

УДК 629.3.05

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ И
ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ПРИ ДВИЖЕНИИ КАРЬЕРНОГО
САМОСВАЛА ПО УГОЛЬНОМУ РАЗРЕЗУ**Садовец Р.В.¹, студент гр. СМ7-82Б, IV курсНаучный руководитель: Сыркин И.С.², к.т.н., доцент¹Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана, г. Москва²Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, Научный центр «Цифровые технологии», г. Кемерово

Аннотация. Одним из направлений развития горнодобывающей промышленности выступает внедрение беспилотных транспортных средств, к ним же относятся и автономные карьерные самосвалы. В настоящей статье рассматриваются составляющие навигационного модуля системы автоматического управления карьерными самосвалами – инерциальная и спутниковая. Произведена первичная обработка инерциальных параметров и географических координат с используемых датчиков. По итогу работы реализовано приложение для визуализации записанных данных при проезде карьерного самосвала по угольному разрезу. Дальнейший их анализ поможет построить более точную в плане локализации и планирования траектории систему автоматического управления карьерным самосвалами.

Ключевые слова: беспилотные транспортные средства, карьерный самосвал, инерциальная система навигация, спутниковая система навигации, обработка данных.

Введение

На сегодняшний день беспилотные транспортные средства (БТС) находят всё более широкое применение в различных областях деятельности человека. Эксплуатация БТС же в горнодобывающей промышленности диктуется целым рядом причин: необходимостью исключения ошибок водителя, повышения эффективности угледобычи и т.д. [1]. Активно разработками в области автономных карьерных самосвалов (КС) занимается коллектив Научного центра «Цифровые технологии» (НЦЦТ) при КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева [2-7], силами которого было выиграно множество грантов на развитие отечественных роботизированных самосвалов.

Система автоматического управления (САУ) КС состоит из определенного количества модулей [2], каждый из которых требует отдельного рассмотрения. В данной научной работе изучается процесс обработки данных, полученных с системы навигации, а именно представление результатов записи

инерциальных параметров и географических координат при проезде самосвала по угольному разрезу, пилотируемого человеком, в систему диспетчеризации предприятия. Эти данные относятся ко входным сигналам в части программной архитектуры САУ КС [3].

Визуализация полученных записей необходима для визуального выявления как особенностей, так и отклонений от параметров движения КС по разрезу, возможных ошибок и неточностей в части программной обработки входных сигналов. Стоит понимать, что от обработки и восприятия входящих параметров зависит работа всех последующих алгоритмов [3, 8-10]: «Восприятия» (Perseption), «Планирования» (Planning) [4-7] и «Управления» (Control).

Таким образом, актуальность работы заключается в интеграции автономных КС в систему диспетчеризации угольного карьера, что является неотъемлемой частью цифровизации угольной промышленности.

Материалы и методы

В качестве базовой платформы для записи проездов взят КС БЕЛАЗ серии 7513 грузоподъемностью 130 т. Для снятия параметров используются бескарданная инерциальная навигационная система БИНС Н1В от компании «Гиронав», установленная под фиксированным произвольным углом, и двухантенный ГНСС-приемник ОС-213 компании «Ориент Системс» (ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система). Частота записи с БИНС составляет $\nu_{\text{БИНС}} = 10$ Гц, с ГНСС $\nu_{\text{ГНСС}} = 400$ Гц. Для повышения точности определения географических координат применяются RTK-поправки.

На рисунке 1 представлен внешний вид устанавливаемых на КС датчиков. Оборудование на самосвале размещается аналогично способу, продемонстрированному на рисунке 2.



Рисунок 1 — Внешний вид устанавливаемого оборудования

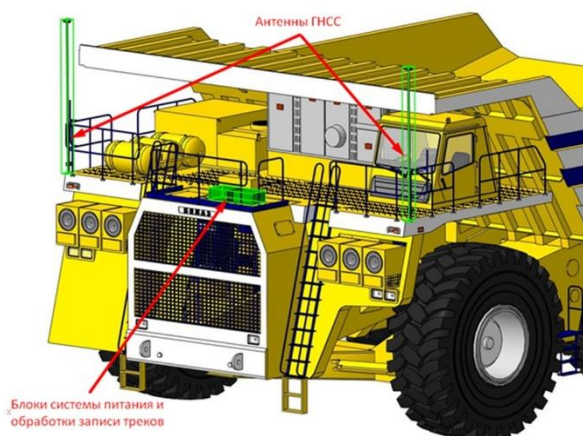


Рисунок 2 — Вариант размещения оборудования на КС, где ГНСС — глобальная навигационная спутниковая система

