстве случаев является двухточечным, то здесь рассматривается построение на нахождении двух точек схода.

Целью работы являлось рассмотрение усовершенствованного алгоритма синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению, а также сравнение результатов построения с физическими замерах эталонного архитектурного сооружения, которое показало отклонение в пределах 11 – 15 мм, что говорит об улучшенной работе алгоритма с ранее полученными результатами.

Рассмотрен усовершенствованный алгоритм синтеза моделей трехмерных объектов по их изображению применительно к трехмерной реконструкции архитектурного сооружения, основанный на методе перспективных масштабов. Результаты построений трехмерной модели, а также сравнения их с физическими замерах эталонного архитектурного здания показали, что работа алгоритма улучшена, и он может быть применен специалистами, занимающимися трехмерной реконструкцией архитектурных зданий.

Статья поступила в редакцию 21.01.2020.