

жением: монография. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2009. – 108 с.

7. Исаков, П.П. Электро-механические трансмиссии гусеничных тракторов / П.П. Исаков, П.Н. Иванченко, А.Д. Егоров. – Л.: Машиностроение, 1981. – 302 с.

8. Овчинников, И.Е. Вентильные электрические двигатели и приводы на их основе / Курс лекций. – СПб.: Корона-век, 2006. – 336 с.

### MATHEMATICAL MODEL OF MOTION OF A MILITARY TRACKED VEHICLE WITH COMBINED POWER INSTALLATION

V.V. Zakharov

**Abstract.** The article investigates the process of military tracked vehicle movement with a combined power plant. The proposed mathematical model allows to study curved, controlled movement of military tracked vehicle and its components: an internal combustion engine, the generator, the traction motors. Implementation of the proposed model approach, the most accurate method to determine the main parameters of the combined power plant, military tracked vehicle.

**Keywords:** military tracked vehicle mobility, energy storage, traction motors.

#### References

1. Aleksakov Yu.F. Prospects of equipment and weapons / Yu.F. Aleksakov military thought. // Military-theoretical journal, 2011.- 3 -1- s. 31-35.

2. Losik O.A. Are tanks future? // Arms and equipment. 2006-№1.

3. Sergeev, L.V. Theory tank / L.V. Sergeev. - Moscow: Publishing House of the Academy of Armored Forces, 1973. - 493 p.

4. Boldyrev, R.N. Side loads on the bearing rollers military tracked vehicle in a turn / RNBoldyrev, S. Kondakov // Herald of armored vehicles. - 1990. - № 12. - s. 29-32.

5. Kondakov, S.V. Simulation of motion bystrohodoy tracked vehicle with electric transmission SV Kondakov, BN Gomberg, S.V. Kondakov, LS Nosenko, OO Pavlovskaya // Vestnik of SU-SU. "Engineering" series. - 2012. - Vol. 18. - number 37 - Chelyabinsk: Acad. SUSU. - s. 26-31.

6. Kondakov, S.V. Increasing the mobility of high-speed tracked vehicle by automating the curvilinear motion control system: a monograph. - Chelyabinsk: Acad. South Ural State University, 2009. - 108 p.

7. Isakov, P.P. Electro-mechanical transmission track tractors / PP Isakov, PN Ivanchenko, A.D. Egorov. - L.: Engineering, 1981. - 302 p.

8. Ovchinnikov, I.E. Valve electric motors and drives on their basis / Lecture Course. - SPb.: Crown-Century, 2006. - 336 p.

*Захаров Виктор Викторович (Россия, г. Санкт-Петербург,) – адъюнкт, Военная академия МТО имени генерала армии А.В. Хрулева, (Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8, e-mail: autovic81@rambler.ru.)*

*Zakharov Victor Yiktorovich (Russian Federation, Sankt-Peterburg) - an associate, Military Academy material and technical support named after General A.V.Hruleva Army. (Sankt-Peterburg, embankment Makarova 8, e-mail: autovic81@rambler.ru)*

УДК 621.396.96(075.8)

## СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ДОРОЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ РАССТОЯНИЙ ДО ТРЕХ СПУТНИКОВ

М.С. Корытов<sup>1</sup>, В.С. Щербаков<sup>1</sup>, Р.Ю. Сухарев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия «СибАДИ», Омск, Россия

**Аннотация.** Приводится описание способа определения координат точки на поверхности земли на основе расстояний до трех спутников. Способ предназначен для определения координат дорожных и строительных машин на поверхности Земли при помощи системы глобального позиционирования Глонасс/GPS. Использован математический аппарат однородных координат. Применяется прием замены исходной постановки задачи решений системы из трех уравнений сфер в декартовых координатах на упрощенную при помощи дополнительных ограничений, накладываемых на направления осей координат. Решение упрощенной задачи выступает как этап решения исходной задачи. Выполнена вычислительная проверка разработанного способа, которая доказала его адекватность и работоспособность. Минимальное количество спутников Глонасс/GPS при использовании разработанного способа может быть снижено с четырех в известных методиках до трех.

