

Проблемы искусственного интеллекта. 2026. N 1 (40). С. 168-179
Problems of Artificial Intelligence. 2026;1(40):168-179.

Системный анализ, управление и обработка информации, статистика
Научная статья

УДК 681.586

doi: 10.24412/2413-7383-2026-1-40-168-179

М. А. Наумов¹, О.С. Волуева²

¹Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт
по автоматизации горных машин «ГБУ Автоматгормаш им. В. А. Антипова»
Российская Федерация, ДНР, 283003 г. Донецк, пр. Ильича, 93

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Донецкий национальный технический университет»
Российская Федерация, ДНР, 283001 г. Донецк, ул. Артема, 58

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫРАБОТКИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРНОЙ ТЕХНИКОЙ

М. А. Naumov¹, O.S. Voluyeva²

¹Scientific Research and Design Institute for Automation of Mining machines
"GBU Automatgormash named after V. A. Antipov"
Russian Federation, DNR, 283003 93 Ilyich ave., Donetsk

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education
"Donetsk National Technical University"
Russian Federation, DNR, 283001 Donetsk, Artyom str., 58

A METHOD FOR DETERMINING GEOMETRIC PARAMETERS OF MINING FOR AUTOMATED CONTROL OF MINING EQUIPMENT

Статья посвящена разработке методики комплексного определения геометрических параметров горной выработки (штрека) и пространственного положения горнопроходческого комбайна (ГПК). Предлагается интегративный вычислительный подход, основанный на синтезе данных инерциальной навигационной системы и лазерной дальномерной системы, устанавливаемых на комбайне. Приводятся алгоритмы расчета ключевых оперативных параметров: фактической ширины штрека, азимута и уклона его осевой линии, бокового смещения и угла разворота ГПК. Методика направлена на обеспечение высокоточной навигации и эффективного управления комбайном в реальном времени для минимизации рисков и соответствия проектным нормам.
Ключевые слова: горнопроходческий комбайн, геометрические параметры штрека, навигация в горных выработках, позиционирование оборудования, алгоритм обработки данных, интегративный подход, система управления в реальном времени.

The article is devoted to the development of a methodology for the complex determination of the geometric parameters of a mine work (drift) and the spatial position of a mining machine (MM). An integrative computational approach is proposed based on the synthesis of data from an inertial navigation system and a laser rangefinder system installed on the machine. Algorithms for calculating key operational parameters are presented, including the actual width of the drift, the azimuth and slope of its centerline, and the lateral displacement and rotation angle of the MM. The technique is aimed at providing high-precision navigation and effective control of the combine in real time to minimize risks and meet project standards.

Keywords: mining combine, geometric parameters of the drift, navigation in mine workings, equipment positioning, data processing algorithm, integrative approach, real-time control system.

На рис. 1 обозначено:

- P_1, P_2 – плоскости левой и правой стенки штрека при наблюдении по ходу движения комбайна, соответственно;
- P_3 – вертикальная плоскость, в которой находится точка O_0 и которая перпендикулярна плоскостям стенок штрека;
- P_4 – вертикальная плоскость, в которой находится точка O и которая перпендикулярна плоскостям стенок штрека;
- O' – проекция точки O на горизонтальную плоскость $O_0\zeta_0\eta_0$;
- O'_0 – проекция точки O_0 на плоскость P_4 ;
- I_0I – осевая линия штрека, которая пересекает плоскости P_3 и P_4 в точках I_0, I соответственно;
- I' – I проекция точки I на горизонтальную плоскость, в которой находится точка I_0 ;
- A – угол между линией O_0O' и плоскостью $O_0\zeta_0\zeta_0$; этот угол является азимутом линии O_0O ;
- B – угол между линией O_0O и плоскостью $O_0\zeta_0\eta_0$; в дальнейшем этот угол будем называть уклоном линии O_0O ;
- χ – угол между линией O_0O' и плоскостью $O_0\zeta_0\zeta_0$; угол χ будем называть азимутом осевой линии штрека;
- κ – угол между осевой линией I_0I и горизонтальной плоскостью, в которой находится точка I_0 ; угол κ будем называть уклоном осевой линии штрека;
- $D_{л}$ и $D_{п}$ – фактические расстояния от точки O до плоскостей левой и правой стенок штрека;
- Δ_0 – смещение точки O_0 от плоскости симметрии штрека; смещение положительно при смещении точки O_0 относительно этой плоскости в сторону правой стенки штрека и отрицательно при смещении в сторону левой стенки;
- h_0, h – высоты точек O_0 и O относительно подошвы штрека.

