

д. т. н., ст. науч. сотр., профессор **Браилов А.Ю.**,
brailov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5021-8372

магистр **Панченко В.И.**,
gb126t@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5939-832X

Одесский профессиональный колледж компьютерных технологий

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕДОСТУПНОЙ ТОЧКИ ОБЪЕКТА

В настоящем исследовании разработан адаптивный алгоритм к определению параметров недоступной точки объекта. Выявлена проблема и поставлены первостепенные задачи. Сутью проблемы является объективное противоречие между необходимостью расположения точек A и B – центров визирных труб оптических приборов, – в одной и той же горизонтальной плоскости Π_1 и отсутствием реальной возможности выполнить такое одинаковое одноуровневое расположение без погрешности. Цель исследования – разработать стратегии определения положения недоступной точки объекта в минимальной области между скрещивающимися визирными лучами и адаптивный алгоритм определения значений параметров недоступной точки по заданным абсолютным и относительным погрешностям. Задачи статьи: 1. Разработать стратегии определения положения недоступной точки объекта в минимальной области между скрещивающимися визирными лучами. 2. Разработать адаптивный алгоритм определения значений параметров недоступной точки по заданным абсолютным и относительным погрешностям. В предлагаемом оптимизационном подходе разработана комбинированная трехмерная геометрическая модель со скрещивающимися визирными лучами. Определяемые точки C и C' располагаются в областях $[C_{DM}, C_{EM}]$, $[C'_{DM}, C'_{EM}]$ минимального расстояния ρ_{min} между скрещивающимися визирными лучами. Оптимизационная задача определения координат недоступной точки объекта в пространстве сводится к задаче определения граничных точек минимального расстояния между двумя скрещивающимися визирными лучами. Предложено три стратегии выбора положения недоступной точки $C(x_C, y_C, z_C)$ в найденной минимальной области $[C_{DM}, C_{EM}]$. Искомая точка $C(x_C, y_C, z_C)$ может, например, располагаться в середине минимального отрезка $[C_{DM}, C_{EM}]$. Суть адаптивного алгоритма заключается в оптимизационном изменении значений начальных данных $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$, при которых абсолютные и относительные погрешности координат недоступной точки удовлетворяют заданным заказчиком величин погрешностей (0,0001 – 1,2%). Предложенный подход проверен на экспериментальных данных.

Ключевые слова: объект; точка; экстремум; визирный луч; координаты точки; геометрическая модель; аналитическая модель.

Актуальность исследования. Формирование паспорта реконструируемых или восстанавливаемых исторических объектов предполагает определение их геометрических параметров. Такими параметрами являются высота объекта и размеры охранной зоны.

Постановка проблемы. Основная проблема заключается в объективном *противоречии* между необходимостью расположения точек A и B – центров визирных труб оптических приборов, – в одной и той же горизонтальной плоскости Π_1 и отсутствием реальной возможности выполнить такое одинаковое одноуровневое расположение без погрешности (Рис. 1).

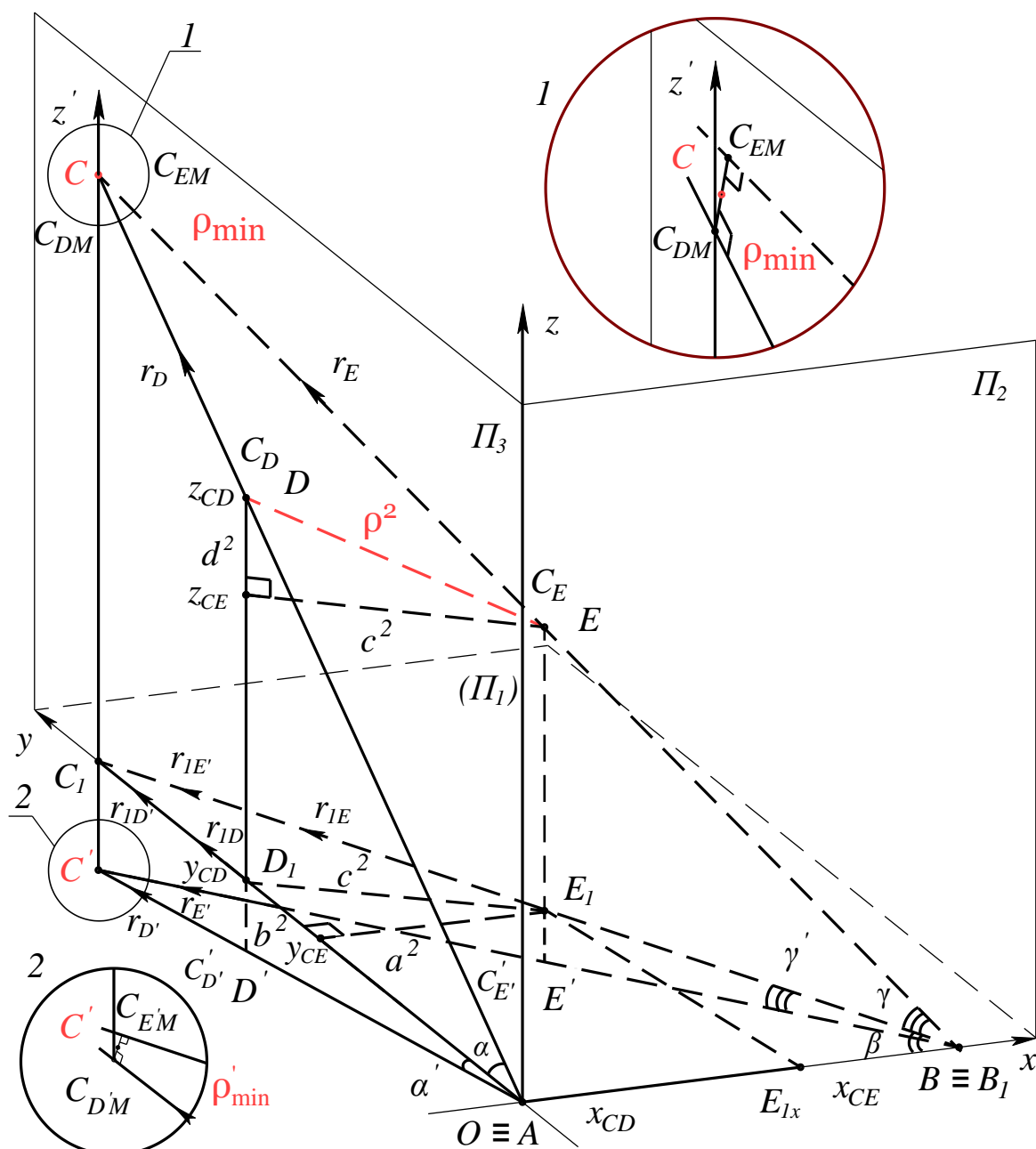


Рис. 1. Комбинированная геометрическая модель определения расстояний CC_1 и $C'C_1$ относительно нулевой плоскости ABC_1

Анализ исследований и публикаций. Для определения координат недоступных точек объекта, в соответствии с построенной геометрической моделью [1, 2, 3], геодезическими оптическими приборами производятся измерения углов α и γ в двух различных точках A и B (Рис. 1). Точки A и B центров визирных труб оптических приборов располагаются в разных вертикальных плоскостях ACC_1 , BCC_1 и в одной и той же горизонтальной плоскости $П_1$.

В предложенной геометрической модели измерений [4, 5] визирный луч AD принадлежит плоскости ACC_1 , которая совпадает с профильной плоскостью проекций $П_3$. Профильная плоскость проекций $П_3$ перпендикулярна горизонтальной плоскости проекций $П_1$ (Рис. 1). Точка A располагается в начале O прямоугольной системы координат $Oxyz$ [5, 6]. Поэтому для совмещения точки B с горизонтальной плоскостью проекций $П_1$ целесообразно точку A считать базовой точкой горизонтального уровня.

Размещение точки B позиционированием оптического прибора в горизонтальной плоскости $П_1$ относительно точки A всегда осуществляется с некоторой погрешностью Δz . Поэтому необходимо разработать средства, которые компенсируют объективно существующее противоречие между необходимостью расположения точек A и B – центров визирных труб оптических приборов, – в одной и той же горизонтальной плоскости $П_1$ и отсутствием реальной возможности выполнить такое одинаковое одноуровневое расположение без погрешности.

Цель и задачи статьи. Цель настоящего исследования – разработать стратегии определения положения недоступной точки объекта в минимальной области между скрещивающимися визирными лучами и адаптивный алгоритм определения значений параметров недоступной точки по заданным абсолютным и относительным погрешностям. *Задачи* статьи: 1. Разработать стратегии определения положения недоступной точки объекта в минимальной области между скрещивающимися визирными лучами. 2. Разработать адаптивный алгоритм определения значений параметров недоступной точки по заданным абсолютным и относительным погрешностям.

Основная часть. *Первым шагом* в разрешении выявленной проблемы является разработанный *оптимизационный подход* к определению координат недоступных точек объекта [3, 7].

Суть разработанного оптимизационного подхода заключается в том, что между двумя скрещивающимися, а не пересекающимися, визирными лучами AD и BE определяются координаты $x_{DM}, y_{DM}, z_{DM}, x_{EM}, y_{EM}, z_{EM}$ граничных точек $C_{DM}(x_{DM}, y_{DM}, z_{DM}), C_{EM}(x_{EM}, y_{EM}, z_{EM})$ минимальной области $[C_{DM}, C_{EM}]$.