**Ключевые слова:** спутниковая навигация, Глонасс, GPS, координаты, расстояние.

**Введение**

Повышение точности определения координат дорожных и строительных машин (ДСМ) на поверхности Земли при помощи системы глобального позиционирования Глонасс/GPS является актуальной задачей, решение которой по-

зволяет получить значительный экономический эффект при строительстве дорог.

При этом для однозначного определения координат точки в трехмерном пространстве с помощью дальномерного метода достаточно сигналов четырех спутников системы глобального позиционирования [1, 2, 3, 4, 5].

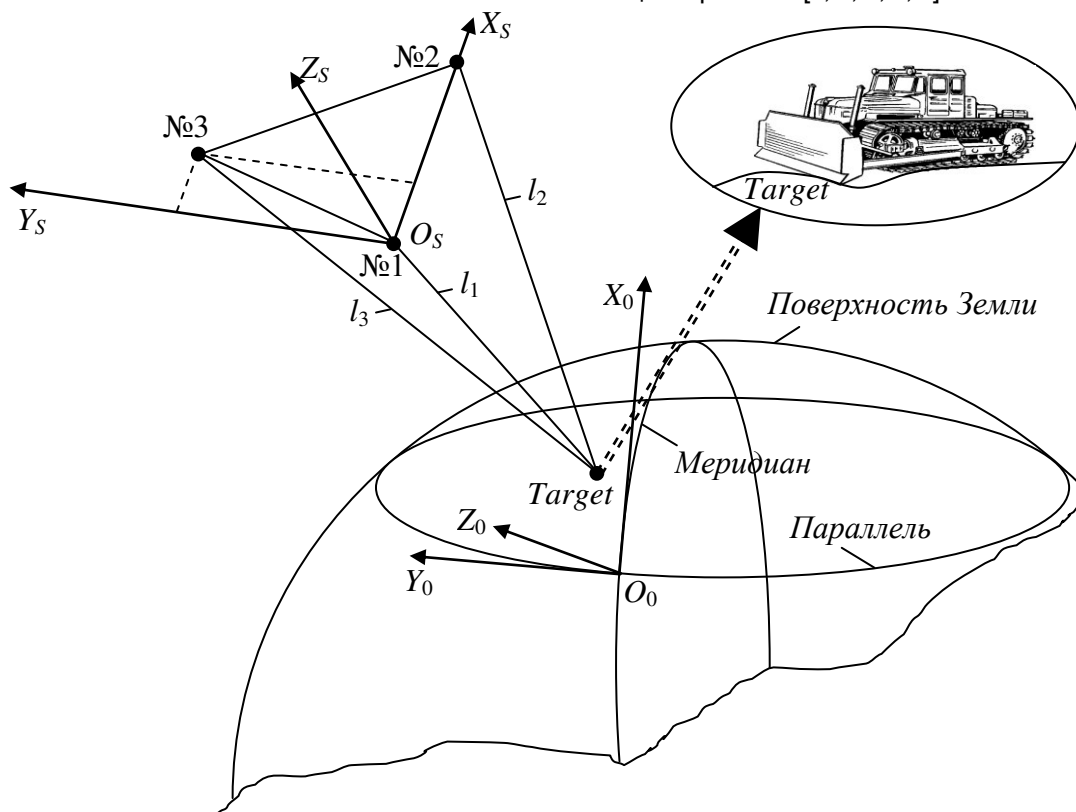


Рис. 1. Точка *Target* (ДСМ), три точки спутников и системы координат  $O_0X_0Y_0Z_0$  и  $O_SX_SY_SZ_S$

В научной литературе известно описание аналитического решения задачи определения координат точки по расстояниям до четырех спутников [1, 2, 3, 4, 5]. В данной работе предложен алгоритм вычисления координат точки, принадлежащей ДСМ, оборудованной датчиками Глонасс/GPS, по трем спутникам.

