

Ткачук А.Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Добржанський О.О.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Богдановський М.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Кравчук А.Р.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОЕКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ НАЯВНОСТІ ШКІДЛИВИХ ТА ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ГАЗІВ НА БАЗІ РОБОТИЗОВАНОЇ ГУСЕНИЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

Приведено загальну класифікацію існуючих роботів, детальну увагу приділено роботам AMR. Проаналізовано дослідження спрямовані на розробку систем спостереження на базі мобільних платформ (безпілотних літальних апаратів, колісних роботизованих платформ, надводних та підводних дронів тощо). Проаналізовано їх переваги та недоліки. Проаналізовано дослідницькі напрямки у сфері моніторингу рівня забрудненості повітря. У статті розглянуто нову інформаційно-вимірнювальну систему для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи. Встановлено, що дана система є необхідною для попередження про можливі загрози вибухів чи отруєння газами, проведення рятувальних робіт тощо. Описано розроблену конструкцію роботизованої гусеничної платформи, зображено класичну схему гусеничних коліс та описано її рухи. Звернено увагу на положення приводу, адже в залежності від орієнтації в просторі приводу, залежить напрямок обертання його вихідного валу, а відповідно і напрямок руху гусеничних траків. Приведено функціональну схему інформаційно-вимірнювальної системи для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи. Проаналізовано загальну схему зв'язку між мобільною інформаційно-вимірнювальною системою і наземною станцією, описано процес передачі даних. Для побудови карти газу використовується спеціальна програма (код цієї програми доступний у відкритому репозиторії github). Проведено статичний експеримент розробленої системи, основною ідеєю проведення якого було вивчення залежності відстані джерела газу до вимірнювальної системи та покази концентрації газу. Досліджено датчики газів MQ-5 та MQ-9. Основною ідеєю проведення статичного експерименту є вивчення залежності відстані джерела газу до вимірнювальної системи та покази концентрації газу.

Ключові слова: газоаналізатор, роботизована платформа, регулювання, інформаційно-вимірнювальна система, точність.

Постановка проблеми. Робототехніка є сьогодні однією з пріоритетних галузей науки і техніки. Якщо розглядати, для прикладу, військову галузь, то серед існуючого озброєння можна зустріти інтелектуальних роботів з «очима», «вухами» і іншими сенсорами. Аналогічно родам військ сучасні розвідувальні роботи діляться на три групи: наземні, літаючі і плаваючі. Розвідувальна система має встановити: склад і угруповання противника, наявність резервів, накреслення переднього краю, опорні пункти,

розташування в них вогневих засобів, систему вогню і загороджень, інженерне обладнання місцевості, місця (координати) важливих об'єктів.

Сьогодні приладові розвідувальні системи, в основному, встановлюються на БПЛА (не проводиться розвідка всередині будівель) та мають обмежений функціонал. Тому використання багатфункціональних приладових інформаційно-вимірнювальних систем на базі саме мобільних роботизованих гусеничних платформ є актуальним та доцільним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні існує багато досліджень спрямованих на розробку систем спостереження на базі мобільних платформ (БПЛА, колісних тощо). Проте відсутні роботи про системи-аналоги, яку запропоновано реалізувати у даному проєкті. Існує декілька дослідницьких напрямків у сфері моніторингу рівня забрудненості повітря, візуального контролю та побудови мобільних роботизованих платформ.

У роботі [1, с. 2] описано стан і перспективи розвитку самохідних дистанційно-керованих машини.

У статті [2, с. 231] та [3, с. 4] вказано недоліки систем, запропонованих в [1], а саме те, що вони є стаціонарними.

У роботах [4, с. 149; 5, с. 3] відображено результати досліджень локалізації небезпечних газів на відкритому повітрі. Представлено систему, що здатна виконувати пошук газів по різних сценаріях забруднення. Дану систему було вдосконалено враховуючи непередбачуваний характер розсіювання газу, що описано в [6, с. 36].

У роботах [7, с. 60; 8, с. 6] запропоновано в якості чутливого елемента системи стабілізації використовувати коріолісовий вібраційний гіроскоп. Проаналізовано склад і принцип роботи відомої системи ударо- і віброзахисту навігаційного комплексу. Однак, відсутні пропозиції по покращенню технічних характеристик системи, аналіз математичної моделі та похибок чутливих елементів системи.

