

MICROPROCESSOR SYSTEM FOR OPERATIVE MONITORING AND NOTIFICATION OF THE TOXIC SUBSTANCES CONCENTRATION IN THE AIR OF THE WORKING AREA

Vinnitsia National Technical University

Анотація

У роботі розглянуто принципи побудови автономної мікропроцесорної системи для контролю стану повітряного середовища на промислових об'єктах. Основну увагу приділено апаратній реалізації вузла вимірювання та алгоритмам аналізу досягнення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин. Визначено методи підвищення надійності системи в умовах агресивного середовища для забезпечення безпеки персоналу.

Ключові слова: безпека життєдіяльності, мікропроцесорна система, ГДК, сенсори газу, промислова безпека, надійність.

Abstract

The paper examines the principles of constructing an autonomous microprocessor system for monitoring the air environment at industrial facilities. The main focus is on the hardware implementation of the measuring unit and algorithms for analyzing the achievement of maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances. Methods for increasing system reliability in aggressive environments to ensure personnel safety are identified.

Keywords: life safety, microprocessor system, MPC, gas sensors, industrial safety, reliability.

Introduction

Ensuring safe working conditions [1] at enterprises with chemically hazardous processes is a priority task of safety engineering [2]. Traditional means of protection often need to be supplemented with intelligent local monitoring systems that are capable of detecting leaks of toxic substances in real time [3-6]. The relevance of the work lies in the development of a specialized hardware and software complex that integrates computer engineering methods to solve civil defense [7] and labor protection problems.

Architectural organization of the control and security system

1. Concept of construction and hardware structure of the system

The designed microprocessor system of operational monitoring is based on the principles of modularity and high fault tolerance [8]. The main goal of the architecture is to ensure a continuous cycle of data collection on the state of the air environment in the working area of industrial facilities, where there is a risk of leakage of toxic substances, such as ammonia, carbon monoxide and other gases [9-13]. Structurally, the system is divided into several interconnected levels: the level of primary conversion, the computing core and the level of executive devices.

The primary link of the system is represented by a sensor module, where modern electrochemical or semiconductor sensors are used [14-16]. The choice of a specific type of sensor depends on the specifics of production, but what they have in common is the ability to change their electrical parameters in proportion to the concentration of the detected substance [17]. Since the output signal from the sensor is usually very weak and vulnerable to external noise, the architecture assumes the presence of a precision signal preparation path. It includes differential amplifiers that allow you to isolate the useful signal against the background of common-mode interference, and hardware low-frequency filters. This is critically important in modern workshops, where the operation of powerful electric motors and frequency converters creates a significant electromagnetic load that can cause false triggering of the safety system.

2. Software logic and concentration analysis algorithms

The heart of the system is a microcontroller [18], the software of which is built on the basis of a rigid polling cycle. Unlike universal computing systems, this architecture does not use complex operating systems, which guarantees a deterministic response time to an event. All program code is subordinated to the priority of safety tasks.

The operating algorithm begins with reading data from an analog-to-digital converter. The resulting digital code goes through a software filtering stage, where random single value emissions are cut off using the moving average method. After that, the program performs mathematical scaling of the signal, converting abstract voltage units into real physical concentration indicators. Reference tables of Maximum Permissible Concentrations (MPC) are pre-entered into the microcontroller's memory [19]. The system constantly compares current values with these thresholds. Two levels of response are provided: "Warning" when approaching the critical limit and "Accident" when it is reached. Such two-level logic allows personnel to take preventive measures before the situation becomes critical for life and health.

3. Ensuring reliability and self-diagnosis

Special attention in the architecture is paid to self-monitoring mechanisms, which is a mandatory requirement for civil protection systems. The specificity of computer engineering in this project is manifested through the implementation of watchdog timers [20]. This is an independent hardware node that requires regular confirmation of operability from the central processor. If the main program cycle "hangs" due to a software failure or external factors, the watchdog timer automatically initiates a system reboot, returning it to working condition in a fraction of a second.