**Постановка задачи**

Имеется неподвижная правая ортогональная система координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ , связанная с Землей и находящаяся на ее поверхности. Ось  $O_0Z_0$  данной системы направлена вертикально вверх, оси  $O_0X_0$  и  $O_0Y_0$  расположены на плоскости и образуют правую ортогональную систему координат. Также на поверхности Земли имеется принадлежащая дорожной или строительной машине точка *Target*, координаты которой в системе  $O_0X_0Y_0Z_0$  необходимо найти. На геостационарных орбитах над поверхностью Земли на-

ходятся три искусственных спутника, чьи координаты в системе  $O_0X_0Y_0Z_0$  в любой момент времени известны:  $[x_{01}; y_{01}; z_{01}]$  для спутника № 1,  $[x_{02}; y_{02}; z_{02}]$  для спутника № 2 и  $[x_{03}; y_{03}; z_{03}]$  для спутника № 3.

Также известны три расстояния от трех спутников (спутники № 1, 2 и 3) до точки *Target*:  $l_1, l_2, l_3$  соответственно (рис. 1), измеренные при помощи Глонасс/GPS-датчика, находящегося в точке *Target*.

Необходимо определить координаты точки *Target*  $[x_{0T}; y_{0T}; z_{0T}]$  в неподвижной системе координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ , связанной с Землей.

**Замена исходной постановки задачи на упрощенную**

Использование прямого решения исходной задачи затруднено громоздкостью решений системы из трех уравнений сфер в декартовых координатах [1, 2, 5].

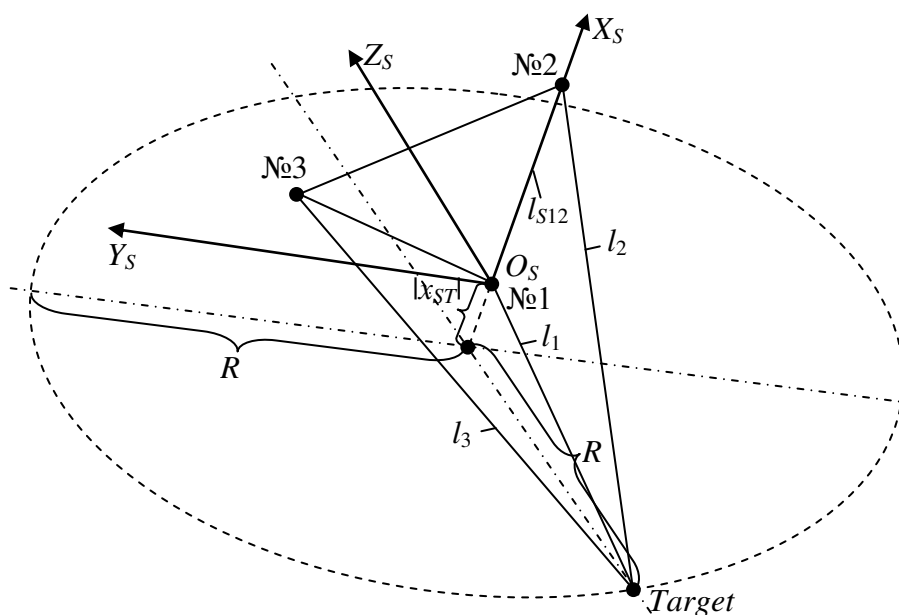


Рис. 2. Схема упрощенной задачи с дополнительными ограничениями

Для упрощения решения исходной задачи была использована упрощенная постановка задачи поиска решения в локальной системе координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ , связанной с точками текущего положения спутников № 1, 2 и 3.

Оси системы  $O_S X_S Y_S Z_S$  для упрощения выводимых зависимостей располагались следующим образом: ось  $O_S X_S$  соединяет точки расположения спутников № 1 и № 2, причем точка начала координат  $O_S$  совпадает с точкой спутника № 1. Точка спутника № 3 располагалась в плоскости  $O_S X_S Y_S$  (рис. 2).

Систему координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  можно расположить с соблюдением описанных ограничений при любых численных значениях координат трех спутников, т.е. для любой формы треугольника, образованного точками спутников.

При описанном расположении точек трех спутников в системе  $O_S X_S Y_S Z_S$ , необходимо найти координаты точки ДСМ  $Target [x_{ST}; y_{ST}; z_{ST}]$  в системе  $O_S X_S Y_S Z_S$ .