Для расчета комплекса геометрических параметров предлагается применять интегративный вычислительный подход [4-8]. Его принципиальная основа заключается не в установке принципиально новой измерительной аппаратуры, а в рациональном синтезе и программной обработке данных из двух ключевых источников, которые уже функционируют или могут быть установлены на горнопроходческом комбайне (ГПК).

Определение ширины штрека и смещения ГПК относительно плоскости симметрии штрека. Для решения этой задачей возможно применение различных схем расположения дальномеров. Рассматриваемый вариант системы состоит из трёх дальномеров Д2, Д3 и Д4. Датчики двух из них (Д2, Д4) могут быть встроены в ПТО, а третьего (Д3) вынесен за пределы узла системы и закреплён на ГПК в передней его части на одной высоте по отношению к плоскости гусениц с датчиками Д2 и Д4. По предложенной схеме дальномеры Д2 и Д4 закреплены в точке O так, чтобы их оси чувствительности были направлены вдоль оси OY в разные стороны. Дальномер Д3 расположен на оси OX в точке Q на расстоянии l от дальномера Д2 ($OQ=l$). Оси чувствительности дальномеров Д2 и Д3 параллельны и направлены в одну сторону (в соответствии с рисунком 2).

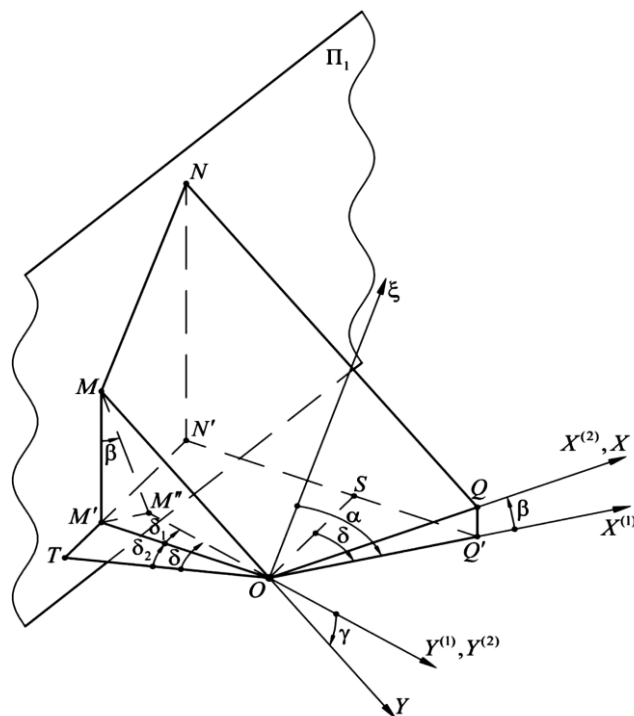


Рисунок 2 – К определению фактического расстояния от точки O до плоскости левой стенки штрека

Ось чувствительности дальномера Д2 пересекает плоскость левой стенки штрека Π_1 в точке M . В данном случае дальномер Д2 измеряет длину отрезка OM . Следовательно:

$$OM=L_2,$$

где L_2 – показание дальномера Д2.

Ось чувствительности дальномера Д3 пересекает плоскость левой стенки штрека Π_1 в точке N . В данном случае дальномер Д3 измеряет длину отрезка QN . Следовательно:

$$QN=L_3,$$

где L_3 – показание дальномера Д3.

Для определения ширины штрека и смещения ГПК относительно плоскости симметрии штрека необходимо знать фактические расстояния от ГПК до плоскостей стенок штрека [9-13], которые вычисляются по показаниям дальномеров Д2, Д3, Д4 и по значениям углов β , γ . Ниже рассматриваются три стадии получения алгоритма вычисления фактического расстояния от ГПК до плоскости левой стенки штрека.

Первая стадия – определение показаний дальномеров Д2, Д3 если бы ГПК находился в горизонтальном положении ($\beta=0^\circ$, $\gamma=0^\circ$).

Точка M' является проекцией точки M на горизонтальную плоскость $OX^{(1)}Y^{(1)}$. Следовательно, линия MM' перпендикулярна плоскости $OX^{(1)}Y^{(1)}$.

Точка M'' является проекцией точки M на ось $OY^{(1)}$, поэтому линия MM'' перпендикулярна оси $OY^{(1)}$. Кроме того, ось OX перпендикулярна плоскости $OY^{(1)}Y$ (или плоскости OMM''), поэтому линия MM'' перпендикулярна оси OX . Следовательно, линия MM'' перпендикулярна плоскости $OXY^{(1)}$ (или плоскости $OX^{(2)}Y^{(2)}$).

