

## ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622.23, 629.051

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-3-12

Садовец Владимир Юрьевич<sup>1,\*</sup>, кандидат техн. наук, доцент, Резанова Елена Викторовна<sup>1</sup>, аспирант, старший преподаватель, Садовец Роман Владимирович<sup>2</sup>, студент, Санников Артем Константинович<sup>2</sup>, студент

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный Исследовательский Университет)

\*E-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

### РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ИНЕРЦИАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГОРНЫХ МАШИН

#### *Аннотация.*

*В статье представлен анализ условий работы горнопроходческой техники, представлена оценка функционирования электронных устройств и средств связи под землей, а также сформулированы основные функциональные и нефункциональные требования к системе инерциального позиционирования геологов. С этой целью проведен анализ природных факторов, косвенно или прямо оказывающих влияние на работоспособность инерциальных систем позиционирования. Представлен базовый демонстрационный образец геолога, являющийся основным элементом мобильного роботизированного проходческого комплекса, с описанием принципа действия и возможностей его работы. Рассмотрены существующие аналоги и применяемые в настоящее время технологии для определения положения техники в пространстве. Выделены основные характеристики систем инерциального позиционирования, выбранных в качестве аналогов. Представлена сравнительная характеристика существующих систем инерциального позиционирования. Разобраны концепт и принцип работы специализированного горнопроходческого оборудования. На основании проведенного анализа сформулированы основные функциональные требования к системе инерциального позиционирования геологов. Представлены результаты по разработке лабораторного образца системы инерциального позиционирования горных машин. Подобраны минимально удовлетворяющие необходимым запросам компоненты. Смоделирован макет для технологии снятия данных с горнопроходческого оборудования и для платы приема информации на компьютере оператора. Скомпонована общая макетная электротехническая составляющая, предназначенная для снятия, отправки, приема параметров с оборудования и для целостного функционирования системы. Написаны программы по считыванию и обработке входных данных, их передачи до устройства оператора и их отображению в графическом формате. На базе разработанного лабораторного макета сформированы цель и задачи дальнейших исследований.*



#### **Информация о статье**

Поступила:

09 ноября 2021 г.

Одобрена после  
рецензирования:

20 апреля 2022 г.

Принята к печати:

22 июня 2022 г.

#### **Ключевые слова:**

*горные машины, определение положения в пространстве, инерциальная система позиционирования, геолог.*

**Для цитирования:** Садовец В.Ю., Резанова Е.В., Садовец Р.В., Санников А.К. Разработка требований к системе инерциального позиционирования горных машин // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 3 (161). С. 3-12. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-3-12

В современном мире активно развивается подземное строительство. Строительство подземных сооружений растет пропорционально увеличению численности населения и расширению городов [1-5]. К подземным сооружениям относятся тоннели метрополитена, которые по рекомендациям, изложенным в СНиП П-40-80, должны располагаться под землей на определенной глубине. Кроме этого, в зависимости от ландшафта местности нередко возникает необходимость прокладывания дорожных тоннелей и подземных переходов, которые также используются при проектировании транспортных развязок [6-9]. В промышленной отрасли увеличиваются темпы подземной добычи полезных ископаемых, таких как медь, железо, золото, серебро и, конечно же, каменный уголь, добыча которого на некоторых месторождениях, а также на некоторых участках карьеров возможна только подземным способом [10-13].

Задачи по строительству подземных сооружений, в частности образования полости в подземном пространстве, решают с использованием горнопроходческой техники, например, проходческих щитов. Современные проходческие щиты представляют собой совокупность проходческого оборудования, которое выполняет все технологические операции проходческого цикла по разрушению горного массива, погрузке разрушенной породы и крепления образовавшегося пространства. Кроме проходческих щитов для образования полости в подземном пространстве могут быть использованы проходческие комбайны. Не все проходческие комбайны обладают возможностью выполнения всех операций проходческого цикла.

Но помимо существующих горнопроходческих систем в настоящее время активно ведется разработка новейших горных машин, которые обладают



Рис. 1. Общий вид мобильного роботизированного проходческого комплекса

Fig. 1. General view of a mobile robotic tunneling complex

большим набором функций и возможностей [14-16]. На завершающем этапе создания находится проект по созданию нового класса горнопроходческой техники – геохода, принцип движения которого существенно отличается от проходческих щитов.