Для приёма, обработки и записи входных сигналов применяется операционная система ROS2 с необходимыми для функционирования аппаратуры драйверами [11, 12]. После окончания проезда полученные записи конвертируются в 4 файла формат CSV: два с координатами по ГНСС (левый и правый борт), один с данными БИНС и один со скоростью по ГНСС.

Для предварительной обработки файлов применяется программный пакет MATLAB. Для удобства визуализации множества проездов было разработано приложение на базе MATLAB App Designer.

Для построения траектории движения в локальных координатах принимается реперная точка, соответствующая контрольно-пропускному пункту (КПП).

Результаты

На рисунке 3 представлена трехмерная визуализация проезда в локальных координатах с ГНСС-приёмника и RTK поправками.

На рисунке 4 изображены записанные с инерциального модуля линейные ускорения в трех осях и суммарное ускорение, рассчитываемое по формуле длины трёхмерного вектора:

$$|\bar{a}_\Sigma| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}, \quad (1)$$

где a_x, a_y, a_z — линейные ускорения с БИНС в соответствующих нижнему индексу осях. Поскольку длина записи достаточна внушительна (более одного часа), то для большей наглядности на рисунке представлен лишь промежуток движения КС. Для изменения интервала предусмотрены дополнительные поля.

На рисунке 5 изображен тот же временной интервал проезда, но по осям ординат уже отложены скорости по оси Ox (слева) и Oy (справа). Данные о скорости присылаются с ГНСС-приёмника ОС-213.

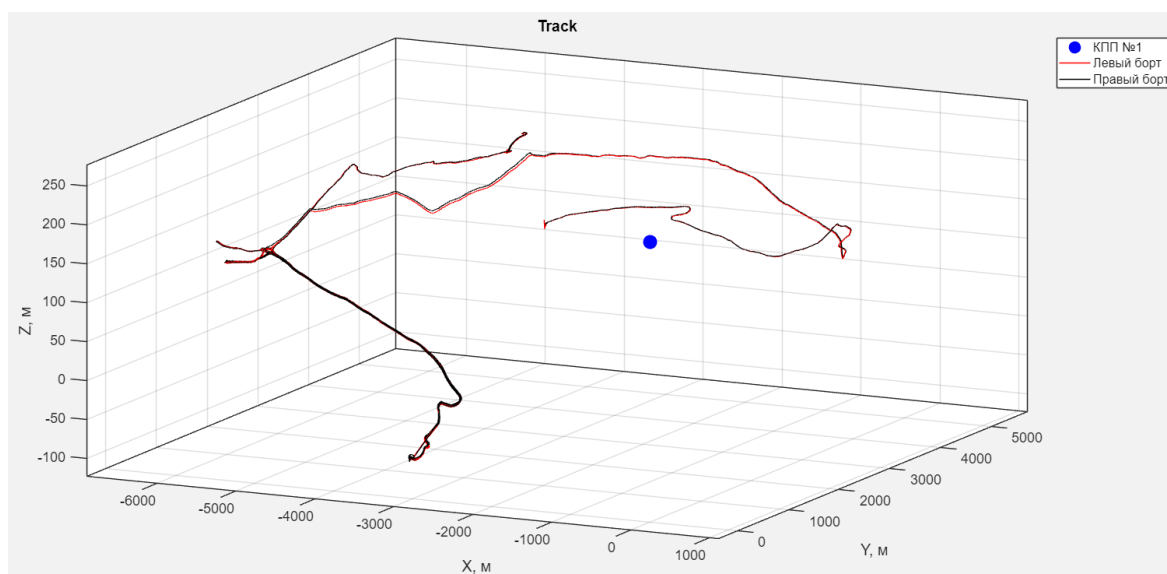


Рисунок 3 — Трёхмерное изображение траектории движения в локальных координатах, где КПП – контрольно-пропускной пункт