В итоге имеем линию MM' , перпендикулярную плоскости $OX^{(1)}Y^{(1)}$ и линию MM'' , перпендикулярную плоскости $OX^{(2)}Y^{(2)}$. Поэтому угол $\angle M'MM''$ равен углу между плоскостями $OX^{(1)}Y^{(1)}$ и $OX^{(2)}Y^{(2)}$ (углу β)

$$\angle M'MM'' = \beta.$$

Далее определим длину отрезка OM' по показаниям дальномера Д2 и значениям углов β и γ . Отрезок OM' является показанием дальномера Д2 если бы ГПК находился в горизонтальном положении.

Длина катета MM'' прямоугольного треугольника OMM'' определяется формулой

$$MM'' = OM \cdot \sin \gamma = L_2 \cdot \sin \gamma.$$

Длина катета MM' прямоугольного треугольника $MM'M''$ будет

$$MM' = MM'' \cdot \cos \beta = L_2 \cdot \cos \beta \cdot \sin \gamma.$$

Тогда длина катета M' прямоугольного треугольника OMM' определится формулой

$$OM' = \left| \sqrt{OM^2 - MM'^2} \right| = L_2 \cdot \left| \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \right|.$$

Аналогично, если точки Q' и N' является проекциями точек Q и N на горизонтальную плоскость $OX^{(1)}Y^{(1)}$, то длина отрезка $Q'N'$ будет

$$Q'N' = \left| \sqrt{OM^2 - MM'^2} \right| = L_2 \cdot \left| \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \right|.$$

Длина отрезка OQ' определяется формулой

$$OQ' = OQ \cdot \cos \beta = l \cdot \cos \beta.$$

Вторая стадия – определение угла, характеризующего ориентацию продольной оси ГПК относительно осевой линии штрека в азимуте. В плоскости $OX^{(1)}Y^{(1)}$ через точку O проведём линию OS , параллельную линии $M'N'$ (точка S находится на линии $Q'N'$). Угол между линией OS и линией OQ' обозначим δ . Угол δ характеризует ориентацию продольной оси ГПК относительно осевой линии штрека в азимуте. Если известен угол δ , можно определить фактическое расстояние от точки O до левой стенки штрека. Получим алгоритм вычисления угла δ .

Считаем, что оси чувствительности дальномеров Д2 и Д3 (линии OM и QN) параллельны. Следовательно, их проекции на горизонтальную плоскость $OX^{(1)}Y^{(1)}$ тоже параллельны друг другу. Это значит, что две линии OM' и $Q'N'$ параллельны друг другу, а четырёхугольник $OM'N'S$ является параллелограммом. Отсюда имеем

$$SN' = OM' = L_2 \cdot \left| \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \right|.$$

Тогда длина отрезка $Q'S$ определится формулой

$$Q'S = |Q'N' - SN'| = |L_3 - L_2| = L_2 \cdot \left| \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \right|.$$

Кроме того, ось $OX^{(1)}$ перпендикулярна плоскости $QQ'N'N$ потому, что она перпендикулярна двум линиям QQ' и NN' , лежащим в этой плоскости. Следовательно, треугольник OSQ' является прямоугольным при вершине Q' . Тогда главное значение угла δ можно вычислить по формуле

$$\delta^* = \operatorname{arctg} \frac{(L_3 - L_2) \cdot \left| \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \right|}{l - \cos \beta}.$$

Действительное значение угла δ определяется с учётом квадранта, в котором находится угол δ . Квадрант определяется по знаку разности $(L_3 - L_2)$:

– если $(L_3 - L_2) > 0$, то угол δ находится в первом квадранте и действительное значение угла δ будет

$$\delta = \delta^*;$$

– если $(L_3 - L_2) < 0$, то угол δ находится в четвертом квадранте и действительное значение угла δ будет

$$\delta = \delta^* + 360^\circ.$$

Итоговой алгоритм вычисления угла δ имеет вид

$$\delta = \begin{cases} \delta^* & \text{если } (L_3 - L_2) > 0 \\ (\delta^* + 360^\circ) & \text{если } (L_3 - L_2) < 0 \end{cases}.$$

Третья стадия – определение фактического расстояния от точки O до левой стенки штрека Π_1 с учётом того, что значения углов β и γ не равны нулю, а также продольная ось ГПК не параллельна плоскости симметрии штрека [14,15].

В горизонтальной плоскости $OX^{(1)}Y^{(1)}$ проведём линию, которая проходит через точку O и перпендикулярна плоскости левой стенки штрека. Данная линия пересекает плоскость левой стенки штрека в точке T . Длина отрезка OT является фактическим расстоянием от точки O до левой стенки штрека Π_1 .