В качестве исходных данных упрощенной задачи с дополнительными ограничениями выступают: расстояния от трех спутников (спутники № 1, 2 и 3) до точки  $Target$ :  $l_1, l_2, l_3$  соответственно и координаты трех спутников в системе  $O_S X_S Y_S Z_S$ :  $[0; 0; 0]$  для спутника № 1,  $[x_{S2}; 0; 0]$  для спутника № 2 и  $[x_{S3}; y_{S3}; 0]$  для спутника № 3.

#### Решение упрощенной задачи с дополнительными ограничениями

1. Определяется расстояние  $l_{S12}$  от точки спутника № 1 до точки спутника № 2. С учетом принятых ограничений:

$$l_{S12} = x_{S2}. \quad (1)$$

2. Определяется значение полупериметра  $p$  треугольника, образованного точками двух спутников № 1, № 2, и точкой  $Target$ . Учитывая, что расстояния между точками №1– $Target$  и №2– $Target$  равны исходным данным  $l_1$  и  $l_2$  соответственно,  $p$  равен:

$$p = (l_1 + l_2 + l_{S12}) / 2. \quad (2)$$

3. Определяется высота  $R$  треугольника №1–№2– $Target$ , опущенная из точки  $Target$  на сторону №1–№2 треугольника. Используется формула длины высоты через стороны треугольника [6]:

$$R = \frac{2}{l_{S12}} \sqrt{p \cdot (p - l_{S12}) \cdot (p - l_1) \cdot (p - l_2)}. \quad (3)$$

Высота  $R$  одновременно является радиусом окружности, лежащей в плоскости, параллельной  $O_S Y_S Z_S$  с центром в точке, имеющей координаты  $[x_{ST}; 0; 0]$ .

4. Определяется значение координаты  $x_{ST}$  точки  $Target$  с использованием теоремы Пифагора [6] ( $\text{sgn}$  – функция знака числа):

$$x_{ST} = \text{sgn}(l_1 - l_2) \cdot \sqrt{l_1^2 - R^2}. \quad (4)$$

5. Формируется система двух уравнений координат точки *Target*, состоящая из уравнения окружности радиусом  $R$  с центром в точке с координатами  $[x_{ST}; 0; 0]$  и уравнения известного расстояния  $l_3$  между двумя точками *Target* и № 3:

$$\begin{cases} y_{ST}^2 + z_{ST}^2 = R^2; \\ \sqrt{(x_{S3} - x_{ST})^2 + (y_{S3} - y_{ST})^2 + (-z_{ST})^2} = l_3. \end{cases} \quad (5)$$

Неизвестными в системе (5) являются две координаты точки *Target*  $y_{ST}$  и  $z_{ST}$ .

6. Единственное решение системы (5) по  $y_{ST}$  имеет вид:

$$y_{ST} = (x_{S3}^2 - 2 \cdot x_{S3} \cdot x_{ST} + x_{ST}^2 + y_{S3}^2 + R^2 - l_3^2) / (2 \cdot y_{S3}). \quad (6)$$

7. Учитывая громоздкость выражений двух решений системы (5) по  $z_{ST}$ , модуль значения  $z_{ST}$  проще вычисляется из уравнения окружности:

$$|z_{ST}| = \sqrt{R^2 - y_{ST}^2}. \quad (7)$$

В результате решения упрощенной задачи с дополнительными ограничениями, по (4), (6) и (7) формируются вектора двух точек решения с координатами  $[x_{ST}; y_{ST}; +|z_{ST}|]$  и  $[x_{ST}; y_{ST}; -|z_{ST}|]$ .

**Решение исходной задачи**

Для решения исходной задачи с использованием в качестве составного этапа решения упрощенной задачи, применен метод однородных координат [2, 3, 7]. Коэффициент масштабирования принят равным 1.