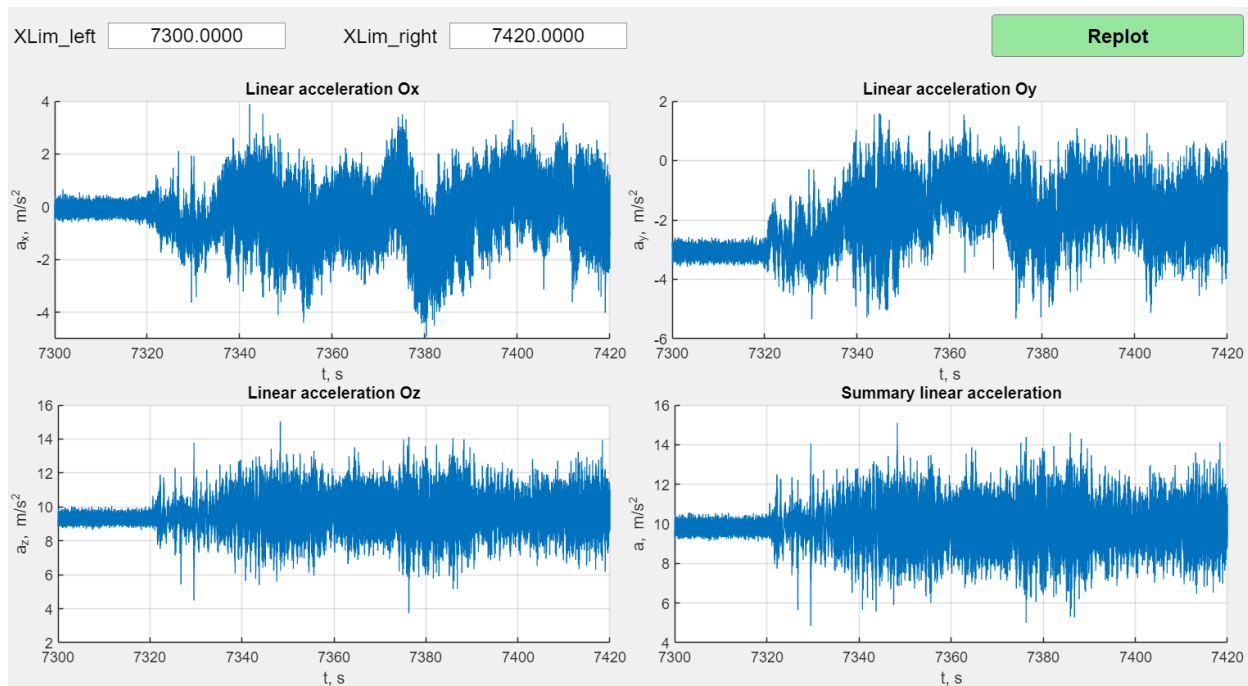


Рисунок 4 — Графики линейных ускорений с БИНС, записанных при проезде КС по угольному разрезу

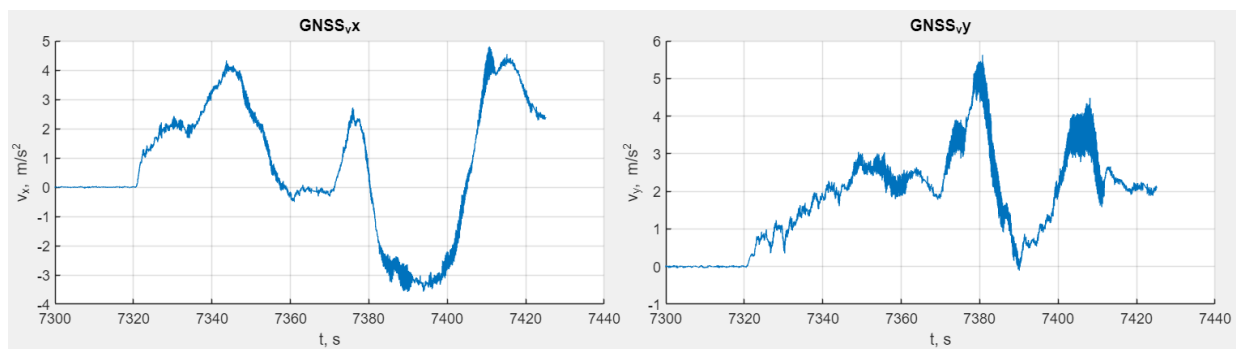


Рисунок 5 — Графики линейных скоростей с ГНСС-приёмника, записанных при проезде КС по угольному разрезу