In addition, an algorithm for checking the integrity of the sensor and communication lines has been implemented. The system constantly monitors the electrical resistance of the sensor circuit. In the event of a line break or degradation of the sensitive element, the device immediately generates a "Fault" signal. This eliminates the situation when, due to a sensor failure, the system shows zero concentration, although in reality the gas level may be dangerous. Thus, the "fail-safe" principle guarantees that any internal problem in the system will be visualized and announced.

4. Notification, switching and event logging systems

The final stage of the system operation is the activation of actuators. Unlike information boards, this system has direct control via relay outputs. When a danger is detected, the microcontroller sends a signal to the power relays, which activate the light-sound alarm and forced exhaust ventilation. This allows you to localize the gas leak even before the arrival of emergency services.

In parallel with the activation of protection, the system performs the function of a "black box". All concentration indicators immediately before the moment of the accident are recorded in non-volatile memory (EEPROM). This is extremely important for further technical investigation of incidents, as it allows you to track the dynamics of the spread of the substance and determine the exact time of the leak. An industrial RS-485 interface is provided for integration into the general enterprise management system. It allows you to combine many such local nodes into a single monitoring network, transmitting data to the central dispatcher at a distance of up to one kilometer without loss of signal quality.

Such a branched architecture provides comprehensive security at the enterprise, combining the functions of measurement, analysis, automatic protection and data archiving, which fully meets the modern requirements for industrial systems for operational air monitoring.

5. Electromagnetic compatibility and precision signal conversion

Taking into account the requirements for the hardware implementation of microcontroller systems, special attention is paid to the PCB layout and minimizing digital noise that can affect the analog part. Since the sensor modules have a high output resistance, any electromagnetic interference can be interpreted as a change in gas concentration.

To ensure accuracy in accordance with the requirements, the architecture implements:

- Separation of grounding circuits: Analog and digital "grounds" are separated to prevent switching noise from the processor from entering the measurement path.
- Reference voltage: Using an external precision reference voltage source (JOHN) instead of the microcontroller supply voltage, which allows to achieve stability of ADC discharges during network fluctuations.
- Differential signal transmission: Using differential cascades at the primary amplification stage, which allows to suppress common-mode interference from industrial equipment even before the digitization stage.

6. Metrological stability and temperature compensation

Gas analyzers must maintain operability in a wide temperature range. Since the sensitivity of electrochemical and semiconductor sensors has a nonlinear temperature dependence, a correction node is integrated into the software logic.

The microcontroller reads data from the auxiliary temperature sensor in real time and performs dynamic concentration recalculation using approximation polynomials or correction tables stored in Flash memory. This ensures that the measurement error will not exceed the limits established by occupational safety standards, even during seasonal temperature changes in the working area.

7. Ergonomics of indication and occupational safety requirements

Based on the principles of occupational safety, the warning system is designed in such a way as to ensure unambiguous perception of the danger signal by personnel wearing personal protective equipment (headphones, masks).

- Light signaling: The color scheme of the indicators complies with the standard (green – safety, yellow – warning, red – danger). The flashing frequency in the "Emergency" mode is chosen so that it is best perceived by peripheral vision.
- Sound pressure: Actuators (sirens) are selected taking into account the background noise level in the workshop, ensuring a sound pressure level that exceeds the background by 15-20 dB.
- Informativeness: The system's LCD display displays not only the numerical value, but also prompts for necessary actions (for example, "LEAVE THE ROOM"), which minimizes the influence of the human factor in stressful situations.

8. Power supply and data transmission line protection

To maintain high fault tolerance, the power supply system is built on a modular principle using switching regulators with a wide input voltage range.

- Watchdog and power supply: The hardware watchdog monitors not only code hangs, but also the correctness of the supply voltage (Brown-out Detection function). When the voltage drops below a critical level, the system goes into a safe state, saving the latest data in the EEPROM and closing the output relays.
- RS-485 interface: For long-distance data transmission, specialized drivers with a high level of protection against electrostatic discharge (ESD) and galvanic isolation are used, which prevents the entire network from burning out if phase voltage hits the communication line.

Conclusions

Therefore, the use of a microprocessor system is of great importance for operational monitoring and notification of the concentration of toxic substances in the air of the working area.