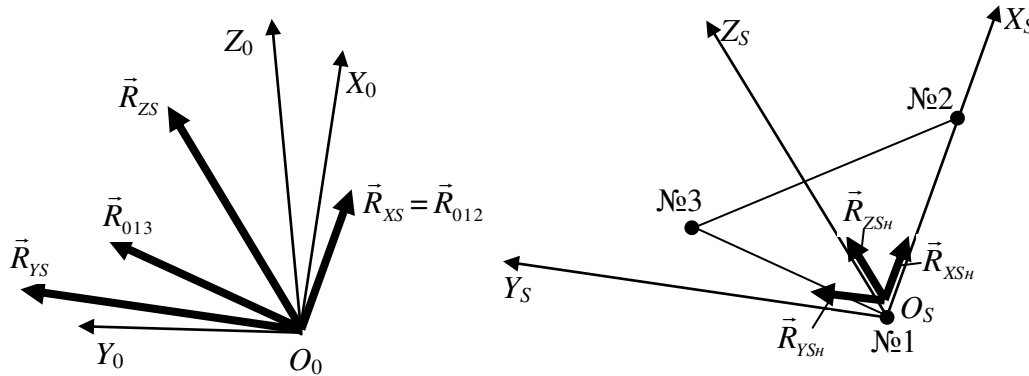


Рис. 3. Схема векторов, используемых для формирования матрицы перехода из системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  в систему координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$

1. На основе координат исходных данных  $[x_{01}; y_{01}; z_{01}]$  для спутника № 1,  $[x_{02}; y_{02}; z_{02}]$  для спутника № 2 и  $[x_{03}; y_{03}; z_{03}]$  для спутника № 3, в системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  форми-

руются два ненормированных вектора (рис. 3): направления от точки №1 к точке № 2:

$$\vec{R}_{012} = [x_{012}; y_{012}; z_{012}; 1]^T = [(x_{02} - x_{01}); (y_{02} - y_{01}); (z_{02} - z_{01}); 1]^T, \quad (8)$$

и направления от точки №1 к точке №3:

$$\vec{R}_{013} = [x_{013}; y_{013}; z_{013}; 1]^T = [(x_{03} - x_{01}); (y_{03} - y_{01}); (z_{03} - z_{01}); 1]^T, \quad (9)$$

Вектор  $\vec{R}_{XS} = [x_{XS}; y_{XS}; z_{XS}; 1]^T = \vec{R}_{012}$ , в соответствии с принятыми ограничениями для упрощенной задачи, будет параллелен оси  $O_S X_S$  локальной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ .

2. Векторное произведение векторов  $\vec{R}_{012}$  и  $\vec{R}_{013}$  представляет собой вектор  $\vec{R}_{ZS}$ , перпендикулярный одновременно  $\vec{R}_{012}$  и  $\vec{R}_{013}$  и, следовательно, в соответствии с принятыми ограничениями для упрощенной задачи, параллельный оси  $O_S Z_S$  локальной системы

координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ . Компоненты вектора  $\vec{R}_{ZS}$  согласно формулам векторного произведе-

дения в трехмерном пространстве [6] равны:

$$\vec{R}_{ZS} = \vec{R}_{012} \times \vec{R}_{013} = [x_{ZS}; y_{ZS}; z_{ZS}; 1]^T = \begin{bmatrix} y_{012} \cdot z_{013} - z_{012} \cdot y_{013} \\ z_{012} \cdot x_{013} - x_{012} \cdot z_{013} \\ x_{012} \cdot y_{013} - y_{012} \cdot x_{013} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

3. Векторное произведение векторов  $\vec{R}_{XS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$  представляет собой вектор  $\vec{R}_{YS}$ , перпендикулярный одновременно  $\vec{R}_{XS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$  и, следовательно, параллельный оси  $O_S Y_S$

локальной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ . Компоненты вектора  $\vec{R}_{YS}$  согласно формулам векторного произведения для образования правой ортогональной системы координат [6] равны:

$$\vec{R}_{YS} = \vec{R}_{XS} \times \vec{R}_{ZS} = [x_{YS}; y_{YS}; z_{YS}; 1]^T = \begin{bmatrix} z_{XS} \cdot y_{ZS} - y_{XS} \cdot z_{ZS} \\ x_{XS} \cdot z_{ZS} - z_{XS} \cdot x_{ZS} \\ y_{XS} \cdot x_{ZS} - x_{XS} \cdot y_{ZS} \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

В результате по (8), (10) и (11) в системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  формируются три ненормированных ортогональных вектора  $\vec{R}_{XS}$ ,  $\vec{R}_{YS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$ , направления которых совпадают с направлениями осей  $O_S X_S$ ,  $O_S Y_S$  и  $O_S Z_S$  соответственно системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  согласно принятым для упрощенной задачи ограничениям.