Обсуждение полученных результатов

По итогу работы разработано приложение для визуализации следующих параметров движения КС: географических координат и скорости с ГНСС, инерциальных параметров с БИНС. Следующим шагом является устранение ошибок в записях (файлах), а также дальнейшая обработка полученных значений. На основе уже отфильтрованной базы данных, с помощью инструментов машинного обучения, можно будет формировать математические модели для решения будущих задач беспилотного управления карьерным самосвалом.

Заключение

1. Проведена предварительная обработка записанных инерциальных параметров и географических координат при движении КС по разрезу, управляемого пилотом.

2. Разработано приложение для визуализации данных с ГНСС-приёмника и инерциального модуля БИНС.

3. Реализованное приложение является удобным инструментом для дальнейшего анализа навигационных параметров. Отфильтрованные данные станут фундаментом для построения САУ составными компонентами беспилотного КС.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению от 30.09.2022 г. №075-15-2022-1198 с ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» Комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» (КНТП «Чистый уголь – Зеленый Кузбасс») в рамках реализации мероприятия «Разработка и создание беспилотного карьерного самосвала челночного типа грузоподъемностью 220 тонн» в части выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Список литературы:

1. Assessment of the Need to Create Control Sytem of Unmanned Dump Truck / D. Dubinkin, V. Sadovets, I. Syrkin, I. Chicherin // E3S Web of Conferences : 18, Ekaterinburg, 02–11 апреля 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 03022. – DOI 10.1051/e3sconf/202017703022.

2. Сыркин И.С., Дубинкин Д.М., Юнусов И.Ф., Ушаков А.Е. Системы управления автономного карьерного самосвала // Россия молодая : Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 19–21 апреля 2022 года / Редколлегия: К.С. Костиков (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 420071-420078.

3. Сыркин И.С. Обзор аппаратной и программной архитектуры системы управления беспилотным карьерным самосвалом // Россия молодая : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 18–21 апреля 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 211061-211065.

4. Using a wavelet medium for computer-aided controlling the movement of unmanned vehicles along quarry routes / I. Chicherin, B. Fedosenkov, I. Syrkin [et al.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – No. 2. – P. 103-112. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-2-103-112.

5. Чичерин И. В., Федосенков Б. А., Сыркин И. С., Садовец В. Ю., Дубинкин Д. М. Аппарат вейвлет-преобразований в автоматизированной системе управления перемещением карьерных беспилотных транспортных средств // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2021. – № 3. – С. 106-114. – DOI 10.21440/0536-1028-2021-3-106-114.

6. Чичерин И. В., Федосенков Б. А., Сыркин И. С., Садовец В. Ю., Дубинкин Д. М. Концепция управления беспилотными транспортными средствами в условиях открытых горных работ // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 8. С. 109–120. 2.

7. Ушаков А.Е. Этапы разработки системы направления движения беспилотного автомобиля // Россия молодая : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 18–21 апреля 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 211081-211086.

8. 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

9. Садовец Р.В., Санников А.К., Резанова Е.В. Разработка прототипа системы инерциального позиционирования горных машин // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 19–20 октября 2021 года / Редколлегия: Д.М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 378-383.

10. Садовец Р.В., Санников А.К., Резанова Е.В. Анализ систем инерциального позиционирования горных машин // Инновации в информационных технологиях, машиностроении и автотранспорте : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 19–20 октября 2021 года / Редколлегия: Д.М. Дубинкин (отв. ред.) [и др.]. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2021. – С. 392-398.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687644 Российская Федерация. Драйвер инерциального блока навигации : № 2024685953 : заявл. 31.10.2024 : опубл. 20.11.2024 / Д. М. Дубинкин, И. С. Сыркин, Д. М. Моисеенков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева».

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665095 Российская Федерация. Модуль локализации по карте на основе показаний датчиков : № 2023664279 : заявл. 05.07.2023 : опубл. 12.07.2023 / И. С. Сыркин, Д. М. Дубинкин, И. Ф. Юнусов [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева».