

УДК 721.02.23

## МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ АДАПТИВНОЕ ОСНОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕДОСТУПНОГО ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО КОНТАКТА ОБЪЕКТА

Браилов А.Ю., д.т.н., ст.науч.сотр.,  
[brailov@gmail.com](mailto:brailov@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5021-8372

Панченко В.И.\*,  
[gb126t@gmail.com](mailto:gb126t@gmail.com)

Одесская государственная академия строительства и архитектуры  
(Украина)

*В исследовании разработаны комбинированная геометрическая модель для наиболее общего взаимного расположения исследуемого компонента реконструируемого объекта относительно геодезического оборудования и математическое основание обработки экспериментальных данных в определении параметров недоступной точки объекта. Выявлена проблема и поставлены первостепенные задачи. Суть проблемы состоит в объективном противоречии между необходимостью получения точного значения определяемого параметра и наличием погрешности при любом измерении.*

*Задачи статьи: 1. Разработать комбинированную геометрическую модель для наиболее общего взаимного расположения исследуемого компонента объекта относительно геодезического оборудования. 2. Разработать структуру алгоритмического обеспечения обработки экспериментальных данных определения параметров недоступной точки объекта. 3. Определить содержание каждого структурного блока разработанного алгоритмического обеспечения. Эффективность разработанной комбинированной геометрической модели проверена при решении задачи определения координат двух недоступных точек  $C$  и  $C'$ , расположенных на перпендикуляре к горизонтальной плоскости  $\Pi_1$ . Разработанное алгоритмическое обеспечение структурно состоит из семи блоков. Содержание каждого структурного блока соответствует разработанной оптимизационной аналитической модели определения области значений параметров недоступной точки объекта.*

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

**Актуальность исследования.** Формирование паспорта (удостоверения, сертификата) реконструируемых или восстанавливаемых

---

\* Научный руководитель – д.т.н., с.н.с, проф. Браилов А.Ю.

исторических объектов требует определения их геометрических параметров. Примерами таких параметров являются высота объекта и размеры охранной зоны. Поскольку параметры исторического объекта заносятся в публичные справочные документы, разработка эффективного алгоритмического обеспечения обработки экспериментальных данных для определения значений требуемых параметров актуальна [1-3].

**Постановка проблемы.** Постоянно возрастающие требования к точности определения параметров исторических объектов порождают необходимость совершенствования используемых геометрических и аналитических моделей. Основная проблема заключается в объективном *противоречии* между необходимостью получения *точного* значения определяемого параметра и наличием *погрешности* при любом измерении.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Трехмерная и двухмерная геометрические модели экспериментального определения координат точки объекта предложены в проведенных исследованиях [2, 3].

**Геометрическая модель измерений** – это модель, связывающая визирными лучами и их проекциями измерительные приборы и объект исследования в определенной системе координат с плоскостями проекций [3, 4].

Для геометрических моделей [3, 4] разработано аналитическое основание определения параметров недоступной точки объекта [5].

В тоже время, особенности компонентов реконструируемых объектов и их взаимного расположения относительно геодезического оборудования требуют развития используемых геометрических моделей и математико-алгоритмического основания для получения значения определяемого параметра.

**Формулирование статьи.** Цель настоящей работы — разработать комбинированную геометрическую модель и соответствующее этой модели математико-алгоритмическое основание для обработки экспериментальных данных в определении значений параметров недоступной точки объекта.

**Задачи статьи:** 1. Разработать комбинированную геометрическую модель для наиболее общего взаимного расположения исследуемого компонента относительно геодезического оборудования. 2. Разработать структуру алгоритмического обеспечения обработки экспериментальных данных определения параметров недоступной точки объекта. 3. Определить содержание каждого структурного блока разработанного математико-алгоритмического обеспечения.

**Основная часть.** Пусть решается задача определения координат двух недоступных точек  $C$  и  $C'$ , расположенных на перпендикуляре к горизонтальной плоскости  $\Pi_1$ .

В соответствии с разработанной комбинированной геометрической моделью измерений (рис. 1) определяются значения углов  $\alpha, \beta, \gamma, \alpha', \gamma'$  и расстояние  $AB$  между точками  $A$  и  $B$ .