4. Для нормирования векторов  $\vec{R}_{XS}$ ,  $\vec{R}_{YS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$ , определяется модуль каждого из них:

$$|\vec{R}_{XS}| = \sqrt{x_{XS}^2 + y_{XS}^2 + z_{XS}^2}; \quad (12)$$

$$|\vec{R}_{YS}| = \sqrt{x_{YS}^2 + y_{YS}^2 + z_{YS}^2}; \quad (13)$$

$$|\vec{R}_{ZS}| = \sqrt{x_{ZS}^2 + y_{ZS}^2 + z_{ZS}^2}. \quad (14)$$

5. Выполняется нормирование векторов  $\vec{R}_{XS}$ ,  $\vec{R}_{YS}$  и  $\vec{R}_{ZS}$ , путем деления их компонентов на собственные модули:

$$\vec{R}_{XSH} = [x_{XSH}; y_{XSH}; z_{XSH}; 1]^T = \left[ x_{XS} / |\vec{R}_{XS}|; y_{XS} / |\vec{R}_{XS}|; z_{XS} / |\vec{R}_{XS}|; 1 \right]^T; \quad (15)$$

$$\vec{R}_{YSH} = [x_{YSH}; y_{YSH}; z_{YSH}; 1]^T = \left[ x_{YS} / |\vec{R}_{YS}|; y_{YS} / |\vec{R}_{YS}|; z_{YS} / |\vec{R}_{YS}|; 1 \right]^T; \quad (16)$$

$$\vec{R}_{ZSH} = [x_{ZSH}; y_{ZSH}; z_{ZSH}; 1]^T = \left[ x_{ZS} / |\vec{R}_{ZS}|; y_{ZS} / |\vec{R}_{ZS}|; z_{ZS} / |\vec{R}_{ZS}|; 1 \right]^T. \quad (17)$$

6. Согласно правилам преобразования прямоугольных систем координат [8], координаты ортов  $\vec{R}_{XSH}$ ,  $\vec{R}_{YSH}$  и  $\vec{R}_{ZSH}$  осей прямоугольной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$ , выраженные в прямоугольной системе  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ , будут являться элементами матрицы направляющих косинусов, описывающих повороты системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  относительно  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ .

Тогда в однородных координатах матрица  $A_{S0}$  перехода из локальной системы координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  к системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  будет иметь вид:

$$A_{S0} = \begin{bmatrix} x_{XSH} & x_{YSH} & x_{ZSH} & x_{01} \\ y_{XSH} & y_{YSH} & y_{ZSH} & y_{01} \\ z_{XSH} & z_{YSH} & z_{ZSH} & z_{01} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

7. Матрица  $A_{0S}$  перехода из системы координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$  к локальной системе координат  $O_S X_S Y_S Z_S$  будет являться матрицей, обратной к  $A_{S0}$  [9]:

$$A_{0S} = A_{S0}^{-1} = \frac{1}{|A_{S0}|} \cdot A_{S0}^T, \quad (19)$$

где  $|A_{S0}|$  – определитель матрицы  $A_{S0}$ ;  $A_{S0}^T$  – транспонированная матрица алгебраических дополнений соответствующих элементов матрицы  $A_{S0}$  [9].

8. Вектора трех точек расположения спутников, заданные в неподвижной системе координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ :  $\vec{R}_{01} = [x_{01}; y_{01}; z_{01}; 1]^T$  для спутника №1,  $\vec{R}_{02} = [x_{02}; y_{02}; z_{02}; 1]^T$  для спутника №2 и  $\vec{R}_{03} = [x_{03}; y_{03}; z_{03}; 1]^T$  для спутника №3 (исходные данные исходной задачи) выражаются в системе координат  $O_SX_SY_SZ_S$ :

$$\vec{R}_{S1} = [x_{S1}; y_{S1}; z_{S1}; 1]^T = A_{0S} \cdot \vec{R}_{01} \quad (20)$$

$$\vec{R}_{S2} = [x_{S2}; y_{S2}; z_{S2}; 1]^T = A_{0S} \cdot \vec{R}_{02}; \quad (21)$$

$$\vec{R}_{S3} = [x_{S3}; y_{S3}; z_{S3}; 1]^T = A_{0S} \cdot \vec{R}_{03}. \quad (22)$$

Ненулевыми компонентами данных векторов будут при этом являться только  $x_{S2}$ ,  $x_{S3}$  и  $y_{S3}$ , согласно дополнительным ограничениям упрощенной задачи.