Отличительной особенностью геохода является способность перемещаться не только под различными углами подземного пространства, но и вертикально [17-19]. Проведенные исследования позволили разработать демонстрационный образец мобильного роботизированного проходческого комплекса, представленного на рис. 1.

Маневренность геохода открывает возможность строительства тоннелей и шахт сложных форм, а иной принцип движения, отличающийся от традиционных проходческих машин, позволяет увеличить скорость и эффективность проходки [5-8]. Но использование всех преимуществ возможности перемещений осуществимо только при корректной разработке системы управления машиной. Необходимость в разработке и применении сложной системы управления очевидна, так же, как и необходимость в системе позиционирования и навигации, которая будет являться залогом точности движения геохода и скорости проходки.

Разрабатываемую систему по позиционированию горных машин можно охарактеризовать как уникальную, поскольку в настоящее время не существует аналогов такой системы. Процесс разработки и внедрения системы осложняется условиями работы, которые ведутся в подземных условиях, где традиционные методы отслеживания местоположения и ориентации объектов не функционируют. Кроме этого, разрабатываемая система рассчитана на применение и интеграцию в инновационную горнопроходческую технику, способную изменять углы наклона проводимой выработки в геосреде относительно первоначальной точки запуска.

Разрабатываемую систему по позиционированию горных машин можно охарактеризовать как уникальную, поскольку в настоящее время не существует аналогов такой системы. Процесс разработки и внедрения системы осложняется условиями работы, которая ведется в подземных условиях, где традиционные методы отслеживания местоположения и ориентации объектов не функционируют. Кроме этого, разрабатываемая система рассчитана на применение и интеграцию в инновационную горнопроходческую технику, способную изменять углы наклона проводимой выработки в геосреде относительно первоначальной точки запуска.

После проведения анализа рынка по поиску косвенных аналогов системы инерциального позиционирования, а также по представлению используемых технологий в работе проходческих щитов были выделены такие системы, чьи концептуальные параметры приблизительно могут быть сравнены с создаваемой системой.

1. Система инерциального позиционирования BWT901 – от компании WitMotion [20], выпускаемая для применения на мобильных роботах, внутри негабаритных систем для отслеживания местоположения и ориентации на небольших расстояниях



Рис. 2. Система инерциального позиционирования BWT901 – IMU

Fig. 2. Inertial Positioning System BWT901 – IMU

( $\leq 10$  м.). Выводит информацию в графическом виде на телефон или на компьютер. Работает на базе микропроцессорной платы Arduino и датчика MPU9250. Имеет большой ряд недостатков и не предназначена для использования под землей, также выводит данные с большой погрешностью.

2. Система инерциального позиционирования IMU N580 – разработка Honeywell [21], которая может быть использована в широком спектре промышленных применений, где непрерывная навигационная информация является критическим компонентом. Имеет крайне высокий и надежный уровень точности. Способна выводить данные в отдельном приложении, а также функционировать в воздушной среде, на суше и под водой. Обладает отличной фильтрацией и отладкой, однако выражены два крупных недостатка относительно предлагаемой технологии: N580 не рассчитана на применение в подземных условиях и не способна выделять малые изменения положения геохода относительно первоначальной точки запуска.



Рис. 3. Блок системы инерциального позиционирования IMU N580

Fig. 3. Inertial Positioning System Unit IMU N580

3. Система инерциального позиционирования WTGAHRS2 – схожая система от WitMotion [22], но она обладает большей точностью снятия данных, большим видом снимаемых данных и дальностью передачи сигнала; аналогично ранее описанной технологии не предназначена для использования в подземных условиях и имеет изрядные трудности со снятием данных при малом перемещении.

Сравнительный анализ технических характеристик описанных выше аналогов систем инерциального позиционирования представлен в таблице.

На сегодняшний день самая часто используемая система позиционирования машины – GPS (Global Positioning System). GPS работает на спутниковой связи и ее сигнал не проходит под землю, как и сигнал любой другой системы спутниковой навигации, соответственно, использование ее в подземных условиях невозможно. Именно по этой причине нами изначально была выбрана инерциальная система позиционирования, так как она не зависит от внешних сигналов.



Рис. 4. Система инерциального позиционирования WTGAHRS2

Fig. 4. Inertial Positioning System WTGAHRS2

На основании проведенного анализа существующих инерциальных систем позиционирования, а также с учетом сложных условий работы необходимо разработать требования к системе позиционирования геохода.

Все требования к системе позиционирования геохода, сформулированные авторами статьи, можно разделить на две группы – функциональные и нефункциональные.

К основным функциональным требованиям относятся:

1. Определение пройденного расстояния по осям OX, OY и OZ.
2. Определение углов наклона.
3. Передача данных на небольшие дистанции.

Первое сформулированное авторами статьи функциональное требование относится к измеряемым параметрам положения в пространстве. Так как новейшие горнопроходческие машины имеют возможность перемещаться во всех плоскостях подземного пространства, необходимо измерять

изменения координат относительно начальной точки по трем координатным осям OX, OY и OZ.

Большинство существующих решений инерциального позиционирования используется в таких устройствах, как корабли, подводные лодки, самолеты, беспилотные автомобили и т. д. Как нетрудно догадаться, общая черта этих транспортных средств – высокая скорость передвижения. Рассматриваемые нами горные машины имеют противоположное качество, средняя скорость передвижения таких устройств – около 3 см/мин. Очевидно, что все существующие методы инерциального позиционирования разработаны для быстрого изменения координат и не способны улавливать медленное перемещение.

На основе этой особенности передвижения подземных устройств первое требование стоит дополнить способностью измерять медленное изменение координат (от 1 см/мин).

Второе основное функциональное требование основывается на возможности новых горнопроходческих комплексов изменять углы наклона во время проходки. Эта возможность требует точного измерения углов наклона относительно вектора силы тяжести, выраженных в углах Эйлера: крен, тангаж, рысканье.

Конфигурации систем управления горнопроходческой техники могут сильно различаться между собой. Оператор горной машины может находиться внутри нее или на небольшом расстоянии, в перспективах рассматривается возможность управления с поверхности земли. Исходя из этого, возникает третье функциональное требование: возможность передавать данные о положении на большие расстояния.

Сформулированные нефункциональные требования по технологии разработки системы инерци-

ального позиционирования горных машин следующие:

1. Защита системы инерциального позиционирования от вибраций. При осуществлении проходки горная техника в той или иной степени подвергается произвольным вибрациям и механическим колебаниям, которые имеют прямое отражение на качестве определяемых параметров. В целях устранения проблемы определения местоположения горнопроходческой техники, связанной со снижением точности по причине передающихся колебаний, принято решение о применении в системе инерциального позиционирования метода активной виброизоляции. Внедрение подобной технологии позволит не только гасить передаваемые в корпус системы колебания, но и учитывать их на программном уровне.

2. Соответствие системы пылевлагозащите уровня IP-65. Бурение земли приводит к формированию среды с высоким уровнем содержания пыли, которая будет оказывать прямое влияние на передачу сигнала и различного рода повреждения и перебои в работе электроники. Также в процессе проходки могут возникать и области с повышенной влажностью, поэтому есть прямая необходимость наличия в системе подобной пылевлагозащиты с уровнем IP-65.

3. Автономность работы системы. При возможном аварийном или необходимом отключении горнопроходческой техники устройство должно быть способно продолжать работать в автономном режиме в целях сохранения данных о местоположении оборудования в пространстве без их непосредственного сброса.