Видно, что угол $\angle TOM''$ равен углу δ потому, что в плоскости $OX^{(1)}Y^{(1)}$ имеем: OT и OS , а также OM' и OQ' взаимно перпендикулярны.

Линия OM'' перпендикулярна линии $M'M''$ потому, что линия OM'' перпендикулярна плоскости $MM'M''$ (одновременно перпендикулярна линиям MM' и MM''). В результате, треугольник $OM'M''$ является прямоугольным с прямым углом при вершине M'' . Тогда острый угол $\angle M'OM''$, обозначенный δ_1 можно вычислить по формуле

$$\delta_1 = \arccos \frac{OM''}{OM'} = \arccos \frac{\cos \gamma}{\sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma}}.$$

Здесь под острым углом понимается угол, значение которого находится в пределах $(0^\circ - 90^\circ)$.

Получим выражение для определения острого угла $\angle M'OT$ (угла δ_2)

$$\delta_2 = |\delta^* \pm \delta_1|.$$

Здесь знак «+» соответствует случаю, когда угол β находится в четвертом квадранте, а знак «-» соответствует случаю, когда угол β находится в первом квадранте.

В итоге фактическое расстояние D_{Π} от точки O до плоскости левой стенки штрека определяется формулой

$$D_{\Pi} = OT = OM' \cdot \cos \delta_2 = L_2 \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \cdot \cos \delta_2.$$

Фактическое расстояние D_{Π} от точки O до плоскости правой стенки штрека определяется по аналогичной формуле

$$D_{\Pi} = L_4 \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \cdot \cos \delta_2.$$

Ширина штрека D и смещение ГПК от осевой линии штрека Δ будут

$$D = (L_2 + L_4) \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \cdot \cos \delta_2;$$

$$\Delta = (L_2 - L_4) \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta \cdot \sin^2 \gamma} \cdot \cos \delta_2.$$

Знак Δ показывает направление смещения ГПК от плоскости, в которой находится осевая линия штрека: если Δ положительно, то ГПК смещён в сторону правой стенки, если Δ отрицательно – в сторону левой стенки.

Определение азимута и уклона осевой линии штрека. Азимут осевой линии штрека определяются на основе информации об ориентации линии O_0O в системе координат $O_0\xi_0\eta_0\zeta_0$ и смещении ГПК относительно плоскости симметрии штрека.

Итак, сначала определим углы A и B , характеризующие ориентацию линии O_0O в СК $O_0\xi_0\eta_0\zeta_0$, используя ранее полученные значения координат ξ , η , ζ точки O в СК $O_0\xi_0\eta_0\zeta_0$ и расстояние L_1 от точки O_0 до точки O . Выражения для главных значений этих углов будут иметь вид

$$A^* = \arctg \frac{\eta}{\xi}; B^* = \arcsin \frac{\zeta}{L_1}.$$

Действительное значение угла A определяется с учётом квадранта, в котором находится угол A . Квадрант определяется по знакам координат ξ и η :

– если $\xi > 0$ и $\eta > 0$, то угол A находится в первом квадранте и действительное значение угла A будет

$$A = A^*;$$

– если $\xi > 0$ и $\eta < 0$, то угол A находится в четвертом квадранте и действительное значение угла A будет

$$A = A^* + 360^\circ;$$

– если $\xi < 0$ и $\eta > 0$, то угол A находится в втором квадранте и действительное значение угла A будет

$$A = A^* + 180^\circ;$$

– если $\xi < 0$ и $\eta < 0$, то угол A находится в третьем квадранте и действительное значение угла A будет

$$A = A^* + 180^\circ.$$

В итоге получим алгоритм

$$A = \begin{cases} A^* & \text{если } \eta > 0 \text{ и } \xi > 0 \\ (A^* + 180^\circ) & \text{если } \eta > 0 \text{ и } \xi < 0 \\ (A^* + 180^\circ) & \text{если } \eta < 0 \text{ и } \xi < 0 \\ (A^* + 360^\circ) & \text{если } \eta < 0 \text{ и } \xi > 0 \end{cases}.$$

На практике значение L_1 всегда положительно [16]. Поэтому квадрант, в котором находится угол B , зависит только от знака ζ . Тогда:

– если $\zeta > 0$, то угол B находится в первом квадранте и действительное значение угла B будет

$$B = B^*;$$

– если $\zeta < 0$, то угол B находится в четвертом квадранте и действительное значение угла B будет

$$B = B^* + 360^\circ;$$

В итоге получим алгоритм

$$B = \begin{cases} B^* & \text{если } \zeta > 0 \\ (B^* + 360^\circ) & \text{если } \zeta < 0 \end{cases}.$$

Зная значение A , смещения точек O_0 и O относительно плоскости симметрии штрека и координаты точки O в СК $O_0\xi_0\eta_0\zeta_0$ получим алгоритм вычисления азимута осевой линии штрека

$$\chi = A - \arcsin \frac{\Delta - \Delta_0}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2}}.$$

В данном выражении у функции «arcsin» берётся только главное значение [17].