Получены формулы для определения координат $x_{DM}, y_{DM}, z_{DM}, x_{EM}, y_{EM}, z_{EM}$, граничных точек $C_{DM}(x_{DM}, y_{DM}, z_{DM}), C_{EM}(x_{EM}, y_{EM}, z_{EM})$, для которых расстояние $\rho(C_{DM}, C_{EM})$ между двумя скрещивающимися лучами AD и BE минимально ρ_{min} (1) и (2):

$$\begin{cases} x_{DM} = r_{Dx} \cdot t_{DM} + x_D \\ y_{DM} = r_{Dy} \cdot t_{DM} + y_D, \\ z_{DM} = r_{Dz} \cdot t_{DM} + z_D \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_{EM} = r_{Ex} \cdot t_{EM} + x_E \\ y_{EM} = r_{Ey} \cdot t_{EM} + y_E \cdot \\ z_{EM} = r_{Ez} \cdot t_{EM} + z_E \end{cases} \quad (2)$$

В формуле (1) x_D, y_D, z_D – координаты произвольной точки $D(x_D, y_D, z_D)$ визирного луча AD ; $r_{Dx}=x_D-x_A$, $r_{Dy}=y_D-y_A$, $r_{Dz}=z_D-z_A$ – координаты направляющего вектора r_D (r_{Dx}, r_{Dy}, r_{Dz}), x_A, y_A, z_A – координаты точки $A(x_A, y_A, z_A)$; t_{DM} – параметр, определяющий положение точки D для минимального расстояния в точке C_{DM} между скрещивающимися лучами AD и BE .

В формуле (2) x_E, y_E, z_E – координаты произвольной точки $E(x_E, y_E, z_E)$ визирного луча BE ; $r_{Ex}=x_E-x_B$, $r_{Ey}=y_E-y_B$, $r_{Ez}=z_E-z_B$ – координаты направляющего вектора r_E (r_{Ex}, r_{Ey}, r_{Ez}), x_B, y_B, z_B – координаты точки $B(x_B, y_B, z_B)$; t_{EM} – параметр, определяющий положение точки E для минимального расстояния в точке C_{EM} между скрещивающимися лучами AD и BE .

Для определения значений параметров t_{DM} и t_{EM} решается полученная система уравнений (3):

$$\begin{cases} (r_{Dx}^2 + r_{Dy}^2 + r_{Dz}^2) \cdot t_{DC} - (r_{Ex} \cdot r_{Dx} + r_{Ey} \cdot r_{Dy} + r_{Ez} \cdot r_{Dz}) \cdot t_{CE} = \\ = -[(x_D - x_E) \cdot r_{Dx} + (y_D - y_E) \cdot r_{Dy} + (z_D - z_E) \cdot r_{Dz}] \\ - (r_{Dx} \cdot r_{Ex} + r_{Dy} \cdot r_{Ey} + r_{Dz} \cdot r_{Ez}) \cdot t_{CD} + (r_{Ex}^2 + r_{Ey}^2 + r_{Ez}^2) \cdot t_{CE} = \\ = (x_D - x_E) \cdot r_{Ex} + (y_D - y_E) \cdot r_{Ey} + (z_D - z_E) \cdot r_{Ez} \end{cases} \quad (3)$$

Поскольку визирные лучи AD и BE направлены в исследуемую точку $C(x_C, y_C, z_C)$, то минимальная область $[C_{DM}, C_{EM}]$ содержит эту недоступную точку (Рис. 1).

Вторым шагом в разрешении проблемы и достижении цели является разработка стратегий выбора положения точки $C(x_C, y_C, z_C)$ в найденной минимальной области $[C_{DM}, C_{EM}]$.

Стратегии определения координат недоступной точки объекта разработаны для минимального перпендикуляра между скрещивающимися визирными лучами.

Для определения координат x_C, y_C, z_C недоступной точки $C(x_C, y_C, z_C)$ объекта на перпендикуляре $[C_{DM}, C_{EM}]$ между двумя скрещивающимися визирными лучами AD и BE предложено несколько стратегий.

Стратегия 1. В качестве искомых координат x_C, y_C, z_C точки C могут выбираться координаты x_{DM}, y_{DM}, z_{DM} , граничной точки C_{DM} , поскольку геодезическая станция A располагается в горизонтальной плоскости Oxy . Визирный луч AD , направленный в реальную недоступную точку C , принадлежит профильной плоскости Oyz . Луч AD станции A образует в профильной плоскости Oyz с осью Oy измеряемый угол α :

$$x_C = x_{DM}, \quad y_C = y_{DM}, \quad z_C = z_{DM}. \quad (4)$$

Координаты x_{EM}, y_{EM}, z_{EM} точки C_{EM} используются для расчета абсолютной и относительной погрешностей:

$$\Delta_x = |x_{DM} - x_{EM}|, \quad (5)$$

$$\Delta_y = |y_{DM} - y_{EM}|, \quad (6)$$

$$\Delta_z = |z_{DM} - z_{EM}|, \quad (7)$$

$$\sum_x = \frac{\Delta_x}{x_{DM}} \cdot 100, \quad (8)$$

$$\sum_y = \frac{\Delta_y}{y_{DM}} \cdot 100, \quad (9)$$

$$\sum_z = \frac{\Delta_z}{z_{DM}} \cdot 100. \quad (10)$$

Стратегия 2. В качестве искомых координат x_C, y_C, z_C точки C выбираются координаты точки, расположенной в середине перпендикуляра между скрещивающимися визирными лучами:

$$x_C = (x_{DM} + x_{EM})/2, \quad (11)$$

$$y_C = (y_{DM} + y_{EM})/2, \quad (12)$$

$$z_C = (z_{DM} + z_{EM})/2. \quad (13)$$

Для "серединной" стратегии абсолютные и относительные погрешности вычисляются по формулам:

$$\Delta_x = |x_{DM} - x_{EM}|/2, \quad (14)$$

$$\Delta_y = |y_{DM} - y_{EM}|/2, \quad (15)$$

$$\Delta_z = |z_{DM} - z_{EM}|/2, \quad (16)$$

$$\sum_x = \frac{\Delta_x}{x_C} \cdot 100, \quad (17)$$

$$\sum_y = \frac{\Delta_y}{y_C} \cdot 100, \quad (18)$$

$$\sum_z = \frac{\Delta_z}{z_C} \cdot 100. \quad (19)$$

Стратегия 3. Адаптивная стратегия определения координат x_C, y_C, z_C недоступной точки C позволяет получить результат по критерию заданной

относительной погрешности, изменяя измеренные угловые параметры $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$ геодезическими станциями A и B .

Такие изменения параметров наиболее адекватны разработанным геометрической и компьютерной моделям. Реальное скрещивание визирного луча BE геодезической станции B с визирным лучом AD геодезической станции A вызваны, главным образом, технологическими экспериментальными погрешностями установки геодезической станции B в горизонтальной плоскости Oxy .

Разработанная трехмерная комбинированная геометрическая модель и оптимизационный метод решения задачи в компьютерной реализации позволяют легко обнаружить погрешности экспериментального измерения начальных данных $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$ для определения координат недоступной точки.

Поэтому в проведенных исследованиях разработан адаптивный алгоритм решения поставленной задачи.

Разработка адаптивного алгоритма определения координат недоступной точки является *третьим шагом* в разрешении проблемы компенсации погрешностей проводимых измерений.

Суть адаптивного алгоритма заключается в оптимизационном изменении значений начальных данных $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$, при которых абсолютные и относительные погрешности координат недоступной точки удовлетворяют заданным заказчиком величинам погрешностей (0,0001 – 1,2%).

Для разработанной геометрической модели измерений (Рис. 1) координату x_c точки C целесообразно принимать равной нулю ($x_c=0$), так как визирный луч AD принадлежит плоскости ACC_1 . Все точки плоскости ACC_1 с визирным лучом AD имеют координату абсцисс со значением ноль.

Предлагаемый теоретический подход экспериментально проверен при восстановлении Спасо-Преображенского кафедрального собора в городе Одессе, Украина (Рис. 2).

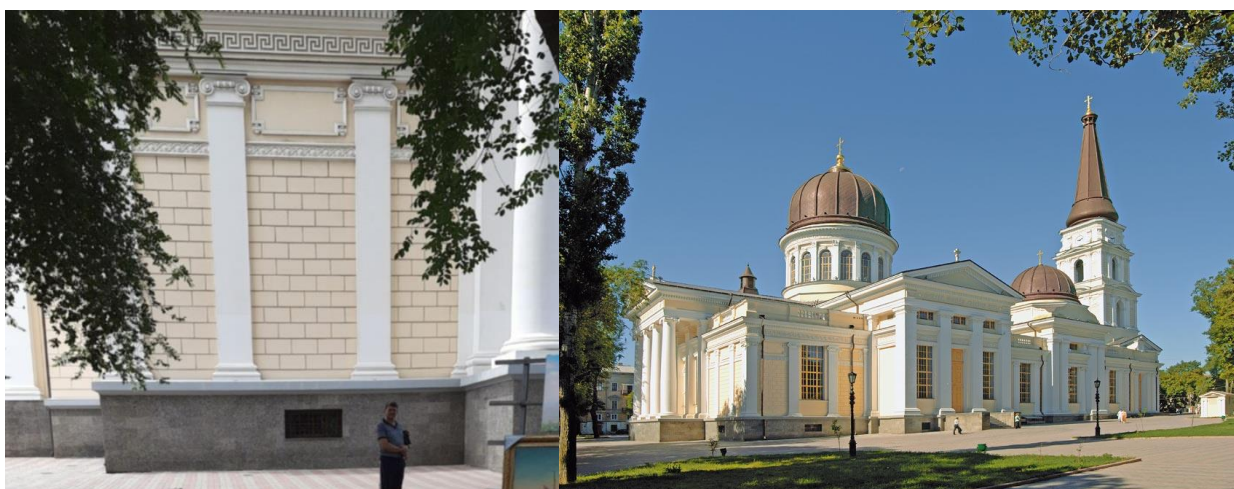


Рис. 2. Спасо-Преображенский собор в городе Одессе, Украина

Определялись координаты самой высокой точки колоны пилястра C и точки C' уровня земли относительно нулевой горизонтальной плоскости с горизонтальными визирными лучами, имеющими одну и ту же высотную отметку. Такие лучи названы нулевыми визирными лучами.