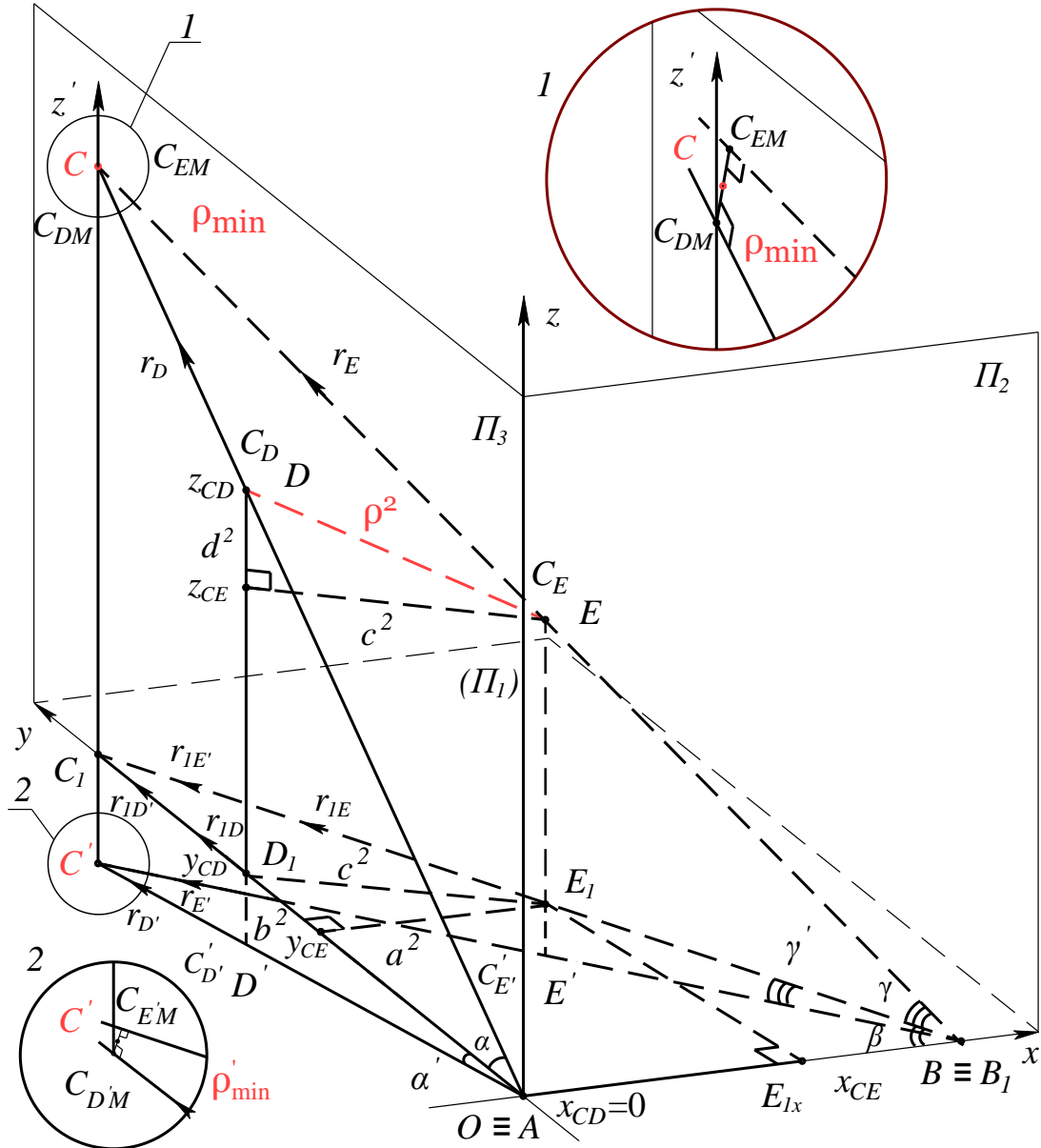


Рис. 1. Комбинированная геометрическая модель измерений

Угол  $\alpha$  – это угол между визирным лучом  $r_D$ , направленным в точку  $C$ , и осью  $Oy$ , совпадающей с горизонтальной плоскостью  $\Pi_1$ .

Угол  $\alpha'$  – это угол между визирным лучом  $r_{D'}$ , направленным в точку  $C'$ , и осью  $Oy$ , совпадающей с горизонтальной плоскостью  $\Pi_1$ .

Угол  $\gamma$  – это угол между визирным лучом  $r_E$ , направленным в точку  $C$ , и его проекцией  $r_{IE}$  на горизонтальную плоскость  $\Pi_1$ .

Угол  $\gamma'$  – это угол между визирным лучом  $r_{E'}$ , направленным в точку  $C'$ , и его проекцией  $r_{IE'}$  на горизонтальную плоскость  $\Pi_1$ .

Угол  $\beta$  – это угол между проекцией  $r_{IE}$  визирного луча  $r_E$  на горизонтальную плоскость  $\Pi_1$  и осью  $Ox$ , совпадающей с горизонтальной плоскостью  $\Pi_1$ .

Расстояние  $AB$  – это расстояние между точками  $A$  и  $B$ , принадлежащими горизонтальной плоскости  $\Pi_1$ .