Согласно разработанным требованиям к системе инерциального позиционирования горных машин было принято решение о разработке лабораторного

Таблица. Сравнительные характеристики существующих систем инерциального позиционирования  
Table. Comparative characteristics of existing inertial positioning systems

Аналоги	Передача данных на расстояние	Способность работы под землей	Выводимые параметры	Снятие данных для медленного перемещения устройства	Графический формат вывода данных	Дальность передачи сигнала на открытой местности, м
BWT901	Да	Нет	Ox, Oy, Oz; Углы наклона; Магнитное поле	Нет	Да	≤10
Инерциальная система IMU N580	Да	Нет	Ox, Oy, Oz; Скорость; Лин.ускорение; Углы наклона	Да	Да	≤600
WTGAHR S2	Да	Нет	Ox, Oy, Oz; 10 углов наклона; Скорость; Магнитное поле	Нет	Да	≤15
IPStMM	Да	Да	Углы наклона; Перемещение.	Да	Да	≤20



прототипа. Для этого необходимо было решить следующие задачи:

1. Выбрать оборудование и компоненты.
2. Смоделировать работу компонентов, используя информационные технологии.
3. Выбрать приложение для графического вывода информации и сохранения данных.
4. Промоделировать работу лабораторного прототипа инерциальной системы позиционирования горных машин.

Подбор оборудования для реализации лабораторного прототипа осуществлялся на основе разработанных требований к системе инерциального позиционирования, а также с учетом их доступности, цены и вычислительных мощностей.

Список выбранных компонентов:

- STM32 Nucleo-F446RE. Микроконтроллер stm32, базирующийся на плате разработки Nucleo64. Используется для проведения вычислений, обработки считываемых параметров и формирования пакетов данных для передачи через радиомодуль.
- GY-85. Инерциальный модуль, на котором располагаются: трехосевой акселерометр, трехосевой гироскоп, магнитометр, датчик температуры
- nRF24L01. Радиомодуль, необходимый для передачи определяемых параметров позиционирования с устройства до устройства оператора.
- Arduino Nano + nRF24L01. Плата Arduino и радиомодуль для приема сигнала с устройства и передачи его на персональный компьютер оператора.
- TOF10120. Лазерный дальномер, необходимый для повышения точности считывания пройденного расстояния по направлению движения горнопроходческого оборудования.
- Powerbank 10 000 mAh. Используется в головном блоке системы, расположенном внутри корпуса горнопроходческой техники, в целях поддержания автономности устройства на этапах полного отключения оборудования.

Созданный прототип состоит из следующих компонентов:

1. Блок считывания параметров.

Определение и вычисление всех необходимых инерционных параметров системы происходит именно в этом звене системы.

С помощью GY-85, расположенной внутри блока, происходит определение параметров углов наклона системы и проекций кажущегося ускорения оборудования для более точного считывания и расчетов.

2. Устройство приема сигнала.

Прием передающегося потока данных на устройство оператора горнопроходческого оборудования происходит с помощью данного компонента системы (рис. 5).



Рис. 5. Лабораторный прототип системы инерциального позиционирования горных машин  
Fig. 5. Laboratory prototype of the system of inertial positioning of mining machines

В качестве принимаемого устройства используется плата RF-Nano, которая рассчитана на восприятие необходимой частоты сигнала и способна вносить параметры в устройство оператора в необходимом для приложения формате.

3. Приложение графического вывода.

Для удобства чтения оператором полученной информации было принято решение об отображении их в графическом формате: двумерные графики для каждого из получаемых параметров позиционирования (рис. 6), а также отображение общего графика перемещения устройства относительно первоначальной точки отправки горнопроходческого оборудования (рис. 7).