мої системи ударо- і віброзахисту навігаційного комплексу. Однак, відсутні пропозиції по покращенню технічних характеристик системи, аналіз математичної моделі та похибок чутливих елементів системи.

Постановка завдання. Мобільний робот – це робот здатний до самостійного переміщення.

Мобільні роботи загалом поділяють на (рис. 1):

- AMR (Autonomous Mobile Robots);
- AGV (Automatic Guided Vehicle).

AMR – даний тип роботів має змогу навігації з неконтрольованого середовища або без необхідної участі пристроїв електромеханічного та фізичного управління, або за допомогою пристрою управління, що дозволяє переміщення за вже визначеним маршрутом у певному просторі.

AGV – даний тип роботів, зазвичай, відносять до промислових. Вони складаються з багатозв'язного маніпулятора та схвату, що зафіксовані на нерухомій поверхні.

Використання AMR є актуальним та навіть необхідним для інформаційно-вимірювальних систем для проведення розвідувальних операцій. Для переміщення AMR використовує дані з камер, вбудованих датчиків і лазерних сканерів, а також складне програмне забезпечення. Такий

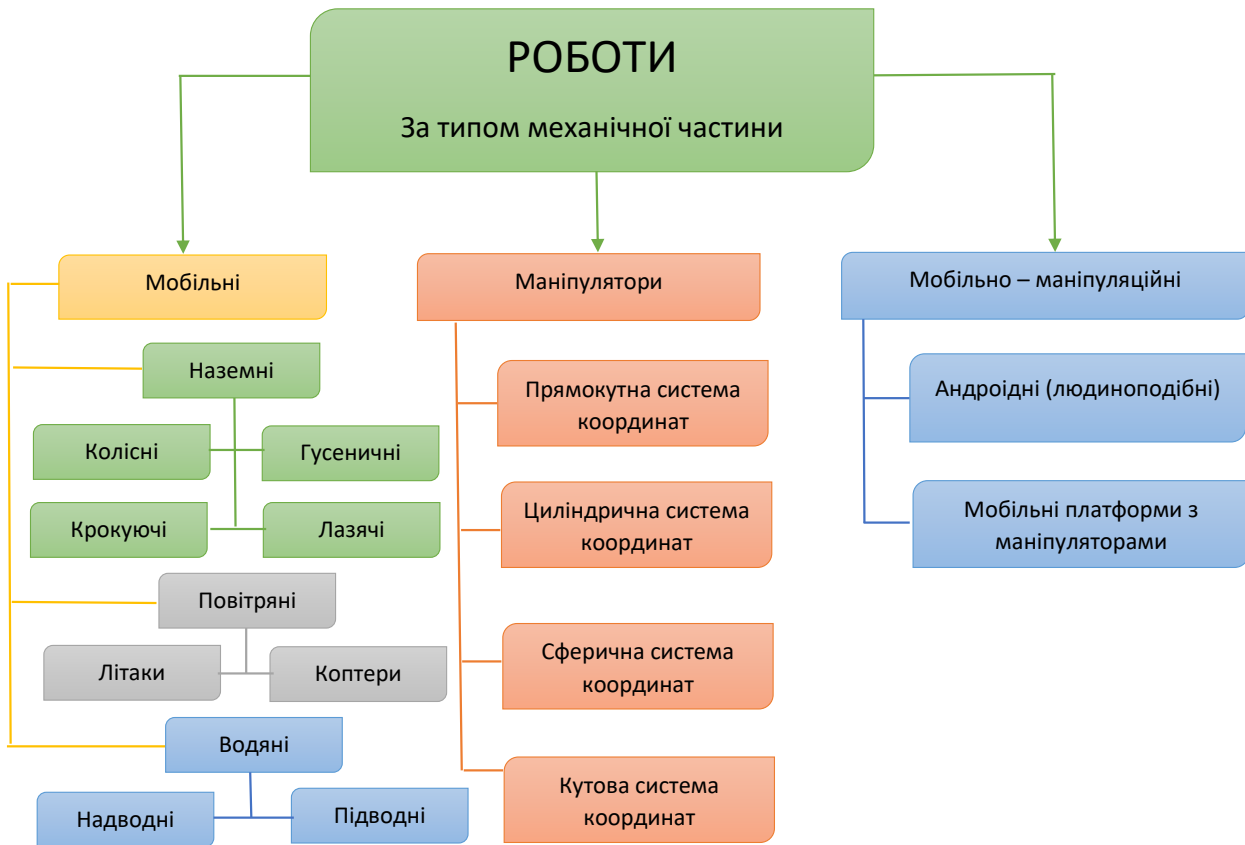


Рис. 1. Класифікація роботів за типом механічної частини

робот працює повністю автономно і якщо перед ним виникають різні перешкоди, AMR буде безпечно маневрувати навколо них, використовуючи кращий альтернативний маршрут. Це значно оптимізує продуктивність роботи і робить даний тип роботів набагато гнучкішими в порівнянні з AGV [9].

Класифікація за типом навігаційних схем:

- Глобальна – визначення абсолютних координат для довгих маршрутів;
- Локальна – визначення координат до певної або початкової точки;
- Персональна – позиціонування роботом частин тіла та взаємодія з навколишніми об'єктами. Зазвичай дану схему використовують для маніпуляторів;
- Спостереження за траєкторією.

Класифікація мобільних роботів за середовищем в якому вони переміщуються: повітряні; морські; сухопутні.

Мета – розробити інформаційно-вимірну систему для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Роботи, призначені для переміщення кам'янистими, нерівними та грубими поверхнями, розробляються як гусеничні.

Важлива відмінна якість гусеничних мобільних роботів полягає в їх маневреності. Володіючи незалежним приводом для кожної з гусениць окремо, мобільний робот може легко змінювати напрямок власного руху.

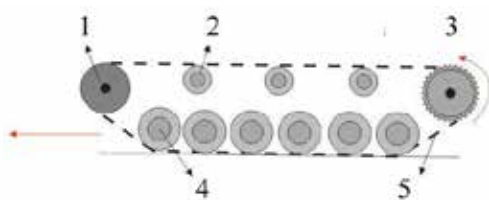


Рис. 2. Класична схема гусеничних коліс:
 1. Лівинець (напрявне колесо); 2. Підтримуючий коток; 3. Ведуче колесо; 4. Опорний коток; 5. Гусениця

Важлива відмінна гусеничних мобільних роботів від інших полягає в їх маневреності. Володіючи незалежним приводом для кожної з гусениць окремо, мобільний робот може легко міняти напрям свого руху. Завдяки тому, що швидкість кожної з гусениць регулюється окремо, досить легко управляти рухом мобільного робота. Для завдання будь-якого напрямку руху необхідно змінити відносну швидкість приводів.

Важливо звертати увагу на положення приводу, адже в залежності від орієнтації в просторі приводу залежить напрямок обертання його вихідного валу, а відповідно і напрямок руху гусеничних траків. Наприклад, для того щоб робот рухався вперед, необхідно, щоб його лівий привід обертався «проти годинникової стрілки», а правий – «за годинниковою стрілкою» (рис. 3).



Рис. 3. Схема руху вперед гусеничного шасі

1. Для того щоб рухатися прямо, необхідно, щоб правий і лівий приводи оберталися з однакою швидкістю в напрямку «прямо».

2. Для того щоб повернути ліворуч, необхідно, щоб швидкість правого приводу була більше, ніж швидкість лівого. Чим більше буде різниця швидкостей, тим менше буде радіус розвороту при русі.

3. Для того щоб повернути праворуч, необхідно, щоб швидкість правого приводу була менше, ніж швидкість лівого. Чим більше буде різниця швидкостей, тим менше буде радіус розвороту при русі.

4. Для того щоб повернути ліворуч на місці, необхідно, щоб правий привід обертався «прямо», а лівий – «назад» з такою ж швидкістю.

5. Для того щоб повернути праворуч на місці, необхідно щоб лівий привід обертався «прямо», а правий «назад» з такою ж швидкістю.

6. Для того щоб рухатися назад, необхідно, щоб правий і лівий приводи оберталися з однакою швидкістю в напрямку «назад» [10].

Гусеничні роботи є найбільш ефективними внаслідок більш високих можливостей в плані подолання перешкод та її стійкості. При наявності допоміжних пристроїв, таких як фліппер або додаткові механічні кінцівки, що дозволяють спертися на недоступні для основних гусениць ділянки перешкод. Крім того, велика площа зіткнення з поверхнею дозволяє гусеничним роботам пересуватися під великим нахилом, ніж можуть собі дозволити колісні роботи. При цьому для управління гусеничним роботом потрібно менше двигунів і набагато менше розрахунків в порівнянні з мобільними роботами, які використовують для переміщення кінцівки. У рятувальній

і розвідувальній робототехніці основними типами задач є задачі створення карти навколишньої місцевості, планування маршруту, розпізнавання людей та інших об'єктів.

Принцип дії запропонованої інформаційно-виміральної системи для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи зображено у вигляді функціональної схеми на рис. 4.

Із центру моніторингу та управління задаватиметься маршрут, вид вимірюваних газів та їх допустима концентрація. Персонал, що знаходиться у робочій зоні буде проінформований про небезпеку системою сигналізації, котра також за необхідності інформуватиме про виявлення надзвичайної ситуації. В блоці вимірювань, що розміщується на мобільній системі, проводиться зняття показів детекторів газу, дані обробляються за допомогою плати Arduino та передаються, за допомогою бездротового з'єднання на комп'ютер, де проводиться аналіз інформації про газовий стан у приміщенні.

Загальна схема зв'язку між мобільною системою і наземною станцією описується на рис. 5.

Arduino Yun створює власне TCP-з'єднання на порту 255. Наземний комп'ютер створює точку

доступу Wi-Fi. Arduino Yun і мобільна платформа підключаються до цієї точки доступу Wi-Fi. Для побудови карти газу використовується спеціальна програма (код цієї програми доступний у відкритому репозиторії github).

Було проведено статичні вимірювання в лабораторії ДП «Житомирстандартметрології» з вимірювання сталої концентрації метану. Отримані результати для датчиків MQ-5 (рис. 6) та MQ-9 (рис. 7) зображено на відповідних графіках.

З першого графіка видно, що в першому вимірюванні значення виходить на поточне за 70 с, але пікова концентрація не є рівномірною і коливається між 61 та 63 ppm. Повернення у вихідне значення відбувається за 38 с.

У другому вимірюванні спостерігаємо більш рівномірне пікове значення у 58 ppm. Вихід від номінальної до пікової концентрації відбувається за 60 с, що на 14% швидше за попередній, а повернення у початкове значення за 18 с, що на 53% швидше.

З другого графіка можна побачити, що в першому вимірюванні значення напруги виходить на поточне за 36 с і швидко фіксується на значенні 0,81 В. Але помітним недоліком даної установки є те, що повернення у номінальне значення відбувається досить довго – цілих 152 с.

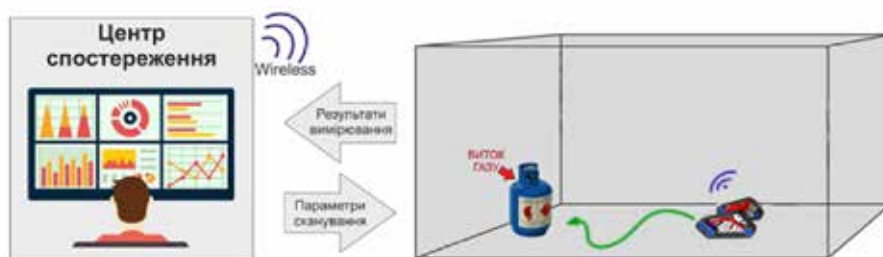


Рис. 4. Функціональна схема інформаційно-виміральної системи для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи



Рис. 5. Схема зв'язку

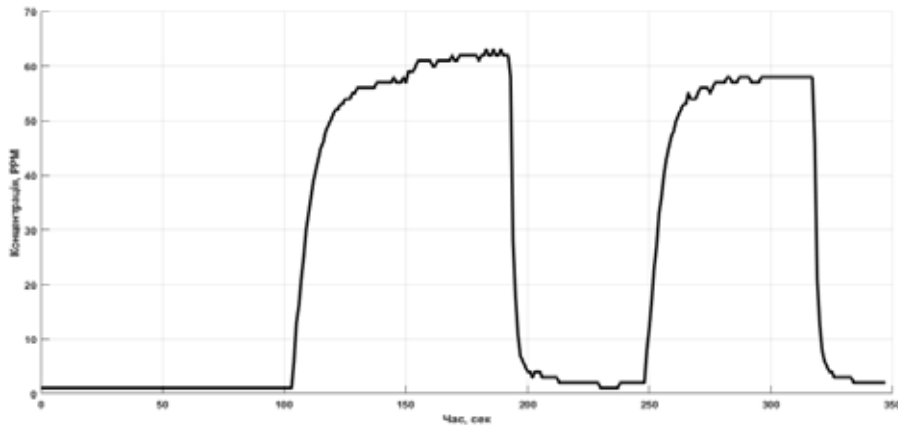


Рис. 6. Графік зміни концентрації метану в часі для датчика MQ-5

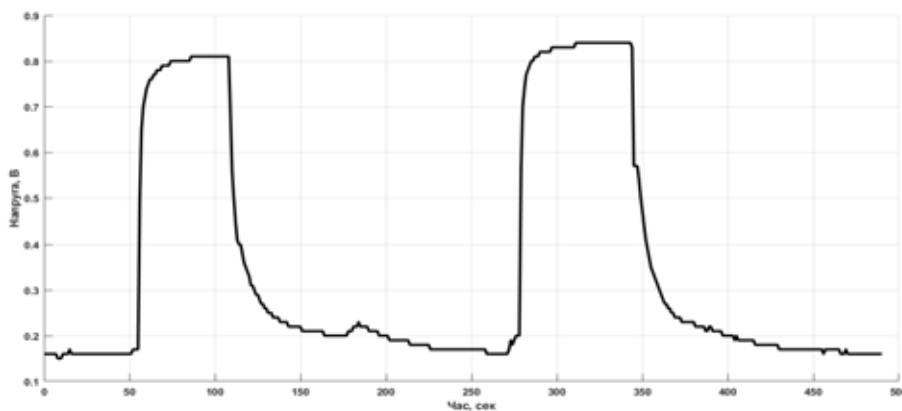


Рис. 7. Графік зміни вихідної напруги в часі для датчика MQ-9

У другому вимірюванні бачимо щось схоже: швидкість стабілізації значення напруги – 41 с, а повернення у номінальне значення за 128 с.

У кожній з установок є свої переваги та недоліки. Нерівномірні пікові значення в першій установці можна пояснити шумами, які створюють надто довгі проводи-конектори, але ця проблема легко усувається мінімізацією їх довжини та екрануванням. Друга установка показала також досить непоганий результат хоча й період одного вимірювання (від номінального до номінального значення) у неї досить великий – 209 секунд проти 128 секунд в першій установці [11].

Отже, враховуючи всі проведені вимірювання і їх аналіз, можна зробити висновок про доцільність використання будь-якої із запропонованих установок так як результати цілком задовольняють необхідній швидкості реакції на зміну газового середовища.

Висновки. Розглянуто нову інформаційно-вимірювальну систему для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи. Встановлено, що дана система є необхідною для попередження про можливі загрози вибухів чи отруєння газами, проведення рятувальних робіт тощо. Описано розроблену конструкцію роботизованої гусеничної платформи. Приведено функціональну схему інформаційно-вимірювальної системи для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі роботизованої гусеничної платформи. Проаналізовано загальну схему зв'язку між мобільною інформаційно-вимірювальною системою і наземною станцією. Проведено статичні експерименти з вимірювання сталої концентрації метану датчиками газів MQ-5 та MQ-9. На основі отриманих результатів було зроблено висновок про доцільність використання будь-якого із запропонованих датчиків для спроектованої системи.