9. Выполняется решение упрощенной задачи с дополнительными ограничениями по методике, изложенной выше. Формируются вектора двух точек решения с однородными координатами  $\vec{R}_{ST1} = [x_{ST1}; y_{ST1}; +|z_{ST1}|; 1]^T$  и  $\vec{R}_{ST2} = [x_{ST2}; y_{ST2}; -|z_{ST2}|; 1]^T$ .

10. Вектора  $\vec{R}_{ST1}$  и  $\vec{R}_{ST2}$  переводятся из локальной системы координат  $O_SX_SY_SZ_S$  в систему координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ :

$$\vec{R}_{T1} = [x_{T1}; y_{T1}; z_{T1}; 1]^T = A_{S0} \cdot \vec{R}_{ST1}; \quad (23)$$

$$\vec{R}_{T2} = [x_{T2}; y_{T2}; z_{T2}; 1]^T = A_{S0} \cdot \vec{R}_{ST2}. \quad (24)$$

11. Выполняется проверка значений компонент высотной координаты точки *Target*  $z_{T1}$  и  $z_{T2}$  векторов  $\vec{R}_{T1}$  и  $\vec{R}_{T2}$  соответственно на превышение их абсолютными значениями порогового значения *Threshold* по выполнению условий:

$$|z_{T1}| \leq \text{Threshold}; \quad (25)$$

$$|z_{T2}| \leq \text{Threshold}. \quad (26)$$

Пороговое значение *Threshold* высоты точки *Target* выбирается исходя из того соображения, что модуль значения высотной координаты точки *Target* будет очень мал по

сравнению с высотой расположения спутников над поверхностью Земли. Одно из двух решений при этом (неправильное решение) будет иметь значение высотной координаты сопоставимым, т.е. одного порядка с высотой расположения спутников над поверхностью Земли.

Из двух решений, полученных в п. 10, условия (25), (26) будут выполняться только для одного, которое и будет единственно верным решением поставленной исходной задачи.

#### Заключение

Предложенный способ был проверен путем проведения вычислений и доказал свою работоспособность. Погрешность определения координат точки *DCM Target* при расчетах в системе MATLAB с двойной точностью (до 15 знака приблизительно) составила менее  $10^{-6}$  м при принятии допущения об отсутствии погрешностей значений исходных данных. Способ может быть использован для определения координат ДСМ на поверхности Земли при помощи системы глобального позиционирования Глонасс/GPS.

#### Библиографический список

1. Богданов, М.Р. Применения GPS/ГЛОНАСС: Учебное пособие / М.Р. Богданов-Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. – 136 с.
2. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В.С. Шибшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др.; Под ред. В.С. Шибшаевича. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
4. Аппаратура высокоточного позиционирования по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем: приемники-потребители навигационной информации / А.Д. Борискин, А.В. Вейцель, В.А. Вейцель, М.И. Жодзишский, Д.С. Милютин; Под ред. М.И. Жодзишского. – М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 292 с.
5. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. – М: Горячая линия-Телеком, 2005. – 272 с.
6. Гусев, В.А. Геометрия. Полный справочник / В.А. Гусев, И.Б. Кожухов, А.А. Прокопьев. – М.: Махаон, 2006. – 320 с.
7. Корытов, М.С. Автоматизация синтеза оптимальных траекторий перемещения грузов мобильными грузоподъемными кранами в неоднородном организованном трехмерном пространстве: монография / М.С. Корытов. – Омск: СибАДИ, 2012. – 380 с.
8. Прасолов, В.В. Геометрия / В.В.Прасолов, В.М. Тихомиров. – М.: МЦНМО, 2007. – 328 с.

9. Кормен, Томас Х. Алгоритмы: построение и анализ: пер. с англ. / Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2005. – 1296 с.