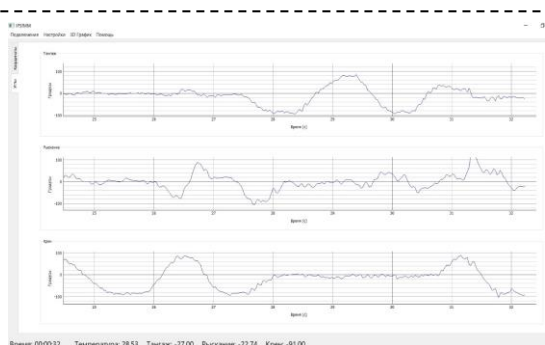


Рис. 6. Отображение двумерных графиков  
Fig. 6. Displaying 2D Plots

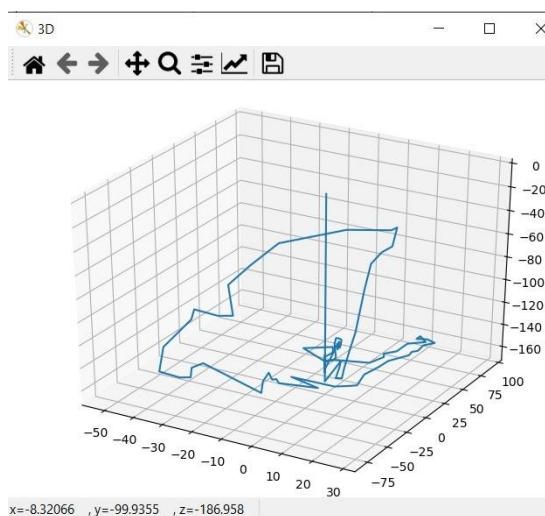


Рис. 7. Отображение трехмерных графиков  
Fig. 7. Displaying 3D Plots

Поскольку у горных машин возможно полное отключение систем питания с возможной потерей

данных, то важной составляющей является и сохранение (рис. 8) этих данных на девайсе оператора.

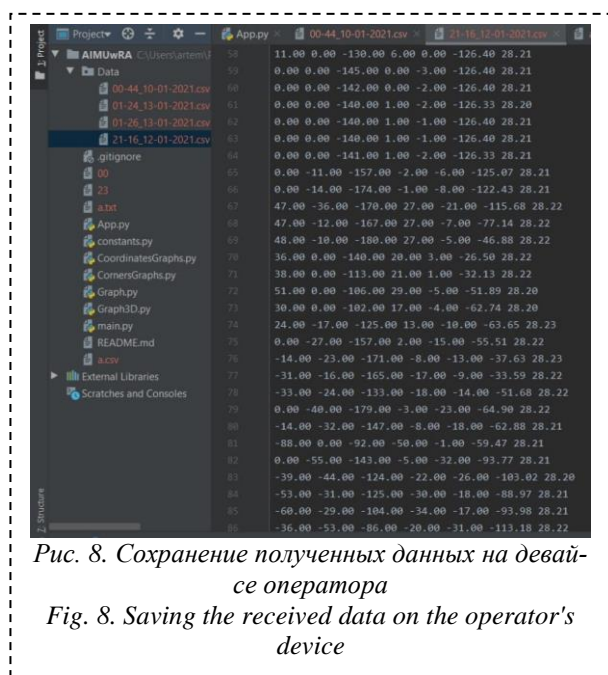


Рис. 8. Сохранение полученных данных на девайсе оператора

Fig. 8. Saving the received data on the operator's device

Главная цель дальнейшей работы состоит в разработке системы инерциального позиционирования, которая отвечает всем сформулированным функциональным и нефункциональным требованиям. Их выполнение позволит применять устройство с максимальной эффективностью и позволит с достаточной точностью определять координаты горной машины в подземном пространстве, а также получать дополнительные снимаемые параметры движения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- поиск и адаптация необходимого математического аппарата для решения задач программирования системы инерциального позиционирования горной техники;
- написание алгоритма по обработке и снятию необходимых параметров;
- обоснование рациональных технических компонентов для создания системы инерциального позиционирования;
- разработка программы по представлению получаемых данных в графическом формате;
- разработка и сборка прототипа устройства, тестирование системы в реальных условиях.

#### Выводы:

В ходе проделанной работы был проведен анализ существующих систем инерциального позиционирования, на основе которого разработаны основные функциональные и нефункциональные требования к системе инерциального позиционирования горных машин, которые должны обязательно учитываться при создании устройства, а также сформулирована цель и задачи дальнейшей работы.

Проведен обоснованный выбор компонентов для создания лабораторного образца системы инерциального позиционирования горных машин. Представлена компоновочная схема прототипа си-

стемы инерциального позиционирования, а также выбранные информационные технологии для отображения и сохранения данных, получаемых от компонентов системы инерциального позиционирования.