Список літератури:

1. Калінін О.М., Костюк В.В., Русіло П.О., Варванець Ю.В. Стан і перспективи розвитку самохідних дистанційно-керованих машини для потреб Збройних Сил України. *Вісник НТУ "ХПІ"*. 2016. № 39.
2. Yu TC, Lin CC, Chen CC, et al. Wireless sensor networks for indoor air quality monitoring. *Medical engineering & physics*, 2013, 35(2):231-235. DOI: 10.1016/j.medengphy.2011.10.011.
3. Li J, Murong Li JX, Lai B, et al. Wireless sensor network for indoor air quality monitoring. 2014, 4:6. DOI: 10.1016/j.medengphy.2011.10.011.
4. Bartholmai M, Neumann P. Micro-drone for gas measurement in hazardous scenarios via remote sensing. 2010, 149:152.
5. Neumann P, Bartholmai M, Schiller JH, et al. Micro-drone for the characterization and self-optimizing search of hazardous gaseous substance sources: A new approach to determine wind speed and direction. In: *Robotic and Sensors Environments (ROSE)*, 2010 IEEE International Workshop on; IEEE; 2010. p. 1-6. DOI: 10.1109/rose.2010.5675265.
6. Neumann P, Asadi S, Schiller JH, et al. An artificial potential field based sampling strategy for a gas-sensitive micro-drone. In: *IROS Workshop on Robotics for Environmental Monitoring (WREM)*; 2011. p. 34-38.
7. Chikovani V.V. Influence of shock on the vibration amplitude stabilization system of Coriolis vibratory gyroscope resonator / V.V. Chikovani // *Електроніка та системи управління*. – № 4(34). – 2012р. – С. 56-63.
8. Remillieux, G.; Delhayе, F. Sagem Coriolis Vibrating Gyros: A vision realized/ Remillieux G.; Delhayе F.// *Inertial Sensors and Systems Symposium (ISS)*, 2014. – С. 1-13.
9. AGV vs. AMR. – Режим доступа: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/insights/get-started-with-amrs/agv-vs-amr-whats-the-difference/>
10. Bennetts, V.H.; Lilienthal, A.J.; Neumann, P.P.; Trincavelli, M. Mobile robots for localizing gas emission sources on landfill sites: Is bio-inspiration the way to go? *Front. Neuroeng.* 2011, 4, 20.
11. Ткачук А.Г., Коваль А.В., Гуменюк А.А., Крижанівська І.В., Левчук В.О. Експериментальні дослідження автоматизованої системи моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів на базі БпЛА. *Науковий журнал «Технічна інженерія»*. 2021. № 2. С. 55-62.

Tkachuk A.H., Dobrzhanskyi O.O., Bohdanovskyi M.V., Kravchuk A.R. PROJECTING OF INFORMATION AND MEASURING SYSTEM FOR MONITORING THE PRESENCE OF HARMFUL AND EXPLOSIVE GASES BASED ON A MOBILE CRAWLER ROBOTIC PLATFORM

The general classification of existing robots is given, detailed attention is paid to AMR robots. The research is aimed at developing surveillance systems based on mobile platforms (unmanned aerial vehicles, robotic wheeled platforms, surface and underwater drones, etc.). Their advantages and disadvantages are analyzed. Research directions in the field of air pollution monitoring are analyzed. The article considers a new information and measurement system for monitoring the presence of harmful and explosive gases based on a robotic tracked platform. It has been established that this system is necessary to warn of possible threats of explosions or gas poisoning, rescue operations, etc. The developed design of the robotic caterpillar platform is described, the classical scheme of caterpillar wheels is shown and its movements are described. Attention is paid to the position of the drive, because depending on the orientation in the space of the drive, depends on the direction of rotation of its output shaft, and accordingly the direction of movement of tracked tracks. The functional scheme of the information-measuring system for monitoring the presence of harmful and explosive gases on the basis of a robotic caterpillar platform is given. The general scheme of communication between the mobile information-measuring system and the ground station is analyzed, the process of data transmission is described. A special program is used to build the gas map (the code of this program is available in the open github repository). A static experiment of the developed system was carried out, the main idea of which was to study the dependence of the distance of the gas source to the measuring system and to show the gas concentration. Gas sensors MQ-5 and MQ-9 were studied. The main idea of the static experiment is to study the dependence of the distance of the gas source to the measuring system and show the gas concentration.

Key words: gas analyzer, robotic platform, regulation, information and measuring system, accuracy.