Измерительные приборы (тахеометр, теодолит, нивелир) представляют значение угла в градусах, минутах и секундах: *град*, *мин*, *сек*.

Для практических расчетов необходимо определить в виде десятичного дробного числа сумму  $x$  дробной минутной доли  $x'$  и дробной секундной доли  $x''$  градуса:

$$x = x' + x'', \quad (1)$$

где  $x' = \text{мин} / 60$ , (2)

$$x'' = \text{сек} / 60. \quad (3)$$

Десятичное дробное число в градусах (*дград*) состоит из суммы целой части градусов (*град*) и добавленной суммы  $x$  дробной минутной доли  $x'$  с дробной секундной долей  $x''$ :

$$\text{дград} = \text{град} + x. \quad (4)$$

Пример. Пусть угол  $\beta = 44^\circ 20' 19''$

$$x' = \text{мин} / 60 = 20 / 60 = 0,333; \quad x'' = \text{сек} / 60 = 19 / 60 = 0,317;$$

$$x = x' + x'' = 0,333 + 0,317 = 0,65; \quad \text{дград} = \text{град} + x = 44 + 0,65 = 44,65^\circ.$$

В решаемой задаче с двумя недоступными точками  $C$  и  $C'$  (Рис. 1) на основании определенных прямыми измерениями шести параметров  $\alpha$ ,  $\alpha'$ ,  $AB = |A_1B_1|$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma'$  необходимо рассчитать координаты  $x_C, y_C, z_C$  недоступной точки  $C(x_C, y_C, z_C)$  и координаты  $x_{C'}, y_{C'}, z_{C'}$  недоступной точки  $C'(x_{C'}, y_{C'}, z_{C'})$ .

Разработанное математико-алгоритмическое обеспечение (алгоритм) состоит из пяти основных блоков (Рис. 2), шестого блока для адаптивного решения задачи по критерию требуемой минимальной относительной погрешности и седьмого блока регистрации полученного результата.

Назначение первого блока состоит в определении координат исходных шести точек  $A, B, D, E, D', E'$  комбинированной геометрической модели по шести параметрам  $\alpha, \alpha', AB, \beta, \gamma, \gamma'$  прямых измерений.

Назначение второго блока заключается в определении области с искомыми координатами  $x_C, y_C, z_C$  недоступной точки  $C(x_C, y_C, z_C)$  исследуемого объекта по координатам исходных точек  $A, B, D, E$ .

Назначение третьего блока заключается в определении области с искомыми координатами  $x_{C'}, y_{C'}, z_{C'}$  недоступной точки  $C'(x_{C'}, y_{C'}, z_{C'})$  исследуемого объекта по координатам исходных точек  $A, B, D', E'$ .

Назначение четвертого блока заключается в определении численных значений координат  $x_C, y_C, z_C, x_{C'}, y_{C'}, z_{C'}$  недоступных точек  $C, C'$  и расчете целевого параметра. Например, таким целевым параметром является расстояния  $|CC'|$  между точками  $C$  и  $C'$ .

Пятый блок предназначен для определения погрешностей расчетов.