Кроме того, был разработан лабораторный образец устройства, который позволит лучше определить дальнейшую область развития и доработок, а также посмотреть на общий принцип работы устройства и необходимые вещи для его полного и наилучшего функционирования в заданных условиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В. В., Магазов С. В., Хорешок А. А. [и др.] Центр испытаний проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований // Горное оборудование и электромеханика. 2020. № 4(150). С. 65-70. doi: 10.26730/1816-4528-2020-4-65-70.
2. Aksenov V. V., Khoreshok A. A., Beglyakov V. Yu., Efremenkov A. B. The concept of creating perspective technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 1) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPCIET 2019. Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012004. doi: 10.1088/1757-899X/656/1/012004.
3. Aksenov V. V., Khoreshok A. A., Beglyakov V. Yu., Efremenkov A. B. The concept of creating perspective technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 2) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPCIET 2019. Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd, 2019. P. 012005. doi: 10.1088/1757-899X/656/1/012005.
4. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Бегляков В. Ю., Пашков Д. А. Геодинамика проходческих подземных аппаратов. Геосреда, форма и поверхности // Горное оборудование и электромеханика. 2021. № 3(155). С. 39-47. doi: 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47.
5. Аксенов В. В., Бегляков В. Ю., Пашков Д. А. Патент № 2703027 С1 Российская Федерация, МПК E21D 9/06. Способ строительства подземной выработки и щитовой проходческий агрегат для его осуществления: № 2018143978: заявл. 11.12.2018: опубл. 15.10.2019. Заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Сибирское научно-производственное объединение» (ООО «Сибирское НПО»).
6. Aksenov V. V., Efremenkov A. B., Sadovets V. Yu. [et al.] Development of a methodology for modeling complex shaped geokhod operating body in SolidWorks // IOP conference series: materials science and engineering: The conference proceedings ISPCIET'2020. Veliky Novgorod : IOP Publishing Ltd,

2020. P. 012005. doi: 10.1088/1757-899X/939/1/012005.

7. Аксенов В. В., Казанцев А. А. Разработка требований к вспомогательным системам геохода // Инновации в машиностроении: Сборник трудов X Международной научно-практической конференции под ред. В. Ю. Блюменштейна. Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2019. С. 280-286.

8. Grigoryev A. V., Semykina I. Y., Ermakov A. N. [et al.] The basic factors on development of the drive control subsystem for the special purpose mobile robot named geokhod // International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM : EDM 2018. Erlagol, Altai : IEEE Computer Society, 2018. P. 667-671. doi: 10.1109/EDM.2018.8435072.

9. Аксенов В. В., Бегляков В. Ю., Блащук М. Ю., Дронов А. А. Разработка математической модели взаимодействия узла сопряжения секций геохода с геосредой и смежными системами // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 2(126). С. 173-182. doi: 10.26730/1999-4125-2018-2-173-181.

10. Аксенов В. В., Хорешок А. А., Бегляков В. Ю. Концепция создания перспективного технологического уклада формирования (освоения) подземного пространства на базе опережающего

развития новых подходов в строительной геотехнологии и геотехнике. Часть 1: предпосылки и основные положения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 4(128). С. 105-114. doi: 10.26730/1999-4125-2018-4-105-113.

11. Аксенов В. В., Чичерин И. В. Общая структура и требования к системе управления геоходом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 6(124). С. 41-47. doi: 10.26730/1999-4125-2017-6-41-46.

12. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces // E3s web of conferences. Kemerovo : EDP Sciences, 2017. P. 03015. doi: 10.1051/e3sconf/20171503015.

13. BWT901 // Wit motion, [Электронный ресурс] // URL: <https://www.wit-motion.com/bluetooth-gyroscope/witmotion-bluetooth-2-0-bwt901-9-axis-sensor.html>

14. IMU HGuide n580 // Aero Expo, [Электронный ресурс] // URL: <https://www.aeroexpo.com.ru/prod/honeywell-safety-and-productivity-solutions/product-186046-65554.html>

15. WTGAHRS2 // Amazon, [Электронный ресурс] // URL: <https://www.amazon.com/High-Stability-Inclinometer-High-Precision-Accelerometer-Navigation/dp/B072ZZ83JZ>

© 2022 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

**Садовец Владимир Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

**Резанова Елена Викторовна**, аспирант ГЭа-211, старший преподаватель, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)

**Садовец Роман Владимирович**, студент гр. См7-116, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный Исследовательский Университет), (105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1)

**Санников Артем Константинович**, студент гр. См7-116 Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный Исследовательский Университет), (105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1)

Заявленный вклад авторов:

Садовец В.Ю. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Резанова Е.В. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Садовец Р.В. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Санников А.К. – постановка исследовательской задачи; научный менеджмент; обзор соответствующей литературы; концептуализация исследования; написание текста, сбор и анализ данных; обзор соответствующей литературы; выводы; написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Vladimir Yu. Sadovets<sup>1\*</sup>, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Elena V. Rezanova<sup>1</sup>, postgraduate student, senior lecturer, Roman V. Sadovets<sup>2</sup>, student Artem K. Sannikov<sup>2</sup>, student.

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

\*E-mail: svyu.pmh@kuzstu.ru

## DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR THE INERTIAL POSITIONING SYSTEM OF MINING MACHINES

### Abstract.

The article presents an analysis of the working conditions of the mining equipment, presents an assessment of the functioning of electronic devices and communication facilities underground, and formulates the main functional and nonfunctional requirements to the inertial positioning system of geokhods. For this purpose the analysis of natural factors indirectly or directly influencing the operability of inertial positioning systems is carried out. The basic demonstration sample of a geokhod, which is the main element of a mobile robotic tunneling complex, with a description of the principle of operation and possibilities of its work is presented. Existing analogues and currently used technologies for determining the position of equipment in space are considered. The basic characteristics of inertial positioning systems selected as analogues are singled out. Comparative characteristics of existing inertial positioning systems are presented. The concept and working principle of specialized tunneling equipment are discussed. On the basis of the analysis the main functional requirements to the system of inertial positioning of geokhods are formulated. The results of the development of the laboratory prototype of the system of inertial positioning of mining machines are presented. The components minimally satisfying the necessary requirements are selected. Model for the technology of data acquisition from the tunneling equipment and for the information receiving board on the operator's computer is simulated. A general layout electric component designed for reading out, sending and receiving parameters from the equipment and for the complete functioning of the system was made. Programs are written to read and process the input data, transfer them to the operator's device and display them in graphical format. On the basis of the developed laboratory model the goal and objectives of further research are formed.



### Article info

Received:

09 November 2021

Accepted for publication:

20 April 2022

Accepted:

22 June 2022

**Keywords:** mining machines, determination of position in space, inertial positioning system, geokhod.

**For citation:** Sadovets V.Yu., Rezanova E.V., Sadovets R.V., Sannikov A.K. Development of requirements for the inertial positioning system of mining machines. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 3(161):3-12 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-3-3-12

### REFERENCES

1. Aksenov V.V., Magazov S.V., Khoreshok A.A. [i dr.] Tsentr ispytaniy prokhodcheskikh podzemnykh apparatov, vzaimodeystvuyushchikh s geosredoy. Oblasti issledovaniy. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2020;4(150): 65-70. doi: 10.26730/1816-4528-2020-4-65-70.

2. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Efremkov A.B. The concept of creating perspective technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 1). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference pro-*

*ceedings ISPCIET 2019*. Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd. 2019. P. 012004. doi: 10.1088/1757-899X/656/1/012004.

3. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Efremkov A.B. The concept of creating perspective technological paradigm of formation (development) of the underground space on the basis of the leading development of new approaches in construction geotechnology and geotechnics. Premises and basic provisions (part 2). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: The conference proceedings ISPCIET 2019*. Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd. 2019. P. 012005. doi: 10.1088/1757-899X/656/1/012005.

4. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu., Pashkov D.A. Geodinamika prokhodcheskikh



podzemnykh apparatov. Geosreda, forma i poverkhnosti. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2021;3(155): 39-47. doi: 10.26730/1816-4528-2021-3-39-47.

5. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Pashkov D.A. Patent № 2703027 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK E21D 9/06. Sposob stroitel'stva podzemnoy vyrabotki i shchitovoy prokhodcheskiy agregat dlya ego osushchestvleniya: № 2018143978: zayavl. 11.12.2018: opubl. 15.10.2019 Zayavitel' Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Sibirskoe nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie» (OOO «Sibirskoe NPO»).