Далее определим уклон осевой линии штрека (угол κ). Для этого необходимо определить длины отрезков I_0I' и II' . Длина отрезка I_0I' определяется

$$I_0I' = O_0O'_0 = \left| \sqrt{(O_0O'_0)^2 - (O'_0O'_0)^2} \right| = \left| \sqrt{\xi^2 + \eta^2 - (\Delta - \Delta_0)^2} \right|.$$

Длина отрезка II' будет

$$II' = \zeta + h - h_0.$$

Отрицательное значение отрезка означает, что точка I располагается выше точки I' . Отсюда получим главное значение угла κ

$$\kappa^* = \arctg \frac{II'}{I_0I'} = \arctg \frac{\zeta + h - h_0}{\sqrt{\xi^2 + \eta^2 - (\Delta - \Delta_0)^2}}.$$

Действительное значение угла κ определяется с учётом квадранта [18-21], в котором находится угол κ . Квадрант определяется по знаку алгебраической суммы $(\zeta + h - h_0)$:

– если $(\zeta + h - h_0) > 0$, то угол κ находится в первом квадранте и действительное значение угла κ будет:

$$\kappa = \kappa^*;$$

– если $(\zeta + h - h_0) < 0$, то угол κ находится в четвёртом квадранте и действительное значение угла κ будет:

$$\kappa = \kappa^* + 360^\circ.$$

Итоговой алгоритм имеет вид

$$\kappa = \begin{cases} \kappa^* & \text{если } (\zeta + h - h_0) > 0 \\ (\kappa^* + 360^\circ) & \text{если } (\zeta + h - h_0) < 0 \end{cases}.$$

Заключение

Разработанная в статье методика, сочетающая данные инерциальной навигации и лазерной дальнометрии, позволяет решить задачу комплексного оперативного определения геометрии горной выработки и позиционирования в ней горнопроходческого комбайна. Предложенные алгоритмы обеспечивают вычисление критически важных для управления параметров: фактической ширины штрека, его азимута и уклона, бокового смещения и угла курсового отклонения машины.

Применение данного подхода создает основу для формирования точной цифровой модели положения комбайна в выработке в реальном времени. Это позволяет перейти от эмпирического управления к прецизионному, что ведет к строгому соблюдению проектных контуров, минимизации риска аварийных ситуаций и повреждения оборудования, а также повышению общей эффективности проходческого цикла. Реализация методики на практике требует дальнейших исследований, направленных на апробацию алгоритмов в условиях реальной шахтной среды и оптимизацию вычислительных процедур.

Список литературы

1. Миков А.Г. Алгоритмы навигации автотранспорта с использованием мэмс-датчиков грубого класса точности дис. к.т.н. Петрозаводск 2021 190 с.
2. Черненко К.В., Жабицкий М.Г. Способы измерения расстояний с помощью звуковой волны для системы позиционирования приборного контейнера в закрытых помещениях на базе технологии