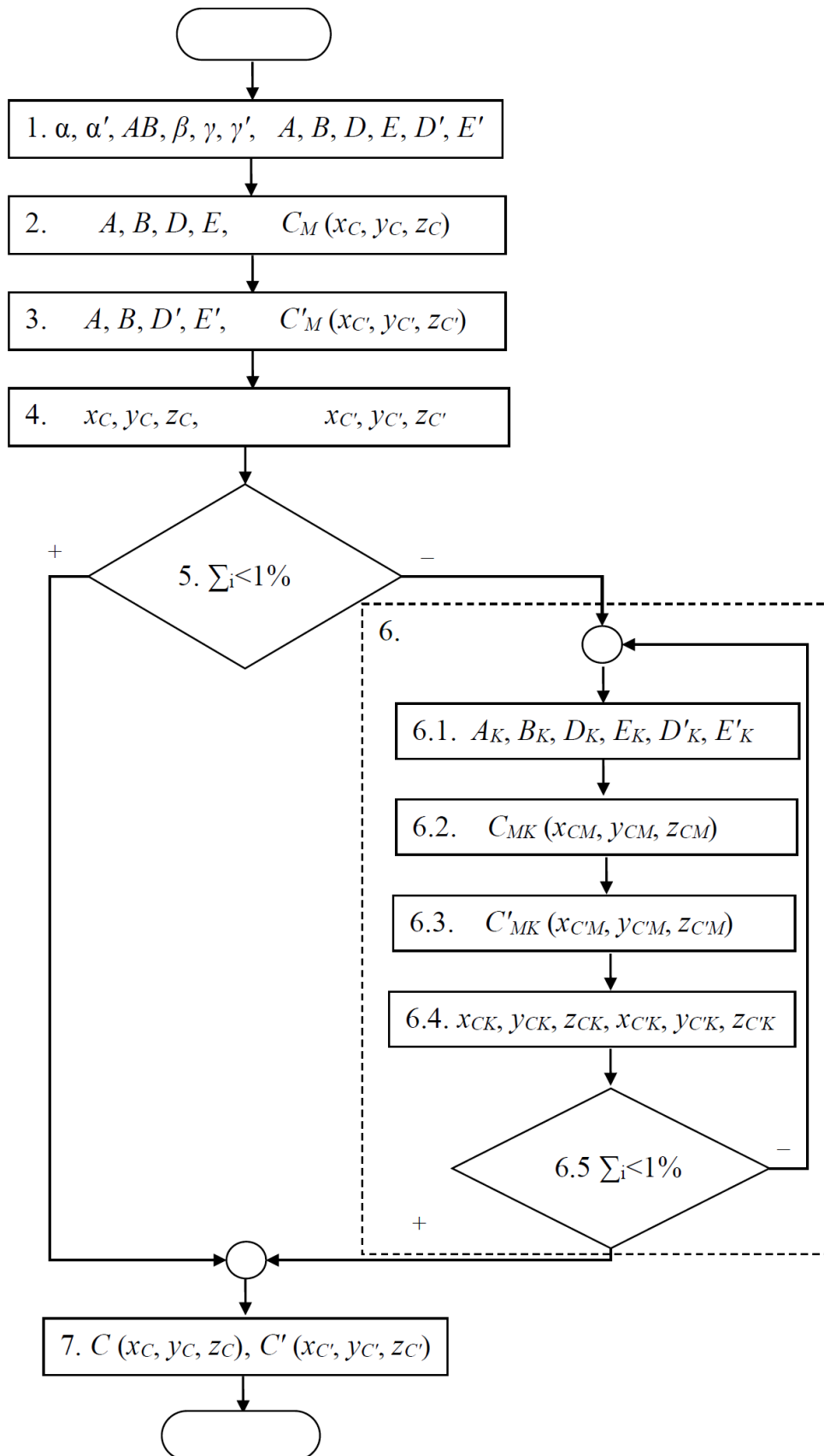


Рис. 2. Структура математико-алгоритмического обеспечения

Расчет координат исходных точек  $A, B, D, E$  комбинированной геометрической модели по четырем данным прямым измерениям (*первый блок*) выполняется в пять этапов. Расстояния  $|A_1D_1|$ ,  $|B_1E_1|$  равны приблизительно одной трети расстояния от станции до объекта.

1. Рассчитывается координата  $z_D$  точки  $D$ :

$$z_D = |A_1D_1| \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (5)$$

2. Рассчитывается координата  $y_E$  точки  $E$ :

$$y_E = |B_1E_1| \cdot \sin \beta. \quad (6)$$

3. Рассчитывается координата  $z_E$  точки  $E$ :

$$z_E = |B_1E_1| \cdot \operatorname{tg} \gamma. \quad (7)$$

4. Для расчета длины  $|A_1E_{1x}|$  отрезка  $A_1E_{1x}$  рассчитывается длина  $|E_{1x}B_1|$  отрезка  $E_{1x}B_1$ :

$$|E_{1x}B_1| = |B_1E_1| \cdot \cos \beta. \quad (8)$$

5. Значение координат  $x_E$  точки  $E$  численно равно длине  $|A_1E_{1x}|$  отрезка  $A_1E_{1x}$ . Длину отрезка  $A_1E_{1x}$  можно определить, как разность длин  $|A_1B_1|$ , и  $|E_{1x}B_1|$ , отрезков  $A_1B_1$  и  $E_{1x}B_1$ :  $|A_1E_{1x}| = x_E$ ,  $|A_1E_{1x}| = |A_1B_1| - |E_{1x}B_1|$ .

$$x_E = |A_1B_1| - |E_{1x}B_1|. \quad (9)$$

Аналогично рассчитываются координаты исходных точек  $D'$  и  $E'$ .

6. Координата  $z_{D'}$  точки  $D'$  рассчитывается по формуле:

$$z_{D'} = |A_1D_1| \cdot \operatorname{tg} \alpha'. \quad (10)$$

7. Координата  $y_{E'}$  точки  $E'$  рассчитывается по формуле:

$$y_{E'} = |B_1E_1| \cdot \sin \beta. \quad (11)$$

8. Координата  $z_{E'}$  точки  $E'$  рассчитывается по формуле:

$$z_{E'} = |B_1E_1| \cdot \operatorname{tg} \gamma'. \quad (12)$$

9. Рассчитывается длина отрезка  $|E'_{1x}B_1|$ :

$$|E'_{1x}B_1| = |E_{1x}B_1| = |B_1E_1| \cdot \cos \beta. \quad (13)$$

10. Координата  $x_{E'}$  рассчитывается по формуле:

$$x_{E'} = x_E = |A_1B_1| - |E_{1x}B_1|. \quad (14)$$

Таким образом, после выполнения первого блока определены значения координат всех шести исходных точек  $A(x_A, y_A, z_A)$ ,  $B(x_B, y_B, z_B)$ ,  $D(x_D, y_D, z_D)$ ,  $E(x_E, y_E, z_E)$ ,  $D'(x_{D'}, y_{D'}, z_{D'})$ ,  $E'(x_{E'}, y_{E'}, z_{E'})$ .