6. Aksenov V.V., Efremenko A.B., Sadovets V.Yu. [et al.] Development of a methodology for modeling complex shaped geokhod operating body in Solid-Works. *IOP conference series: materials science and engineering: The conference proceedings ISP-CIET'2020*. Veliky Novgorod: IOP Publishing Ltd. 2020. P. 012005. doi: 10.1088/1757-899X/939/1/012005.

7. Aksenov V.V., Kazantsev A.A. Razrabotka trebovaniy k vspomogatel'nym sistemam geokhoda. *Innovatsii v mashinostroenii: Sbornik trudov X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii pod redaktsiyey V.Yu. Blyumenshteyna*. Kemerovo: Kuzbasskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva, 2019. P. 280-286.

8. Grigoryev A.V., Semykina I.Y., Ermakov A.N. [et al.] The basic factors on development of the drive control subsystem for the special purpose mobile robot named geokhod. *International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, EDM : EDM 2018*. Erlagol, Altai : IEEE Computer Society, 2018. P. 667-671. doi: 10.1109/EDM.2018.8435072.

9. Aksenov V.V., Beglyakov V.Yu., Blashchuk M.Yu., Dronov A.A. Razrabotka matematicheskoy modeli vzaimodeystviya uzla sopryazheniya seksiyi

geokhoda s geosredoy i smezhnymi sistemami. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018;2(126): 173-182. doi: 10.26730/1999-4125-2018-2-173-181.

10. Aksenov V.V., Khoreshok A.A., Beglyakov V.Yu. Kontseptsiya sozdaniya perspektivnogo tekhnologicheskogo uklada formirovaniya (osvoeniya) podzemnogo prostranstva na baze operezhayushchego razvitiya novykh podkhodov v stroitel'noy geotekhnologii i geotekhnike. Chast' 1 predposylki i osnovnye polozheniya. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2018;4(128): 105-114. doi: 10.26730/1999-4125-2018-4-105-113.

11. Aksenov V.V., Chicherin I.V. Obshchaya struktura i trebovaniya k sisteme upravleniya geokhodom. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017;6(124): 41-47. doi: 10.26730/1999-4125-2017-6-41-46.

12. Aksenov V., Sadovets V., Rezanova E., Pashkov D. Impact of the number of blades of the geokhod cutting body on cutting forces. *E3s web of conferences. Kemerovo, Russian Federation : EDP Sciences*. 2017. P. 03015. doi: 10.1051/e3sconf/20171503015.

13. BWT901. Wit motion, [Elektronnyy resurs] URL: <https://www.wit-motion.com/bluetooth-gyroscope/witmotion-bluetooth-2-0-bwt901-9-axis-sensor.html>

14. IMU HGuide n580. Aero Expo, [Elektronnyy resurs] URL: <https://www.aeroexpo.com.ru/prod/honeywell-safety-and-productivity-solutions/product-186046-65554.html>

15. WTGAHRS2. Amazon, [Elektronnyy resurs] URL: <https://www.amazon.com/High-Stability-Inclinometer-High-Precision-Accelerometer-Navigation/dp/B072ZZ83JZ1>. Sirota D. Yu., Babushkin M. A. (2018) The solving of some inverse problems for ordinary differential equation in engineering applications. *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(2):65.

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declare no conflict of interest.

About the author:

**Vladimir Yu. Sadovets**, C. Sc. (Engineering), Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russia)

**Elena V. Rezanova**, postgraduate student, senior lecturer, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russia)

**Roman V. Sadovets**, student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), (105005, Moscow, st. second Baumanskaya, 5 str.1.)

**Artem K. Sannikov**, student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), (105005, Moscow, st. second Baumanskaya, 5 str.1.)

Contribution of the authors:

Vladimir Yu. Sadovets – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Elena V. Rezanova – research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Roman V. Sadovets– research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

Artem K. Sannikov– research problem statement; scientific management; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research; writing the text, data collection; data analysis; reviewing the relevant literature; drawing the conclusions; writing the text.

*Author have read and approved the final manuscript.*