- интернета вещей: Доклад на конференции «X Международная молодежная научная Школа-Конференция». Москва. 2023.
3. Концепция системы цифрового сканирования насыщенных оборудованием помещений в целях реверсивного проектирования для образовательных проектов и стартапов / Мочкин К.А., Жабицкий М.Г., Черненко К.В., Лагутина Е.С., Свердлик Г.В. // *International Journal of Open Information Technologies*. 2022. №85.
 4. Миков А.Г. Алгоритмы навигации автотранспорта с использованием мэмс-датчиков грубого класса точности дис. ... к.т.н. Петрозаводск 2021 190 с.
 5. Абрамов М.М. Новые и перспективные направления применения беспилотных летательных аппаратов // *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2022. Вып. 3 С. 227-232.
 6. Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А. Краткий курс теории инерциальной навигации. М.: ИПУ РАН, 2022. 148 с.
 7. Солуянов В.К. Развитие навигации метрополитена в рамках единой системы транспортной навигации Москвы // *Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества : сборник тезисов докладов*, Москва, 16–17 мая 2018 года. Москва: Академия имени Н.Е. Жуковского, 2018. С. 278. EDN YHJQVF.
 8. Смирнов А. В., Степанов Д. Н. Распознавание типа внутренних элементов планировки зданий в задачах первичной навигации мобильных роботов с использованием нейронных сетей // *Программные системы: теория и приложения*. 2018. Т. 9, № 4(39). С. 279-291. DOI 10.25209/2079-3316-2018-9-4-279-291. EDN BMNQCL.
 9. Денисов А.А., Новиков А.И. Анализ методов детектирования, описания и сопоставления ключевых точек изображений // *Вестник РГРТУ*. 2024. № 89. С. 104-116.
 10. Новиков А.И., Пронькин А.В. Методы цифровой обработки изображений подстилающей поверхности. М.: Горячая линия-Телеком, 2023. 224 с.
 11. Сулоева Е.С., Романцова Н.В. Математическое и программное обеспечение для определения погрешности при моделировании средства измерения // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021. Т. 9. № 4 (35).
 12. Некоторые подходы к оценке процесса функционирования структурно-динамических систем мониторинга в условиях внешних воздействий / А.М. Казанцев, Р.А. Кочкаров, А.В. Тимошенко, А.А. Сычугов // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021. Т. 9. № 4 (35).
 13. Мельникова Т.В., Питолин М.В., Преображенский Ю.П. Моделирование обработки больших массивов данных в распределенных информационно-телекоммуникационных системах // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022. Т. 10. № 1 (36).
 14. Бокова О.И., Канавин С.В., Хохлов Н.С. Формирование требований к защищенной информационно-телекоммуникационной инфраструктуре сети связи специального назначения // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022. Т. 10. № 1 (36).
 15. Цинь Ю.Х., Хуа П. Ю., Ю Ч. Ф. Обзор методов инерциальной навигации на основе глубокого обучения для навигации АНПА на больших дистанциях // *Гироскопия и навигация*. 2023. Т. 31, № 3(122). С. 122-135. EDN XMYLOI.
 16. Шахуд А. Алгоритмы систем технического зрения для решения задач автономной навигации в городской местности без глобальной спутниковой навигации : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Томск, 2024. 125 с. EDN WXUGOL.
 17. Новиков П. В. Навигация наземных подвижных объектов на основе данных интегрированной системы навигации, комплексированной с одомером // *Вестник НЦБЖД*. 2022. № 2(52). С. 161-166. EDN BUKWTT.
 18. Моделирование комплекса навигации для выполнения функции 4D навигации выдерживания и уточнения расписания / Д. А. Ивченков, Ю. В. Гавриленко, Н. А. Зайцева [и др.] // *Моделирование авиационных систем : Сборник тезисов докладов V Всероссийской научно-технической конференции*, Москва, 29–30 ноября 2023 года. Москва: Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 2023. С. 154-155. EDN IMOFOW.
 19. Lee Wonwoo, Park Nohyoung and Woo Woontack Depth-assisted Real-time 3D Object Detection for Augmented Reality // *International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT)*. Osaka, 2011. Vol. 21. P. 126-132.
 20. Ильченко А.В., Пьявченко А.О. Проблемы построения системы технического зрения мобильного робота на основе инфракрасного 3D-датчика глубины окружающего пространства // *Сб. трудов XIII Всероссийской научн. конф. мол. уч., асп. и студ. «Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАиУ-2015)»*. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. Т. 3. С. 50-60.

21. Пьявченко А.О., Переверзев В.А., Ильченко А.В. Технология SLAM и методологические проблемы ее реализации в робототехнике // Сб. трудов XIV Всероссийской научн. конф. мол. уч., асп. и студ. «Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2016)». Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. Т. 2. С. 345-351.
22. К.В. Черненко, М.Г.Жабицкий Способы измерения расстояний с помощью звуковой волны для системы позиционирования приборного контейнера в закрытых помещениях на базе технологии интернета вещей: Доклад на конференции «X Международная молодежная научная Школа-Конференция». Москва. 2023.