### METHOD FOR DETERMINING COORDINATES ROAD AND BUILDING CARS ON EARTH'S SURFACE AT A DISTANCE BASIS UNTIL THREE SATELLITES

M.S. Korytov<sup>1</sup>, V.S. Scherbakov<sup>1</sup>, R.Y. Suharev<sup>1</sup>

**Abstract.** Describes a method for determining the coordinates of points on the surface based on the distance to three satellites. The method for determining the coordinates of the road and construction machinery on the surface of the Earth with the help of global positioning system GLONASS / GPS. The mathematical apparatus of homogeneous coordinates. Used welcome replacement for the original formulation of the solutions of the problem areas of the three equations in Cartesian coordinates to the simplified with additional constraints on the direction of the coordinate axes. The solution simplified the task acts as a stage solving the original problem. Performed computer check of the developed method, which has proved its adequacy and efficiency. The minimum number of GLONASS / GPS satellite using the developed method can be reduced from four to three to known techniques.

**Keywords:** satellite navigation, GLONASS, GPS, coordinates, distance.

### References

1. Bogdanov, M.R. GPS/GLONASS Applications: A Tutorial / M.R. Bogdanov - Dolgoprudny: Publishing House "Intellect", 2012. - 136 p.
2. Network satellite radio navigation system / V.S. Shebshaevich, P.P. Dmitriev, N.V. Ivantsevich etc.; Ed. V.S. Shebashevich. - 2 nd ed., Revised. and ext. - M.: Radio and Communications, 1993. - 408 p.
3. GLONASS. The principles of construction and operation / Ed. A.I. Perov, V.N. Kharisov. Ed. 4th, Revised. and ext. - M.: Radio Engineering, 2010 - 800 p.
4. The equipment of high-precision positioning of the signals of global navigation satellite systems: receivers consumers of the navigation information / A.D. Boriskin, A.V. Veytsel, V.A. Veytsel, M.I. Zhodzishsky, D.S. Milutin; Ed. M.I. Zhodzishsky. - M.: Publishing House of the MAI-PRINT, 2010. - 292 p.
5. Yatsenko V.S. Fundamentals of satellite navigation. Systems GPS NAVSTAR and GLONASS. - M: Hotline Telecom, 2005. - 272 p.

6. Gusev, V.A. Geometry. Complete Reference / V.A. Gusev, I.B. Kozhukhov, A.A. Prokopiev. - M.: Swallowtail, 2006. - 320 p.

7. Korytov, M.S. Automation of synthesis of optimal trajectories of movement of goods by mobile cranes in an inhomogeneous organized three-dimensional space: a monograph / M.S. Korytov. - Omsk: SibADI, 2012. - 380 p.

8. Prasolov V.V. Geometry / V.V. Prasolov, V.M. Tikhomirov. - M.: MTsNMO, 2007. - 328 p.

9. Kormen, Thomas X. Algorithms: construction and analysis: transl. from English / Thomas X. Kormen, Charles I. Leiserson, Ronald L. Rivest, Clifford Stein. - M.: Publishing. House "Williams", 2005. - 1296 p.

*Корытов Михаил Сергеевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии» ФГБОУ ВО «СибАДИ»(644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail: kms142@mail.ru).*

*Шербakov Виталий Сергеевич (Россия, Омск) – доктор технических наук, профессор, декан факультета «Нефтегазовая и строительная техника» ФГБОУ ВО «СибАДИ»(644080, г. Омск, пр. Мира,5, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*

*Сухарев Роман Юрьевич (Россия, Омск) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов и электротехника» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира,5.)*

*Korytov Mikhail Sergeevich (Russian Federation, Omsk) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of a university department "Automobiles, construction materials and technologies", The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: kms142@mail.ru).*

*Sherbakov Vitaliy Sergeevich (Russian Federation, Omsk) – Doctor of Technical Sciences, Professor, president of a university faculty "Oil-and-gas and building technology", The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*

*Suharev Roman Yur'evich (Russian Federation, Omsk) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation of production processes and Electrical Engineering" The Siberian Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira, 5, e-mail: sherbakov\_vs@sibadi.org).*