Пилястр выполнен в форме колоны ионического ордера [6].

На основании прямых измерений шести параметров $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$ и данных разработанной геометрической модели получают значения координат шести исходных точек A, B, D, E, D', E' . Координаты этих шести точек являются исходными данными для решения поставленной задачи.

В соответствии с предложенной геометрической моделью (Рис. 1) для определения параметров точки C экспериментально тахеометром ES series #13813 JIS C6802:2005 измерены углы $\alpha=21,23^\circ, \beta=44,65^\circ, \gamma=15,18^\circ$ и расстояние между точками A и B — $AB=23916$ мм. Расстояние между точками A и D_I принималось равным 10000 мм и между точками B и E_I 15000 мм — $y_D=AD_I=10000$ мм, $BE_I=15000$ мм.

В соответствии с разработанной трехмерной геометрической моделью измерений (Рис. 1) все три координаты точки A равны нулю — $x_A=0, y_A=0, z_A=0$. Координаты y_B и z_B точки B и координата x_D точки D также равны нулю — $y_B=0, z_B=0, x_D=0$.

Координата z_D точки D и координаты y_E, z_E и x_E точки E рассчитываются по формулам — $z_D=|AD_I| \cdot \operatorname{tg}\alpha=3885,44$ мм; $y_E=|BE_I| \cdot \sin\beta=10541,61$ мм; $z_E=|BE_I| \cdot \operatorname{tg}\gamma=4070,73$ мм; $x_E=|AB|-|BE_I| \cdot \cos\beta=13244,8$ мм.

На основании полученных координат всех четырех исходных точек $A(x_A, y_A, z_A), B(x_B, y_B, z_B), D(x_D, y_D, z_D), E(x_E, y_E, z_E)$ решается задача определения минимального расстояния между скрещивающимися визирными лучами AD и BE (Рис. 1).

Рассчитываются координаты $x_{DM}, y_{DM}, z_{DM}, x_{EM}, y_{EM}, z_{EM}$ точек $C_{DM}(x_{DM}, y_{DM}, z_{DM}), C_{EM}(x_{EM}, y_{EM}, z_{EM})$ для которых расстояние $\rho(C_{DM}, C_{EM})$ между двумя скрещивающимися лучами AD и BE минимально ρ_{min} — $x_{DM}=0$ мм; $y_{DM}=23606,44$ мм; $z_{DM}=9172,14$ мм; $x_{EM}=0,12$ мм; $y_{EM}=23625,47$ мм; $z_{EM}=9123,16$ мм.

Пусть искомая точка $C(x_C, y_C, z_C)$ располагается в середине минимального отрезка $[C_{DM}, C_{EM}]$ и её отклонение от профильной плоскости находится в пределах одного процента срединного отклонения по оси абсцисс Ox . Тогда её координаты легко рассчитываются — $x_C=0,0005$ мм, $y_C=23615,95$ мм, $z_C=9147,65$ мм.

Абсолютная погрешность расчетов по каждой из координат составляет $\Delta x=0,0005$ мм, $\Delta y=19,03$ мм, $\Delta z=48,98$ мм.

Относительная погрешность решения экстремальной задачи равна $\Sigma_x=0,9$ %, $\Sigma_y=0,08$ %, $\Sigma_z=0,5$ %.

Разработанная комбинированная геометрическая модель (Рис. 1) объединяет модели, расположенные выше и ниже нулевой горизонтальной плоскости ABC_I [5, 6].

Нулевая горизонтальная плоскость содержит горизонтальные визирные лучи с одной и той же высотной отметкой, являющейся началом отсчета высоты.

Часть параметров являются общими параметрами как для геометрической модели, расположенной выше нулевой горизонтальной плоскости ABC_I , так и для геометрической модели, расположенной ниже нулевой горизонтальной плоскости ABC_I .

Таковыми общими параметрами для верхней части и нижней части модели являются угол $\beta = 44,65^\circ$ и расстояние $AB = 23916$ мм. Поэтому для определения координат точки C' уровня земли относительно нулевой горизонтальной плоскости ABC_I измерять эти параметры не нужно.

В соответствии с предложенной геометрической моделью (Рис. 1) для определения параметров точки C' экспериментально тахеометром ES series #13813 JIS C6802:2005 измерены углы $\alpha'=2,75^\circ$, $\beta=44,65^\circ$, $\gamma'=1,95^\circ$.

Координата $x_{D'}$ точки D' равна нулю — $x_{D'}=0$.

Координата $z_{D'}$ точки D' и координаты $y_{E'}$, $z_{E'}$ и $x_{E'}$ точки E' рассчитываются по формулам — $z_{D'}=|AD_I| \cdot \operatorname{tg}\alpha'=480,33$ мм;
 $y_{E'}=|BE_I| \cdot \sin\beta=10541,61$ мм; $z_{E'}=|BE_I| \cdot \operatorname{tg}\gamma'=510,71$ мм; $x_{E'}=|AB|-|BE_I| \cdot \cos\beta=13244,8$ мм.

На основании полученных координат всех четырех исходных точек $A(x_A, y_A, z_A)$, $B(x_B, y_B, z_B)$, $D'(x_{D'}, y_{D'}, z_{D'})$, $E'(x_{E'}, y_{E'}, z_{E'})$ решается задача определения минимального расстояния между скрещивающимися визирными лучами AD' и BE' (Рис. 1).

Рассчитываются координаты $x_{D'M}$, $y_{D'M}$, $z_{D'M}$, $x_{E'M}$, $y_{E'M}$, $z_{E'M}$ точек $C_{D'M}(x_{D'M}, y_{D'M}, z_{D'M})$, $C_{E'M}(x_{E'M}, y_{E'M}, z_{E'M})$ для которых расстояние $\rho(C_{D'M}, C_{E'M})$ между двумя скрещивающимися лучами AD' и BE' минимально ρ_{\min} — $x_{D'M}=0$ мм; $y_{D'M}=23626,05$ мм; $z_{D'M}=1134,84$ мм; $x_{E'M}=0,004$ мм; $y_{E'M}=23625,58$ мм; $z_{E'M}=1144,58$ мм.

Пусть искомая точка $C'(x_{C'}, y_{C'}, z_{C'})$ располагается в середине минимального отрезка $[C_{D'M}, C_{E'M}]$ и её отклонение от профильной плоскости находится в пределах одного процента срединного отклонения по оси абсцисс Ox . Тогда её координаты легко рассчитываются — $x_{C'}=0,00002$ мм, $y_{C'}=23625,81$ мм, $z_{C'}=1139,71$ мм.

Абсолютная погрешность расчетов по каждой из координат составляет $\Delta x=0,00002$ мм, $\Delta y=0,47$ мм, $\Delta z=9,74$ мм.

Относительная погрешность решения экстремальной задачи равна $\Sigma_x=0,9$ %, $\Sigma_y=0,002$ %, $\Sigma_z=0,85$ %.

Суммарное значение расстояний ($C'C=CC_I+C'C_I$) от самой высокой точки C колоны пилястра до нулевой горизонтальной плоскости ABC_I ($CC_I = 9147,65$ мм) и расстояния от точки C' уровня земли до нулевой горизонтальной плоскости ABC_I ($C'C_I = 1139,71$ мм) равно расстоянию от уровня земли (точка C') до самой высокой точки C колоны пилястра Спасо-Преображенского кафедрального собора в городе Одессе — $C'C = 9147,65 + 1139,71 = 10287,36$ мм.

Выводы. 1. Разработанная *комбинированная* геометрическая модель объединяет модели, расположенные выше и ниже нулевой горизонтальной плоскости ABC_1 с визирными лучами одной и той же высотной отметки.

Комбинированная геометрическая модель позволяет определять параметры объекта, имеющего наиболее общее расположение относительно нулевой горизонтальной плоскости измерительного оборудования.

2. Часть параметров являются общими параметрами как для геометрической модели, расположенной выше нулевой горизонтальной плоскости ABC_1 , так и для геометрической модели, расположенной ниже нулевой горизонтальной плоскости ABC_1 .

Таковыми общими параметрами для верхней части и нижней части модели являются угол β и расстояние AB .

Поэтому для определения координат точки C' уровня земли относительно нулевой горизонтальной плоскости ABC_1 измерять эти параметры, угол β и расстояние AB , не нужно.

3. Только шесть исходных параметров (углы $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \gamma'$, расстояние AB) разработанной *комбинированной* геометрической модели определяются прямыми измерениями. Значения еще семи исходных параметров непосредственно позволяет задать предложенная *комбинированная* геометрическая модель. И шесть параметров рассчитываются на основании измеренных параметров и простейших геометрических соотношений.

4. Предложено три стратегии выбора положения недоступной точки $C(x_C, y_C, z_C)$ в найденной минимальной области $[C_{DM}, C_{EM}]$.

5. Суть адаптивного алгоритма заключается в оптимизационном изменении значений начальных данных $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$, при которых абсолютные и относительные погрешности координат недоступной точки удовлетворяют заданным заказчиком величин погрешностей (0,0001 – 1,2%).

6. Абсолютная погрешность расчетов координат недоступной точки реконструируемого объекта приемлема в строительстве.

Под *недоступной точкой объекта* понимается точка, с которой непосредственный контакт невозможен.

7. Низкая относительная погрешность расчетов координат недоступной точки доказывает высокую эффективность предложенного оптимизационного подхода.

Перспективы дальнейших исследований.

Предполагается для разработанных *комбинированной* геометрической модели и оптимизационного метода изложить способ определения координат недоступной точки, удовлетворяющих требуемой относительной погрешности, и провести исследования по определению параметров компонентов Католического собора в городе Одессе.

Литература

1. Браилов А. Ю. *Инженерная геометрия*. Киев: Каравелла, 2016. 472 с.
2. Brailov, A. Yu. (2016) *Engineering Graphics. Theoretical Foundations of Engineering Geometry for Design*. Springer International Publishing. 340 p. (ISBN 978-3-319-29717-0, DOI: 10.1007/978-3-319-29719-4).
3. Brailov, A. Yu., Panchenko, V. I. (2021) Determination of Parameters of an Inaccessible Point of an Object. Proceedings of the Nineteenth International Conference on Geometry and Graphics (41th Anniversary – San Paulo, BRAZIL). Germany: Springer, Tiergartenstrase 17, 69121 Heidelberg, 2021, © Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2021. *Advances in Intelligent Systems and Computing 1296*, AISC 1296, 911–915. DOI: (2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63403-2_83)
4. Brailov, A. Yu. (2019) Geometry of conjugation of curvilinear channels of the parts. Proceedings of the Eighteenth International Conference on Geometry and Graphics (40th Anniversary – Milan, ITALY). Germany: Springer, Tiergartenstrase 17, 69121 Heidelberg, 2019, © Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing 809*, AISC 809, 2171–2175. DOI: (2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_195).
5. Браилов А. Ю., Панченко В. И. Комбинированная геометрическая модель в оптимизационном подходе определения параметров недоступной точки объекта. *Прикладные вопросы математического моделирования*. Херсон: ХНТУ, 2020. Том 3. № 2.1. С. 27-38. ISSN 2618-0332. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-1.2.
6. Браилов А. Ю., Панченко В. И. Комбинированная геометрическая модель для определения высоты объекта. *Материалы XXI международной конференции по математическому моделированию* (г. Херсон, 14-18 сентября 2020 года). Херсон: ХНТУ, 2020. С. 63-65.
7. Браилов А. Ю., Панченко В. И. Оптимизационный подход к определению параметров недоступной точки объекта. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. К.: КНУБА, 2020. Вип. 99. С. 43-55.

References

1. Brailov, A. Yu. (2016) *Engineering Geometry*. Kiev: Karavella [in Russian].
2. Brailov, A. Yu. (2016) *Engineering Graphics. Theoretical Foundations of Engineering Geometry for Design*. Springer International Publishing. 340 p. (ISBN 978-3-319-29717-0, DOI: 10.1007/978-3-319-29719-4).
3. Brailov, A. Yu., Panchenko, V. I. (2021) Determination of Parameters of an Inaccessible Point of an Object. Proceedings of the Nineteenth International Conference on Geometry and Graphics (41th Anniversary – San Paulo, BRAZIL). Germany: Springer, Tiergartenstrase 17, 69121 Heidelberg, 2021, © Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2021. *Advances*

in Intelligent Systems and Computing 1296, AISC 1296, 911-915. DOI: (2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63403-2_83)

4. Brailov, A. Yu. (2019) Geometry of conjugation of curvilinear channels of the parts. Proceedings of the Eighteenth International Conference on Geometry and Graphics (40th Anniversary – Milan, ITALY). Germany: Springer, Tiergartenstrasse 17, 69121 Heidelberg, 2019, © Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing 809*, AISC 809, 2171-2175. DOI: (2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_195).

5. Brailov, A. Yu., Panchenko, V. I. (2020) The combined geometrical model in the optimizing approach to determination the parameters of an inaccessible point of an object. *Applied questions of mathematical modelling*. Kherson: KNTU, Vol 3, № 2.1, 27-38. ISSN 2618-0332. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2020.3.2-1.2 [in Russian].

6. Brailov, A. Yu., Panchenko, V. I. (2020) The combined geometrical model to determine the height of an object. *Materials of the XXI International Conference on Mathematical Modeling* (с. Kherson, 14-18 september 2020 year). Kherson: KNTU, 63-65 [in Russian].

7. Brailov, A. Yu., Panchenko, V. I. (2020) The optimizing approach to determination the parameters of an inaccessible point. *Applied Geometry and Engineering Graphics*. Kiev: KNUSA, 99, 43-55 [in Russian].

д. т. н., ст. наук. співр., професор **Браїлов О.Ю.**,
brailov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5021-8372

магістр **Панченко В.І.**,
gb126t@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5939-832X

Одеський професійний коледж комп'ютерних технологій

АДАПТИВНИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕДОСТУПНОЇ ТОЧКИ ОБ'ЄКТА

У даному дослідженні розроблено оптимізаційний підхід для визначення параметрів недоступної точки об'єкта. Виявлено проблему і поставлені першочергові задачі.

Суттю проблеми є об'єктивне протиріччя між необхідністю розташування точок A і B – центрів візорних труб оптичних приладів, – в одній і тій же горизонтальній площині Π_1 і відсутністю реальної можливості виконати таке однакове однорівневе розташування без похибки. Мета дослідження – розробити стратегії визначення положення недоступної точки об'єкта в мінімальній області між мимобіжними візорними променями і адаптивний алгоритм визначення значень параметрів недоступної точки по заданим абсолютним та відносним похибкам.