References

1. Mikov A.G. Algorithms for vehicle navigation using MEMS sensors of coarse accuracy class dis. Candidate of Technical Sciences - Petrozavodsk 2021 190 p.
2. K.V. Chernenko, M.G.Zhabitsky Methods of measuring distances using a sound wave for the positioning system of an instrument container in enclosed spaces based on Internet of Things technology: A report at the conference "X International Youth Scientific School-Conference" / Moscow. 2023.
3. Mochkin K.A., Zhabitsky M.G., Chernenko K.V., Lagutina E.S., Sverdlik G.V. The concept of a digital scanning system for equipment-saturated rooms for reverse engineering for educational projects and start-ups // International Journal of Open Information Technologies. 2022. No.85.
4. Mikov A.G. Algorithms for vehicle navigation using MEMS sensors of a coarse accuracy class dis. ... Candidate of Technical Sciences - Petrozavodsk 2021 190 p.
5. Abramov M.M. New and promising areas of application of unmanned aerial vehicles // Izvestiya TulSU. Technical sciences. - 2022. Issue 3 pp. 227-232.
6. Vavilova N.B., Golovan A.A., Parashnikov N.A. A short course in the theory of inertial navigation. Moscow: IPU RAS, 2022. 148 p.
7. Soluyanov, V. K. Development of subway navigation within the framework of the unified Moscow transport navigation system / V. K. Soluyanov // Civil aviation at the present stage of development of science, technology and society : a collection of abstracts, Moscow, May 16-17, 2018. Moscow: Zhukovsky Academy, 2018, p. 278. EDN YHJQVF.
8. Smirnov, A.V. Recognition of the type of internal elements of building layout in the tasks of primary navigation of mobile robots using neural networks / A.V. Smirnov, D. N. Stepanov // Software systems: theory and applications. 2018. Vol. 9, No. 4(39). pp. 279-291. DOI 10.25209/2079-3316-2018-9-4-279-291. EDN BMNQCL.
9. Denisov A.A., Novikov A.I. Analysis of methods for detecting, describing and comparing key image points // Bulletin of the Russian State Technical University. 2024. No. 89. pp. 104-116.
10. Novikov A.I., Pronkin A.V. Methods of digital image processing of the underlying surface. Moscow: Hotline–Telecom, 2023. 224 p.
11. Suloeva E. S. Mathematical and software for determining the error in modeling measuring instruments / E. S. Suloeva, N. V. Romantsova // Modeling, optimization and information technologies. 2021. Vol. 9. No. 4 (35).
12. Kazantsev A.M. Some approaches to assessing the functioning of structural and dynamic monitoring systems under external influences / A.M. Kazantsev, R. A. Kochkarov, A.V. Timoshenko, A. A. Sychugov // Modeling, optimization and information technologies. 2021. T. 9. № 4 (35).
13. Melnikova T. V. Modeling of processing large data arrays in distributed information and telecommunication systems / T. V. Melnikova, M. V. Pitolin, Yu. P. Preobrazhensky // Modeling, optimization and information technologies. 2022. Vol. 10. No. 1 (36).
14. Bokova O. I. Formation of requirements for a secure information and telecommunication infrastructure of a special-purpose communication network / O. I. Bokova, S. V. Kanavin, N. S. Khokhlov // Modeling, optimization and information technologies. 2022. T. 10. № 1 (36).
15. Qin, Yu. K. A review of methods of inertial navigation based on deep learning for navigation of ANPA at long distances / Yu. K. Qin, P. Y. Hua, C. F. Yu // Gyroscopy and navigation. 2023. Vol. 31, No. 3(122). pp. 122-135. EDN XMYLOI.
16. Shahud, A. Algorithms of technical vision systems for solving problems of autonomous navigation in urban areas without global satellite navigation : dissertation for the degree of candidate of technical Sciences / Shahud Ayham. Tomsk, 2024. 125 p. EDN WXUGOL.
17. Novikov, P. V. Navigation of ground-based mobile objects based on data from an integrated navigation system integrated with an odometer / P. V. Novikov // Bulletin of the National Library of Railways. 2022. № 2(52). Pp. 161-166. EDN BUKWTT.

18. Modeling of the navigation complex to perform the 4D navigation function of maintaining and clarifying the schedule / D. A. Ivchenkov, Yu. V. Gavrilenko, N. A. Zaitseva [et al.] // Modeling of aviation systems : Collection of abstracts of the V All-Russian Scientific and Technical Conference, Moscow, November 29-30, 2023. Moscow: State Scientific Research Institute of Aviation Systems, 2023. pp. 154-155. EDN IMOFOW.
19. Lee Wonwoo, Park Nohyoung and Woo Woontack Depth-assisted Real-time 3D Object Detection for Augmented Reality // International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT). Osaka, 2011. Vol. 21. pp. 126-132.
20. Ilchenko A.V., Piavchenko A.O. Problems of constructing a mobile robot's technical vision system based on an infrared 3D depth sensor of the surrounding space // Proceedings of the XIII All-Russian Scientific Conference of the mol. uch., asp. and student. "Information Technologies, system analysis and management (ITSAiU-2015)". Rostov-on-Don: SFU Publishing House, 2016. Vol. 3. pp. 50-60.
21. Piavchenko A.O., Pereverzev V.A., Ilchenko A.V. SLAM technology and methodological problems of its implementation in robotics // Proceedings of the XIV All-Russian Scientific Conference of the mol. uch., asp. and student. "Information Technologies, system analysis and Management (ITSAU-2016)". Rostov-on-Don: SFU Publishing House, 2016. vol. 2. pp. 345-351.
22. K.V. Chernenko, M.G.Zhabitsky Methods of measuring distances using a sound wave for the positioning system of an instrument container in enclosed spaces based on Internet of Things technology: A report at the conference "X International Youth Scientific School-Conference" / Moscow. 2023.

RESUME

M. A. Naumov, O.S. Voluyeva

A method for determining geometric parameters of mining for automated control of mining equipment

The article is devoted to the development and investigation of a methodology for the comprehensive determination of geometric parameters of a mine working and the spatial position of a mining combine in a drift. The relevance of the study is determined by the need to improve the accuracy and efficiency of navigation support for drivage operations, ensure compliance with the design parameters of the excavation, and enhance operational safety. An integrative computational approach based on the fusion of data from an inertial navigation system and laser range measurement systems installed on the mining combine is proposed. A simplified geometric model of the drift is introduced, enabling the formalized calculation of its width, the azimuth and inclination of the centerline, as well as the lateral displacement and angular deviation of the combine relative to the design direction. Analytical algorithms are developed for determining the actual distances to the side walls of the drift while accounting for the spatial orientation of the machine, along with methods for calculating the azimuth and inclination of the drift centerline based on navigation parameters. The proposed solutions make it possible to form an integrated digital model of the mining combine position within the excavation in real time. The obtained results can be used in the development and modernization of navigation and measurement systems for mining equipment.

РЕЗЮМЕ

М.А. Наумов, О.С. Волуева

Метод определения геометрических параметров выработки для автоматизированного управления горной техникой

Статья посвящена разработке и исследованию методики комплексного определения геометрических параметров горной выработки и пространственного положения горнопроходческого комбайна в штреке. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения точности и оперативности навигационного обеспечения проходческих работ, а также обеспечения соблюдения проектных параметров выработки и повышения уровня безопасности. В работе предложен интегративный вычислительный подход, основанный на совмещении данных инерциальной навигационной системы и лазерных дальномерных измерений, устанавливаемых на горнопроходческом ком-

байне. Введена упрощённая геометрическая модель штрека, позволяющая формализовать процесс вычисления его ширины, азимута и уклона осевой линии, а также бокового смещения и углового отклонения комбайна относительно проектного направления. Разработаны аналитические алгоритмы определения фактических расстояний до боковых стенок штрека с учётом пространственной ориентации машины, а также методы расчёта азимута и уклона осевой линии выработки на основе навигационных параметров. Предложенные решения позволяют формировать целостную цифровую модель положения горнопроходческого комбайна в выработке в режиме реального времени. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и модернизации навигационных и измерительных систем горного оборудования.

Наумов Максим Александрович – младший научный сотрудник отдела автоматизации горных машин, Государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по автоматизации горных машин «Автоматгормаш им. В.А. Антипова», г. Донецк. *Область научных интересов:* системы автоматического управления и машинное зрение, эл. почта maksim-naumov-99@bk.ru, адрес 283003, г. Донецк, пр. Ильича, дом 93, телефон +7949 318-32-79. ORCID 0009-0001-4592-5328.

Naumov Maxim Aleksandrovich – junior researcher of the department of automation of mining machines, State budgetary institution “Research and design institute for automation of mining machines “Avtomatgormash named after V.A. Antipov”, Donetsk. Area of scientific interests: automatic control systems and machine vision, e-mail maksim-naumov-99@bk.ru, address 283003, Donetsk, Pylicha Avenue, house 93, phone +7949 318-32-79. ORCID 0009-0001-4592-5328.

Волуева Ольга Сергеевна – кандидат технических наук, доцент кафедры АТ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк. *Область научных интересов:* разработка и исследование систем автоматического управления технологическими процессами и техническими объектами; исследование и разработка интеллектуальных систем управления, эл. почта voluevaos_work@mail.ru, адрес 283001, г. Донецк, ул. Артема, дом 58, телефон +7949336-33-59. ORCID 0000-0002-0289-3047.

Volueva Olga Sergeevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automation, Donetsk National Technical University, Donetsk. Research interests: development and research of automatic control systems for technological processes and technical objects; research and development of intelligent control systems. E-mail: voluevaos_work@mail.ru, address: 283001, Donetsk, Artem Street, 58, phone:+7949336-33-59. ORCID 0000-0002-0289-3047.

Статья поступила в редакцию 27.01.2026