

POSING THE PROBLEM OF IDENTIFYING UNAUTHORISED ALARM MESSAGES IN THE AUTOMATED SYSTEMS OF EARLY DETECTION OF EMERGENT SITUATIONS

UDC 004.386

DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2018.24.93-100>

YAKOVENKO Vadim

Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Professor at the Department of Information Systems and Technologies, University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine, **E-mail:** yakovenko@ua.fm; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-7762-5410>.

ULIANOVSKA Yuliia

PhD (Engineering Sciences), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Systems and Technologies, University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine, **E-mail:** yuliyauyv@gmail.com; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-5945-5251>.

Abstract. The goal of the paper is to analyze the problem of creating an automated system for early detecting the threat of emergencies of anthropogenic nature and preventing the transmission of unauthorized alarms. The research methods of system analysis, graph theory, information theory were used to achieve this goal. Main results of the research. In most cases the reason for emergencies is a disruption of the technological process. An integral part of the systems of early detection of emergent situations are alarm systems. It's purpose is to notify operators about abnormal or emergent situations through sending alarm signals. In the conditions of real industrial enterprises, most abnormal accidents of alarm, including false and missed alarms, always hinder the judgments of operators. This leads to an errors in the assessment of the situation and critical consequences finally. We can make a conclusion that the problem of improving resistance to interruption to signal processing and recognizing false signals is actual for the effective operation of enterprises and preventing emergencies.

The primary signals and transmission channels may be affected by external and internal interference. It leads to distortion of the signal and transmission of a false information. The problem of identifying false signals as the results of atmospheric agents, human factors and failures are solved "manually" today and that is not rational. Therefore, the problem of converting group of signals into one signal, its further transmission through a communication line and separation of signal for detecting the source of the false message. This approach will provide an opportunity to improve the quality of data transmission and the efficiency of automated systems of early detection of emergent situations on the whole.

Scientific novelty. The classic methods of digital discrimination discriminate when applied to identifying false alarms. The transmitted signals should be known for correct identification. Under real conditions, signals may be distorted due to



interference with communication channels. Another limitation on the use of classical methods is the condition for perfect synchronization of signals.

Thus, it is necessary to develop methods for processing signals and detecting false signals without existing restrictions and taking into account incompleteness of data. This approach will improve the quality of data transmission and the effectiveness of automated early detection systems in general.

Practical significance. Solving of the defined problem will give opportunity to increase the accuracy and reliability of the parameters of the emergent situations monitoring systems. Early detection of such emergent situations is a guarantee of prevention of man-made disasters at different levels.

Keywords: *emergency situations, unauthorized alarm messages, automated systems.*

Formulation of the problem. An analysis of the current state of technogenic safety in Ukraine indicates that a lot of objects with an accidents risk are present. These accidents could lead to emergencies of a different nature. There is a high risk of emergencies connected with accidents with release or threat of release of hazardous chemicals in Ukraine. It relates to the operation of 711 facilities. Mentioned above facilities store or use in the production activity more than 285 thousand tons of hazardous chemicals, including 3 thousand tons of chlorine, 183 thousand tons of ammonia and about 99 thousand tons of other hazardous chemicals [1]. Among the objects that store or use chemicals in their activities, the most potentially dangerous are:

- production of explosives and disposal of unsuitable ammunition;
- large-scale production of inorganic substances (mineral fertilizers, chlorine, ammonia, acids);
- oil and gas refineries;
- production of organic synthesis products;
- production using chlorine and ammonia;
- Warehouses with reserves of pesticides for agriculture;
- main ammonia and ethylene pipelines.

Considering the importance of protecting the population and the environment from the emergencies at the dangerous objects, the Cabinet of Ministers of Ukraine developed and approved the Methodology for determining the risks and their permitted levels for making statement of being safe about dangerous objects, and also the thresholds of hazardous substances [2].

The automated systems for early detection of emergencies and for alarms in the cases of emergencies are installed at the dangerous enterprises. In the case of a threat or emergency, the automated system should automatically

inform responsible persons about identified threat. The responsible persons have to carry out certain actions to prevent the emergency or minimize the negative consequences in case of its occurrence [3].