Задачі статті: 1. Розробити стратегії визначення положення недоступної точки об'єкта в мінімальній області між мимобіжними візирними променями. 2. Розробити адаптивний алгоритм визначення значень параметрів недоступної точки по заданим абсолютним та відносним похибкам.

У запропонованому оптимізаційному підході розроблена тривимірна геометрична модель з мимобіжними візирними променями для визначення координат недоступної точки об'єкта. Обумовлені точки C і C' розташовується в областях $[C_{DM}, C_{EM}]$, $[C'_{DM}, C'_{EM}]$ мінімальної відстані ρ_{min} між мимобіжними візирними променями.

Оптимізаційна задача визначення координат недоступної точки об'єкта в просторі зводиться до задачі визначення мінімальної відстані між двома мимобіжними візирними променями.

Задача має єдине розв'язання, якщо візирні промені не паралельні.

Пошук екстремуму функції відстані між двома візирними променями, і саме мінімуму, має реальну геометричну інтерпретацію. Функція відстані $\rho = f(t_{C'D'}, t_{C'E'})$ досягає свого екстремуму ρ_{min} , коли її часткові похідні по кожній змінній дорівнюють нулю. Тому вирішується система диференціальних рівнянь.

Запропоновано три стратегії вибору положення недоступної точки $C(x_C, y_C, z_C)$ в знайденій мінімальній області $[C_{DM}, C_{EM}]$. Визначаема точка $C'(x_{C'}, y_{C'}, z_{C'})$ може, наприклад, розташовуватися в середині мінімального відрізка $[C'_{DM}, C'_{EM}]$.

Суть адаптивного алгоритму полягає в оптимізаційній змінні значень початкових даних $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$, при яких абсолютні та відносні похибки координат недоступної точки задовольняються заданим замовником величинам похибок (0,0001 – 1,2%).

Запропонований підхід перевірений на реальних даних.

Ключові слова: об'єкт; точка; екстремум; візирний промінь; координати точки; геометрична модель; аналітична модель.

Ph. D., Dr. Sci., Professor, Member ISGG **Aleksandr Yurievich Brailov**,
brailov@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5021-8372
Magistracy, Member ISGG **Vitaliy Ivanovich Panchenko**,
gb126t@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5939-832X
Odessa Professional College of Computer Technologies

ADAPTIVE ALGORITHM FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF AN INACCESSIBLE POINT OF AN OBJECT

In the present research the optimizing approach to the determination of the parameters of an inaccessible point of an object is developed. The common issues are revealed and essential steps of their resolution are identified.

The essence of the problem is an objective contradiction between a requirement for the location of points A and B of the centers of the sighting tubes of optical devices in the same horizontal plane P_1 and the lack of a real possibility to perform such to achieve this an identical one-level arrangement without error.

The aim of the study is to develop strategies for determining the position of an inaccessible point of an object in the minimum domain between intersecting sighting rays as well as an adaptive algorithm for determining the values of the parameters of an inaccessible point under the given absolute and relative errors.

To achieve this aim, the following problems are formulated and solved in the paper: 1. Develop strategies for determining the position of the inaccessible point of the object in the minimum domain between the intersecting sighting rays. 2. Develop an adaptive algorithm for determining the values of the parameters of an inaccessible point based on the specified absolute and relative errors.

In the proposed optimizing approach, the three-dimensional geometrical model with crossed directional rays for the determination of coordinates of the inaccessible point of an object is developed. It is discussed that points C and C', coordinated of which to be determined, locates in domain $[C_{DM}, C_{EM}]$, $[C'_{DM}, C'_{EM}]$ of the minimum distance ρ_{min} between crossed directional rays.

The optimizing problem of the determination of coordinates of an inaccessible point of an object in space is reduced to a problem of the determination of the minimum distance between two crossed directional rays.

It's known from the theory of function of multiple variables that function $\rho = f(t_{CD}, t_{CE})$ reaches its extremum ρ_{min} when its partial derivatives by each variable are equal to zero.

Three strategies for selecting the position of the inaccessible point C (x_C, y_C, z_C) in the found minimum region $[C_{DM}, C_{EM}]$ are proposed. The required point C' ($x_{C'}, y_{C'}, z_{C'}$) can be located, for example, in the middle of the minimum segment $[C'_{DM}, C'_{EM}]$.

The essence of the adaptive algorithm is in optimizing the variation of the initial values of data $\alpha, \alpha', \beta, \gamma, \gamma', AB$, at which the absolute and relative errors of the coordinates of the inaccessible point satisfy the error values set by the customer (0.0001-1.2%)

The proposed approach is verified using real experimental data.

Keywords: an object; point; extremum; directional ray; collimating ray; coordinates of a point; geometrical model; analytical model.