По этим исходным координатам, в соответствии с разработанной оптимизационной моделью, во втором блоке алгоритма рассчитывается величина области с координатами  $x_C, y_C, z_C$  точки  $C(x_C, y_C, z_C)$  и в третьем блоке определяется область с координатами  $x_{C'}, y_{C'}, z_{C'}$  точки  $C'(x_{C'}, y_{C'}, z_{C'})$ .

*Второй блок* алгоритма состоит из 14 этапов.

11. Рассчитываются координаты  $r_{Dx}, r_{Dy}, r_{Dz}$  направляющего вектора  $r_D$  по формулам:

$$r_{Dx} = x_D - x_A, r_{Dy} = y_D - y_A, r_{Dz} = z_D - z_A, \quad (15)$$

где  $x_D, y_D, z_D$  – координаты точки  $D$ , принадлежащей визирному лучу  $AC$ :  
 $x_A, y_A, z_A$  – координаты точки  $A$ .

12. Рассчитываются координаты  $r_{Ex}, r_{Ey}, r_{Ez}$  направляющего вектора  $r_E$  по формулам:

$$r_{Ex} = x_E - x_B, r_{Ey} = y_E - y_B, r_{Ez} = z_E - z_B, \quad (16)$$

где  $x_E, y_E, z_E$  – координаты точки  $E$ , принадлежащей визирному лучу  $BC$ :  
 $x_B, y_B, z_B$  – координаты точки  $B$ .

13. Рассчитывается коэффициент  $a_{11}$ :

$$a_{11} = r_{Dx}^2 + r_{Dy}^2 + r_{Dz}^2. \quad (17)$$

14. Рассчитывается коэффициент  $a_{22}$ :

$$a_{22} = r_{Ex}^2 + r_{Ey}^2 + r_{Ez}^2. \quad (18)$$

15. Рассчитываются коэффициенты  $a_{12} = a_{21}$ :

$$a_{12} = a_{21} = (r_{Ex} \cdot r_{Dx} + r_{Ey} \cdot r_{Dy} + r_{Ez} \cdot r_{Dz}). \quad (19)$$

16. Рассчитывается значение свободного члена  $C_1$ :

$$C_1 = -[(x_D - x_E) \cdot r_{Dx} + (y_D - y_E) \cdot r_{Dy} + (z_D - z_E) \cdot r_{Dz}]. \quad (20)$$

17. Рассчитывается свободный член  $C_2$ :

$$C_2 = [(x_D - x_E) \cdot r_{Ex} + (y_D - y_E) \cdot r_{Ey} + (z_D - z_E) \cdot r_{Ez}]. \quad (21)$$

18. Рассчитывается определитель  $\Delta$ :

$$\Delta = a_{11} \cdot a_{22} - a_{12} \cdot a_{21}. \quad (22)$$

19. Рассчитывается определитель  $\Delta_1$ :

$$\Delta_1 = C_1 \cdot a_{22} - a_{12} \cdot C_2. \quad (23)$$

20. Рассчитывается определитель  $\Delta_2$ :

$$\Delta_2 = C_2 \cdot a_{11} - a_{21} \cdot C_1. \quad (24)$$

21. Рассчитывается параметр:

$$t_{CD} = \Delta_1 / \Delta. \quad (25)$$

22. Рассчитывается параметр:

$$t_{CE} = \Delta_2 / \Delta. \quad (26)$$

23. Рассчитываются координаты  $x_{EM}, y_{EM}, z_{EM}$  для точки  $C_{EM}$  луча  $BC$ :

$$x_{DM} = r_{Dx} \cdot t_{CD} + x_D; y_{DM} = r_{Dy} \cdot t_{CD} + y_D; z_{DM} = r_{Dz} \cdot t_{CD} + z_D. \quad (27)$$

24. Рассчитываются координаты  $x_{DM}, y_{DM}, z_{DM}$  для точки  $C_{DM}$  луча  $AC$ :

$$x_{EM} = r_{Ex} \cdot t_{CE} + x_E; y_{EM} = r_{Ey} \cdot t_{CE} + y_E; z_{EM} = r_{Ez} \cdot t_{CE} + z_E. \quad (28)$$

Таким образом, определены координаты граничных точек отрезка  $[C_{DM}, C_{EM}]$  с минимальной величиной расстояния между скрещивающимися визирными лучами  $AC$  и  $BC$ .