Taking into consideration the state of technogenic safety and significant number of dangerous objects in Ukraine, preventing emergencies and timely informing the responsible persons about the threats of their occurrence is an urgent problem. The guarantee of preventing man-made disasters at all levels is the accuracy and reliability of monitoring systems parameters, as well as their early detection.

An integral part of mentioned systems of early detection of emergencies are the alarm systems. Their purpose is to inform responsible persons by sending alarm signals about abnormal or emergent situations. The most of abnormal alarms, including false alarms and missed alarms, always hinder the judgments of operators in real conditions at the industrial enterprises [4]. This leads to errors in the assessment of the situation and can lead to critical consequences. Thus the problem of improving resistance to interruption to signal processing and recognizing false signals is actual for the effective operation of enterprises and preventing emergencies.

Analysis of recent research and publications. The reason for the occurrence of emergencies is mostly a violation of the technological process. The problem of recognizing false alarms is relevant for most of automated systems. Particularly for security systems, fire safety systems, detection systems, radar systems in the military sphere, and others [5-6]. False alarms are associated with information exchange technologies and occur as a side effect of system technologies and the process of notification [7].

The authors of paper [5] listed such causes of false alarms as incorrect installation of sensors, improper setting

of electronic blocks, etc. They propose to use the probabilistic approach to determine the sensor's resistance to interruption based on statistical data.

Signals are transferred from primary information source in the form of GSM messages or radio signals both by means of electrical signals or wireless communication channel. The problem of signal transform and protection from interference occurs.

Depending on the subject area, where the problem of detecting and eliminating false alarms occurs and depending on the type of signal, it can be processed by different methods. For example, in the paper [8] author proposed to use conditional probabilities taking into account the levels of false alarms and reliability in the framework of creating a reliable engineering system.

There are adaptive, non-parametric, adaptively-nonparametric and robust methods of resistant detection and stabilization of false alarms level. In general they can be divided into pre-detecting and after-detecting methods for stabilizing false alarms [9].

In paper [10] author gives an algorithm to achieve consistent probability of false alarms. It is based on the calculation of threshold value, which is a quantile of the distribution of maximum values.

Due to conducting an analysis of research papers devoted to the problem of detecting false alarms, we can make a conclusion that the developing methods for recognizing false alarms is an actual problem and its solution depends on the field of subject.

The aim of the study. The purpose of this research is to analyze the problem of creating an automated system for early detection of the threat of emergencies of anthropogenic nature and prevent the transmission of unauthorized alarms.

In order to solve the problem we have to investigate the scheme of signals transmission from the sources to the responsible person; characteristics of transmitted signals; requirements for the system of message transmission and requirements for data being processed.

Setting the problem of detecting unauthorized alarms. The alert is made by transmitting signals from measuring sensors to its respondents. The storage of data from sources of primary information should include:

- Receiving data in the form of analog, discrete or coded signals that include information about the current value of controlled parameters and its reaching critical values, as well as information related to the tripping of manual detectors;

- Receiving information from primary information sources about their performance loss;

- Determining the ability of communication channels to transmit signals from the sources of primary information (sensors), depending on the source interface controlling the lines of communication for breakage or closure, deviations of the defined parameters, the presence of confirmation from the DPI on the exchange of data, the reliability of the data received from primary information source.

Recognition of discrete messages in the presence of interference for coherent signal receiving is carried out under the following conditions [10]:

- 1) the transmitted signals $s_i(x)$, $i = 1, \dots, m$ is completely known;

- 2) the communication channel has known parameters;

- 3) the interference $n(x)$ has an additive character, has a Gaussian probability density and a known spectral density G_N ;

- 4) Synchronization of signals is ideal.

Then the real signal can be described by the model:

$$\xi(x) = s_i(x) + n(x) \quad (1)$$

where $\xi(x)$ -measured vector that includes all possible transmitted signals $s_i(x)$ (for a each signal $s_i(x)$ $(m-1)$ components of the vector $\xi(x)$ are zero). It is necessary to provide the optimal difference of the signals $s_i(x)$.

Analog signal processing can take place by making them discrete.

Let's introduce the following designation

SU – a switching unit

UNU – Universal notification unit

LS – a loudspeaker

IE – inputs Extender

RD – reconciliation device

MA – manual alert

RF – radio feeder

PTN – a public telecommunication network

AA – an additional amplifier

Thus the signal transfer process can schematically be described as it shown at the Fig. 1

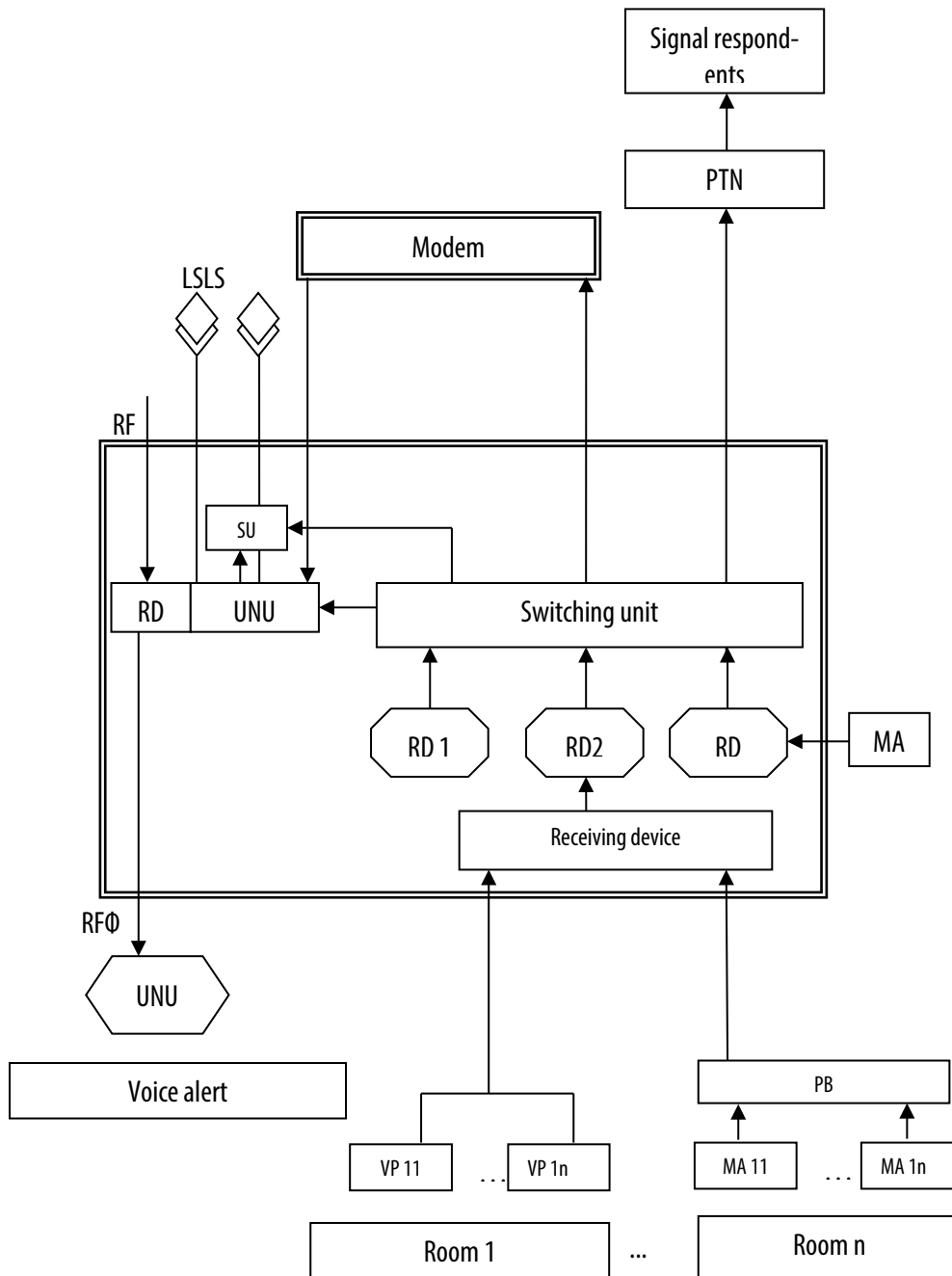


Fig. 1. Signal transfer process

In the process of collecting data concerning the current state of sources of man-caused hazards and natural hazards from the primary information sources further stages is carried out:

- Creating appropriate notifications in case of violations of the capacity of technical means of the system,

- Comparison of the current values of parameters received from the primary information sources with defined thresholds and creating appropriate messages in the case of excess,

- Creating corresponding messages in case of violation (restoration) of communication with primary information

sources, refusal (restoration) of primary information sources performance,

- prohibiting the creation of a message in case of refusal of the primary information sources or a violation of the connection with it.

The primary information source signal is transmitted to the receiving device, which processes the signals and transmits information to the modem device from which the data is transmitted to the central monitoring panel. The primary signals and lines of communication may be affected by external and internal interference, which results in distortion of the signal and transmission of a false message. The problem of identifying false signals as the results of atmospheric agents, human factors and failures are solved "manually" today and that is not rational. The distance between the primary information source and the remote control can reach several kilometers in the conditions of real industrial enterprises. Therefore, the problem of converting group of signals into one signal, its further transmission through a communication line and separation of signal for detecting the source of the false message. This approach will provide an opportunity to improve the quality of data transmission and the efficiency of automated systems of early detection of emergent situations on the whole.

Let's formulate the statement of the problem. Let N sources (UNU, MA) transmit signals x_1, x_2, \dots, x_n to the device (gas analyzer). It is necessary to convert the set of signals $\{x_i\}$ into a group signal $S_\Sigma(t)$. The group signal are transmitted through condensed channel to a device with an additive interference $n(t)$ and the receiver gets the message from the device in separated form

$$U_\Sigma(t) = S_\Sigma(t) + n(t) \quad (2)$$

The task of the separation device is to divide the group signal $U_Y(t)$ and convert it into a set of messages y_1, y_2, \dots, y_n .

For this purpose device has to select a system of the functions $\{S_i\}$ with will provide recovery of x_i through y_i due to received signal group $U_Y(t)$.

As a result, the problem is to combine and separate signals.

It is necessary to use orthogonal signals in order to exclude the possible influence of individual signals on each other [10]. That is, for any pair of signals $S_i, S_j, i \neq j$ one of the conditions must be fulfilled:

$$\int_{-T/2}^{T/2} S_i(\varpi, \Theta, t) \cdot S_j(\varpi, \Theta, t) dt = 0 \quad (3)$$

where T is the duration of the signal element, ω - the signal frequency, Θ is the spatial angle of signal observation.

Discrete signals can be represented by a N -dimensional vector $X = (x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_{N-1})$, where x_i - the numerical value of the signal at the point i of the discrete frame. The methods of transformation that allow reproducing the output signals with sufficient accuracy with a smaller number of readings could be used in this case [13].

Conclusions:

1. An analysis of the current state of technogenic safety in Ukraine shows that preventing emergencies and timely informing the responsible persons about the threats of their occurrence is an urgent problem.

2. Due to conducting an analysis of research papers devoted to the problem of detecting false alarms we have made a conclusion that the main causes of false alarms as incorrect installation of sensors, improper setting of electronic blocks, etc.

3. The purpose of analyzing the problem of creating an automated system of early detecting emergencies of anthropogenic nature and preventing the transmission of unauthorized alarms is set. Classical methods for recognizing discrete messages applied to the recognition of false alarms have a lot of shortcomings. The transmitted signals must be known. In real conditions, taking into account the noises influencing the communication channels, transmitted signals could be distorted or not transmitted. Restriction in application of classical methods is also a condition of perfect synchronization of signals.

4. The problem of detecting unauthorized alert messages where informing is conducted by transmitting signals from measuring sensors to the respondents of the notification were set.

**REFERENCES:**

1. The Ukrainian Civil Protection Research Institute (UkrCPRI) (2016) *Analitychnyj oghlad stanu tehnogenoj ta pryrodnoj bezpeky v Ukrainy za 2016 rik*. Retrieved from <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichnij-oglyad-stanu-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bezpeki-v-Ukrayini.html>
2. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2002) *Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy «Pro identyfikaciju ta deklaruvannia bezpeky ob'ektiv pidvyshennoj nebezpeky» vid 11 lypnia 2002 r. № 956*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-n>
3. Evdin, O. & Blazhchuk, K. (2014). *Avtomatyzovani systemy rannogo vyjavlennia zagrozy vynyknennia nadzvycajnyh sytuacij ta opovishennia naseleennia. DBN.V.2.5.-76:2014*. K. Minregion Ukrainy. 2014. 38 p.
4. Su, J., Wang D., & Zhang Y. (2018) A multi-setpoint delay-timer alarming strategy for industrial alarm monitoring. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. №. 54, 1-9 doi.org/10.1016/j.jlp.2018.02.004.
5. Pogrebennik, V.D. & Politylo, R.V. (2012) Ociniuvannia virogidnosti vyjavlennia porushennia stanu ob'ekta. *Visnyk Nacionalnogouniversytetu "Lvivskapolitehnika". Avtomatyka vymiriuvannia ta keruvannia*, № 741. P. 92-97.
6. Moradi S., Moallem P. & Sabahi M.F. (2018) A false-alarm aware methodology to develop robust and efficient multi-scale in frared small target detection algorithm. *Infrared Physics & Technology*, Vol. 89, 387-397 doi.org/10.1016/j.infrared.2018.01.032.
7. Festag, S. (2016) False alarm ratio of fire detection and fire alarm systems in Germany – A metaanalysis. *Fire Safety Journal*, Vol. 79, 119-126.
8. Yoon, J.T., Youn B.D. & Yoo M. (2017) A newly formulated resilience measure that considers false alarms. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 167, 417-427 <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.06.013>
9. Teslenko, O.V., Kovalcuk V.A. & Brovchenko S.V. (2010) Stabilizacia rivnia hybnyh tryvog za rahunok zminy parametriv zonuvalnogo sygnalu RLS. *Systemy ozbroennia i viyskova tehnika. Teoretycni osnovy rozrobky system ozbroennia*, №4(24), 167-170
10. Bugayov, M. (2017) Algoritm stabilizacii imovimosti hybnoi tryvogy iz vykorystanniam rozpodilu maksimalnyh znacen. *Materialy III Vseukrainskoi naukovo-tehnicnoi konferencii «Teoretycni ta prykladni aspekty radiotehniki i prylado buduvannia»*, P. 3-4.
11. Bilynskiy, Y. Y., Ogorodnik, K.V. & Yukish, M. Y. (2011) *Elektronni systemy: navcalnyi posibnyk*. Vinnitsia: VNTU.
12. Vasil'ev, K.K., Glushkov, V.A. & Dormidontov A.V. (2008) *Teopiya elektricheskoi sviazi: ucebnoe posobie*. Ulinovsk: UIGtu.
13. Filipenko, I.G., Filipenko, I. G. (2010) *Mnogourovnevoe priamoie i obratnoie preobrazovanie diskretnykh signalov*. Eastern-European journal of Enterprise Technologies (Vostocno-evropejskij zhurnal peredovykh tehnologiy.) № 4/3(46). 29-32.

ЯКОВЕНКО Вадим Александрович

д.т.н., доц., профессор кафедры информационных систем и технологий Университета таможенного дела и финансов, г. Днепр, Украина,
E-mail: yakovenko@ua.fm; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-7762-5410>.

УЛЬЯНОВСКАЯ Юлия Викторовна

к.т.н., доц., доцент кафедры информационных систем и технологий Университета таможенного дела и финансов, г. Днепр, Украина,
E-mail: yuliyauyv@gmail.com; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-5945-5251>.

Аннотация. Целью данной работы является анализ проблемы создания автоматизированной системы раннего обнаружения угрозы чрезвычайных ситуаций антропогенного характера и предотвращения передачи несанкционированных сигналов тревоги. Для достижения этой цели использовались методы исследования системного анализа, теории графов, теории информации. Основные результаты исследования. В большинстве случаев причиной аварийных ситуаций является нарушение технологического процесса. Неотъемлемой частью систем раннего обнаружения нештатных ситуаций являются системы сигнализации. Целью таких систем является оповещение операторов об аномальных или аварийных ситуациях посредством отправки сигналов тревоги. В условиях реальных промышленных предприятий ложные и пропущенные сигналы препятствуют правильным суждениям операторов. Это приводит к ошибкам в оценке ситуации и критическим последствиям в конечном итоге. Можно сделать вывод, что проблема повышения устойчивости к прерыванию обработки сигналов и распознавание ложных сигналов актуальна для эффективной работы предприятий и предотвращения аварийных ситуаций.

На первичные сигналы и каналы передачи могут влиять внешние и внутренние помехи. Это приводит к искажению сигнала и передаче ложной информации. Проблема выявления ложных сигналов как результат воздействия атмосферных факторов, человеческих факторов и отказов решается сегодня «вручную», что не рационально. Поэтому возникает проблема преобразования группового сигнала в один сигнал, дальнейшей его передачи по линии связи и разделения сигнала для обнаружения источника ложного сообщения. Такой подход даст возмож-

ность повысить качество передачи данных и эффективность автоматизированных систем раннего обнаружения нештатных ситуаций в целом.

Научная новизна. Классические методы распознавания цифровых сообщений имеют недостатки при применении к идентификации ложных тревог. Передаваемые сигналы для правильной идентификации должны быть известны. С учетом помех, влияющих на каналы связи, в реальных условиях сигналы могут быть искажены. Еще одним ограничением применения классических методов является условие идеальной синхронизации сигналов.

Таким образом, необходимо разработать методы обработки сигналов и обнаружения ложных сигналов, которые бы снимали ограничения, присущие классическим методам и учитывали неполноту данных. Такой подход даст возможность повысить качество передачи данных и эффективность автоматизированных систем раннего обнаружения нештатных ситуаций в целом.

Практическое значение. Решение поставленной задачи позволит повысить точность и достоверность параметров систем мониторинга чрезвычайных ситуаций. Раннее выявление таких возникающих ситуаций является гарантией предотвращения техногенных катастроф на разных уровнях.

ЯКОВЕНКО Вадим Олександрович

д.т.н., доц., професор кафедри інформаційних систем та технологій Університету митної справи та фінансів, м. Дніпро, Україна,
E-mail: yakovenko@ua.fm; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-7762-5410>.

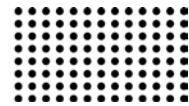
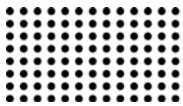
УЛЬЯНОВСЬКА Юлія Вікторівна

к.т.н., доц., доцент кафедри інформаційних систем та технологій Університету митної справи та фінансів, м. Дніпро, Україна,
E-mail: yuliyauyv@gmail.com; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-5945-5251>.

Анотація. Метою статті є аналіз проблеми створення автоматизованої системи раннього виявлення загрози надзвичайних ситуацій антропогенного характеру та запобігання передачі несанкціонованих тривожних повідомлень. Для досягнення цієї мети були використані методи дослідження системного аналізу, теорії графів, теорії інформації. Основні результати дослідження. У більшості випадків причиною надзвичайних ситуацій є порушення технологічного процесу. Невід'ємною частиною систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій є системи сигналізації. Призначення зазначених систем є сповіщення операторів про аномальні або надзвичайні ситуації шляхом надсилання сигналів тривоги. В умовах реальних промислових підприємств помилкові та пропущені сигнали тривоги перешкоджають правильним судженням операторів. Це призводить до помилок в оцінці ситуації та критичних наслідків. Можна зробити висновок, що проблема підвищення стійкості до переривання обробки сигналів і розпізнавання помилкових сигналів є актуальною для ефективної роботи підприємств і запобігання надзвичайним ситуаціям.

На первинні сигнали і канали передачі можуть впливати зовнішні та внутрішні перешкоди. Це призводить до спотворення сигналу і передачі хибної інформації. Проблема виявлення помилкових сигналів як результат впливу атмосферних явищ, людських факторів та відмов вирішується сьогодні "вручну", що не раціонально. Тому виникає проблема перетворення групового сигналу в один сигнал, його подальша передача по лінії зв'язку і поділ сигналу для виявлення джерела помилкового повідомлення. Такий підхід дасть можливість поліпшити якість передачі даних та ефективність автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій в цілому.

Наукова новизна. Класичні методи дискримінації цифрових повідомлень мають недоліки при застосуванні до ідентифікації помилкових тривог. Передані сигнали повинні бути відомі для правильної ідентифікації. У реальних умовах сигнали можуть бути спотворені унаслідок перешкод, що впливають на канали зв'язку. Іншим обмеженням на застосування класичних методів є умова досконалої синхронізації сигналів.



Таким чином, необхідно розробити методи обробки сигналів та виявлення хибних сигналів без існуючих обмежень та враховували неповноту даних. Такий підхід дасть можливість поліпшити якість передачі даних та ефективність автоматизованих систем раннього виявлення надзвичайних ситуацій в цілому.

Практичне значення. Вирішення поставленої задачі дасть можливість підвищити точність і достовірність параметрів систем моніторингу на ситуації. Раннє виявлення виникнення надзвичайних ситуацій є запорукою запобігання техногенних катастроф на різних рівнях.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту (УкрНДІЦЗ). (2016). *Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2016 рік* Retrieved from <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoi-ta-prirodnoi-bezpeki-v-Ukrayini.html>
2. Кабінет міністрів України. (2002). *Постанова Кабінету міністрів України «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» від 11 липня 2002 р. № 956* Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-p>.
3. Євдін, О. & Блажчук К. (2014). *Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення: ДБН В.2.5.-76:2014*. Київ: Мінрегіон України. 38 с.
4. Su, J., Wang, D. & Zhang, Y. (2018). A multi-setpoint delay-timer alarming strategy for industrial alarm monitoring. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, № 54, 1-9 doi.org/10.1016/j.jlp.2018.02.004
5. Погребенник, В.Д., Політило, Р.В. (2012) Оцінювання вірогідності виявлення порушення стану об'єкта. *Вісник національного університету «Львівська політехніка». Автоматика вимірювання та керування*, № 741, 92-97
6. Moradi, S., Moallem, P. & Sabahi, M.F. (2018) A false-alarm aware methodology to develop robust and efficient multi-scale in frared small target detection algorithm. *Infrared Physics & Technology*, Vol.89, 387-397 doi.org/10.1016/j.infrared.2018.01.032
7. Festag S. (2016) False alarm ratio of fire detection and fire alarm systems in Germany – A meta analysis. *Fire Safety Journal*, Vol. 79, 119-126
8. Yoon, J.T., Youn, B.D. & Yoo, M. (2017) A newly formulated resilience measure that considers false alarms. *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 167, 417-427 <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.06.013>
9. Тесленко, О.В., Ковальчук, В.А. & Бровченко, С.В. (2010) Стабілізація рівня хибних тривоги за рахунок зміни параметрів зондувального сигналу РЛС. *Системи озброєння і військова техніка. Теоретичні основи розробки систем озброєння*, № 4(24), 167-170.
10. Бугайов, М. (2017) Алгоритм стабілізації ймовірності хибної тривоги із використанням розподілу максимальних значень. *«Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки і приладобудування»: матеріали III Всеукраїнської наук.-техн. конф. (Тернопіль, 8-9 чер. 2017) Тернопіль: ТНТУ, 3-4.*
11. Білинський, Й. Й., Огороднік, К. В. & Юкиш М. Й. (2011). *Електронні системи: навчальний посібник*. Вінниця: ВНТУ.
12. Васильев, К.К., Глушков В.А. & Дормидонтов А.В. (2008). *Теория электрической связи: учебное пособие*. Ульяновск: УлГТУ.
13. Филиппенко И.Г., Филиппенко И.О. (2010) Многоуровневое прямое и обратное преобразование дискретных сигналов. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, № 4/3 (46), 29-32.