References

1. Лемешев М.С., Березюк О.В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів будівельних спеціальностей: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 110 с.
2. Березюк О.В. Оптимізація міжпредметних зв'язків при формуванні компетенцій з безпеки у фахівців радіотехнічного профілю. Педагогіка безпеки. 2018. № 2. С. 95-101.
3. Березюк О.В. Удосконалення математичної моделі концентрацій забруднювальних речовин у фільтраті полігонів твердих побутових відходів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. № 4. С. 28-31.
4. Березюк О.В. Удосконалення математичної моделі питомих енерговитрат очищення ґрунтів полігонів твердих побутових відходів від забруднення важкими металами. Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи». Львів: ЛДУ БЖД, 2015. С. 185-187.
5. Березюк О.В., Климчук І.М., Васенко Т.Б., Горбатюк С.М. Залежність рівня бактеріологічного забруднення ґрунтів від відстані до полігону твердих побутових відходів. Наукові праці ВНТУ. 2021. № 2. 6 с.
6. Березюк О.В. Впровадження практичного заняття «Дослідження забруднення навколишнього середовища твердими побутовими відходами та розрахунок параметрів машин та обладнання для мінімізації негативного впливу на нього» з дисципліни безпека життєдіяльності. Педагогіка безпеки. 2018. № 1. С. 29-36.
7. Поліщук О.В. та ін. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи з дисципліни «Цивільний захист та охорона праці в галузі архітектури та будівництва. Ч. 1. Цивільний захист» для спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Вінниця: ВНТУ, 2017. 37 с.
8. Азаров О.Д., Черняк Л.С. Архітектура комп'ютера: навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 210 с.
9. Березюк О.В. Моделювання поширеності способів утилізації звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. № 5. С. 65-68.
10. Березюк О.В. Виявлення параметрів впливу на питомий об'єм видобування звалищного газу. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2012. № 3. С. 20-23.
11. Березюк О.В. Розробка математичної моделі прогнозування питомого потенціалу звалищного газу. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 2. С. 39-42.

12. Березюк О.В. Моделювання ефективності видобування звалищного газу для розробки обладнання та стратегії поводження з твердими побутовими відходами. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. № 6. С. 21-24.
13. Березюк О.В. Визначення параметрів впливу на частку диференційовано зібраних твердих побутових відходів. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2011. № 5. С. 154-156.
14. Мельничук О.І. та ін. Датчик малих лінійних переміщень для управління сміттєвозом. Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнар. наук.-прак. конф., 3-5 квіт. 2019 р. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2019. С. 115.
15. Bereziuk O.V. et al. High-precision ultrasonic method for determining the distance between garbage truck and waste bin. Mechatronic Systems 1: Applications in Transport, Logistics, Diagnostics, and Control: collective monograph. London: Routledge, 2021. P. 279-290.
16. Рymar В.В. та ін. Універсальний акустичний датчик-вимикач із затримкою вимикання для регулювання освітлення виробничих приміщень. Безпека життя і діяльності людини освіта, наука, практика: Матеріали XVI Міжнародної науково-методичної конференції БЖДЛ-2018, 25-27 квітня 2018 р. Львів, 2018. С. 167-168.
17. ДСТУ EN 60079-29-1:2017. Газоаналізатори. Вимоги до робочих характеристик приладів для вимірювання концентрації горючих газів.
18. Трегубов В.О. та ін. Удосконалення гідроприводів мобільних робочих машин пропорційною гідроапаратурою та мікроконтролером. Матеріали Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції «Молода наука–роботизація і нанотехнології сучасного машинобудування». ДДМА, 2024. С. 257-261.
19. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: підручник. Львів: Афіша, 2015. 350 с.
20. Microchip Technology. AVR Microcontroller Hardware Design Considerations. [Online resource]. URL: <https://www.microchip.com/>

Безруков Владислав Олександрович – студент групи 2КІ-236 факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bezrukovvladyslav8578212@gmail.com

Науковий керівник: **Березюк Олег Володимирович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: berezyukoleg@i.ua

Vladyslav O. Bezrukov – student of the Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: bezrukovvladyslav8578212@gmail.com

Supervisor: **Oleh V. Bereziuk** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Life Safety and Safety Pedagogy, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: berezyukoleg@i.ua