*Третий блок* алгоритма аналогичен второму блоку.

25. Рассчитываются координаты  $r_{D'x}, r_{D'y}, r_{D'z}$  направляющего вектора  $r_{D'}$ :

$$r_{D'x} = x_{D'} - x_A, r_{D'y} = y_{D'} - y_A, r_{D'z} = z_{D'} - z_A. \quad (29)$$

26. Рассчитываются координаты  $r_{E'x}$ ,  $r_{E'y}$ ,  $r_{E'z}$  направляющего вектора  $r_{E'}$ :

$$r_{E'x} = x_{E'} - x_B, \quad r_{E'y} = y_{E'} - y_B, \quad r_{E'z} = z_{E'} - z_B. \quad (30)$$

27. Рассчитывается коэффициент  $a'_{11}$ :

$$a'_{11} = (r_{D'x}^2 + r_{D'y}^2 + r_{D'z}^2). \quad (31)$$

28. Рассчитывается коэффициент  $a'_{22}$ :

$$a'_{22} = (r_{E'x}^2 + r_{E'y}^2 + r_{E'z}^2). \quad (32)$$

29. Рассчитываются коэффициенты  $a'_{12} = a'_{21}$ :

$$a'_{12} = a'_{21} = -(r_{E'x} \cdot r_{D'x} + r_{E'y} \cdot r_{D'y} + r_{E'z} \cdot r_{D'z}). \quad (33)$$

30. Рассчитывается свободный член  $C'_1$ :

$$C'_1 = -[(x_{D'} - x_{E'}) \cdot r_{D'x} + (y_{D'} - y_{E'}) \cdot r_{D'y} + (z_{D'} - z_{E'}) \cdot r_{D'z}]. \quad (34)$$

31. Рассчитывается свободный член  $C'_2$ :

$$C'_2 = [(x_{D'} - x_{E'}) \cdot r_{D'x} + (y_{D'} - y_{E'}) \cdot r_{D'y} + (z_{D'} - z_{E'}) \cdot r_{D'z}]. \quad (35)$$

32. Рассчитывается определитель  $\Delta'$ :

$$\Delta' = a'_{11} \cdot a'_{22} - a'_{12} \cdot a'_{21}. \quad (36)$$

33. Рассчитывается определитель  $\Delta'_1$ :

$$\Delta'_1 = C'_1 \cdot a'_{22} - a'_{12} \cdot C'_2. \quad (37)$$

34. Рассчитывается определитель  $\Delta'_2$ :

$$\Delta'_2 = C'_2 \cdot a'_{11} - a'_{21} \cdot C'_1. \quad (38)$$

35. Рассчитывается параметр  $t'_{CD}$ :

$$t'_{CD} = \frac{\Delta'_1}{\Delta'}. \quad (39)$$

36. Рассчитывается параметр  $t'_{CE'}$ :

$$t'_{CE'} = \frac{\Delta'_2}{\Delta'}. \quad (40)$$

37. Рассчитываются координаты  $x_{D'M}$ ,  $y_{D'M}$ ,  $z_{D'M}$  для точки  $C'_{D'M}$  луча  $AC'$ :

$$x_{D'M} = r_{D'x} \cdot t'_{CD} + x_{D'}; \quad y_{D'M} = r_{D'y} \cdot t'_{CD} + y_{D'}; \quad z_{D'M} = r_{D'z} \cdot t'_{CD} + z_{D'}. \quad (41)$$

38. Рассчитываются координаты  $x_{E'M}$ ,  $y_{E'M}$ ,  $z_{E'M}$  для точки  $C'_{E'M}$  луча  $BC'$ :

$$x_{E'M} = r_{E'x} \cdot t'_{CE'} + x_{E'}; \quad y_{E'M} = r_{E'y} \cdot t'_{CE'} + y_{E'}; \quad z_{E'M} = r_{E'z} \cdot t'_{CE'} + z_{E'}. \quad (42)$$

Таким образом, определены координаты граничных точек перпендикуляра  $[C'_{D'M}, C'_{E'M}]$  минимальной длины между скрещивающимися визирными лучами  $AC'$  и  $BC'$ .

В четвертом блоке определяются численные значения координат точек  $C$  и  $C'$ , расположенных, например, в серединах минимальных перпендикуляров между скрещивающимися лучами  $AC$  и  $BC$ , а также лучами  $AC'$  и  $BC'$ .

39. Например, координаты  $x_C$ ,  $y_C$ ,  $z_C$  недоступной точки  $C$  можно рассчитать по формулам:



$$x_C = (x_{DM} + x_{EM})/2, \quad (43)$$

$$y_C = (y_{DM} + y_{EM})/2, \quad (44)$$

$$z_C = (z_{DM} + z_{EM})/2. \quad (45)$$

40. Координаты  $x_{C'}$ ,  $y_{C'}$ ,  $z_{C'}$  недоступной точки  $C'$  можно рассчитать по формулам:

$$x_{C'} = (x_{D'M} + x_{E'M})/2, \quad (46)$$

$$y_{C'} = (y_{D'M} + y_{E'M})/2, \quad (47)$$

$$z_{C'} = (z_{D'M} + z_{E'M})/2. \quad (48)$$

Если точка  $C'$  расположена ниже горизонтальной плоскости  $\Pi_l$ , то координата  $z_{C'}$  должна иметь отрицательное значение.

Если конструкция строго вертикальная и точки  $C$ ,  $C'$  расположены на одном перпендикуляре к горизонтальной плоскости  $\Pi_l$ , то координаты  $y_C$  и  $y_{C'}$  должны быть равны.

Таким образом, при определении координат недоступных точек в минимальных областях необходимо учитывать особенности исследуемого объекта.

В частности, определяется расстояние между точками  $C$ ,  $C'$ .

В пятом блоке разработанного алгоритма рассчитываются абсолютные и относительные погрешности.

41. Абсолютные погрешности  $\Delta_x$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_z$  определенных координат точки  $C$  ( $x_C$ ,  $y_C$ ,  $z_C$ ) имеют вид:

$$\Delta_x = |x_{DM} - x_{EM}|/2, \quad (49)$$

$$\Delta_y = |y_{DM} - y_{EM}|/2, \quad (50)$$

$$\Delta_z = |z_{DM} - z_{EM}|/2. \quad (51)$$

42. Относительные погрешности для  $C$  имеют вид:

$$\sum_x = \frac{\Delta_x}{|x_C|} \cdot 100, \quad (52)$$

$$\sum_y = \frac{\Delta_y}{|y_C|} \cdot 100, \quad (53)$$

$$\sum_z = \frac{\Delta_z}{|z_C|} \cdot 100. \quad (54)$$

43. Абсолютные погрешности  $\Delta'_x$ ,  $\Delta'_y$ ,  $\Delta'_z$  определенных координат точки  $C'$  ( $x_{C'}$ ,  $y_{C'}$ ,  $z_{C'}$ ) имеют вид:

$$\Delta'_x = |x_{D'M} - x_{E'M}|/2, \quad (55)$$

$$\Delta'_y = |y_{D'M} - y_{E'M}|/2, \quad (56)$$

$$\Delta'_z = |z_{D'M} - z_{E'M}|/2. \quad (57)$$

44. Относительные погрешности для  $C'$  имеют вид:

$$\sum'_x = \frac{\Delta'_x}{|x_{C'}|} \cdot 100, \quad (58)$$

$$\sum_y' = \frac{\Delta_y'}{|y_c|} \cdot 100, \quad (59)$$

$$\sum_z' = \frac{\Delta_z'}{|z_c|} \cdot 100. \quad (60)$$

**Выводы.** 1. В настоящем исследовании разработана комбинированная геометрическая модель для наиболее общего взаимного расположения исследуемого компонента реконструируемого объекта относительно геодезического оборудования.

2. Разработана структура математико-алгоритмического обеспечения обработки экспериментальных данных определения параметров недоступной точки объекта.

3. Определено содержание каждого структурного блока разработанного математико-алгоритмического основания.

### **Литература**

1. Браилов А.Ю., Панченко В.И. Обоснование построения геометрической модели крыши исторического здания. *Сучасні проблеми геометричного моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2015. С. 23–29.
2. Браилов А.Ю., Панченко В.И. К вопросу проектирования конструктивных компонентов в строительстве. *Проблемы техники*. Одесса: ОНМУ, 2015. № 2. С. 55–62.
3. Браилов А. Ю., Панченко В. И., Устьянский В. А. Геометрическая модель определения координат точек кровли исторического здания. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон: ХНТУ, 2016. Вип. 3(58). С. 482–486.
4. Браилов А.Ю., Панченко В.И., Косенко С. И. Анализ геометрической модели определения параметров недоступной точки объекта. *Сучасні проблеми моделювання. Технічні науки*. Мелітополь, 2019. Вип. 14. С. 38–47.
5. Браилов А.Ю., Панченко В.И. Аналитическое основание геометрической модели измерений параметров недоступной точки объекта. *Вестник Херсонского национал. техн. ун-та*. Херсон: ХНТУ, 2019. Вып.2[69]. Ч. 3. С. 237-243.

## **МАТЕМАТИКО-АЛГОРИТМІЧНЕ АДАПТИВНЕ ОСНОВАННЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НЕДОСТУПНОГО ДЛЯ БЕЗПОСЕРЕДНЬОГО КОНТАКТУ ОБ'ЄКТУ**

Браілов О. Ю., Панченко В. І.

У даному дослідженні в комплексі розроблені комбінована геометрична модель для найбільш загального взаємного розташування досліджуваного компонента реконструйованого об'єкта відносно

геодезичного обладнання та математичне забезпечення обробки експериментальних даних у визначенні параметрів недоступної точки об'єкта. Виявлено проблему і поставлені першочергові задачі. Суть проблеми полягає в об'єктивному протиріччі між необхідністю отримання точного значення потрібного параметра і наявністю похибок при будь-якому вимірюванні. Мета даної роботи — розробити комбіновану геометричну модель і відповідне цій моделі аналітичне забезпечення обробки експериментальних даних у визначенні параметрів недоступної точки об'єкта. Задачі статті: 1. Розробити комбіновану геометричну модель для найбільш загального взаємного розташування досліджуваного компонента об'єкта відносно геодезичного обладнання. 2. Розробити структуру алгоритмічного забезпечення обробки експериментальних даних визначення параметрів недоступної точки об'єкта. 3. Визначити зміст кожного структурного блоку розробленого алгоритмічного забезпечення. Ефективність розробленої комбінованої геометричної моделі перевірена при вирішенні задачі визначення координат двох недоступних точок  $C$  і  $C'$ , розташованих на перпендикулярі до горизонтальної площини  $\Pi_1$ . Розроблене алгоритмічне забезпечення структурно складається з семи блоків. Зміст кожного структурного блоку розробленого алгоритмічного забезпечення відповідає розробленій оптимізаційній аналітичній моделі визначення області значень параметрів недоступної точки об'єкта.

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

## **MATHEMATICAL-ALGORITHMIC ADAPTIVE FOUNDATION FOR SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINING OF THE PARAMETERS OF AN INACCESSIBLE OBJECT**

Alexander Brailov, V. Panchenko

*The present study deal with the development of the combined geometrical model for the most general location of an investigated component of the reconstructed object with respect to the location of the geodetic equipment and, in a complex, mathematical foundations for the processing of experimental data obtained in the determination of the parameters of an inaccessible point of an object. The common issues are revealed and essential steps towards their resolutions are identified. The essence of the problem is in the unavoidable contradiction between a need of obtaining the exact value of the determined parameter and an error involved in any measurement. The objective of the present work is to develop a combined geometrical model and mathematical foundations for the processing of experimental data of the determination of the parameters of an inaccessible point of an object corresponding to this model. The objective is achieved in three steps: 1. Development of a combined geometrical*

model for the most general relative location of the location of the geodetic equipment and the investigated object. 2. Development of a structure of mathematical foundations for the processing of experimental data obtained in the determination of parameters of an inaccessible point using the developed three-dimensional geometrical model with crossed directional rays. 3. Development of the content of each structural block of the developed mathematical foundations. Efficiency of the developed combined geometrical model is verified in the course of the solution of the problem of determination of coordinates of two inaccessible points  $C$  and  $C'$ , located on a perpendicular to horizontal plane  $\Pi_1$ . The mathematical foundations structurally consist of seven blocks.

The content of each structural block corresponds to the developed optimizing analytical model of determination of domain (area) of values of the parameters of an inaccessible point of an object.

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

### **References**

1. Brailov, A.Yu., Panchenko, V.I. (2015) Justification for constructing a geometric model of the roof of a historic building. *Praci Melitopol'skogo derzhavnogo pedagogichnogo universitetu im. B. Hmel'nic'kogo, Suchasni problemi geometrichnogo modeljuvannja*, 23-29 [in Russian].
2. Brailov, A.Yu., Panchenko, V.I. (2015) On the issue of designing structural components in construction. *Problemy tehniki*, 2, 55–62 [in Russian].
3. Brailov, A.Yu., Panchenko, V.I., Ustyanski, V.A. (2016) Geometric model for determining the coordinates of the points of the roof of a historic building. *Vestnik Hersonskogo of national technical university*, 3 (58), 482-486 [in Russian].
4. Brailov, A.Yu., Panchenko, V.I., Kosenko, S.I. (2019) Analyze of geometrical model of definition of parameters of an inaccessible point. *Suchasni problems of modeling*, 14, 38-47 [in Russian].
5. Brailov, A.Yu., Panchenko, V.I. (2019) The Analytical basis of geometrical model of measurements of parameters of an inaccessible point of object. *Vestnik Hersonskogo of national technical university*, 2 [69], Part 3, 237-243 [in Russian].