Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

INFORMATION TECHNOLOGY: COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING AND CYBER SECURITY

Випуск 2

Видавничий дім
«Гельветика»
2021

Журнал ухвалено до друку Вченою радою
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
20 травня 2021 р., протокол № 8

Науковий журнал «Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security» зареєстровано Міністерством юстиції України
(Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія КВ № 24879–14819Р від 17.06.2021 року)

Офіційний сайт видання: www.journals.politehnica.dp.ua/index.php/it

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

ISSN 2786-507X (Print)
ISSN 2786-5088 (Online)

УДК 004.021
DOI https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-1

Андрій ВОРОПАЙ
аспірант, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010, voropayandrey@gmail.com
***ORCID:** 0000-0002-2783-6700*

Володимир САРАНА
кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікаційних мереж та систем, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010, vsarana@ukr.net
***ORCID:** 0000-0002-7778-3176*

Бібліографічний опис статті: Воропай, А., Сарана, В. (2021). Алгоритм пошуку R-зубців у реальному часі для ЕКГ сигналу з підвищеним рівнем шуму). *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 3–9, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-1

АЛГОРИТМ ПОШУКУ R-ЗУБЦІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ДЛЯ ЕКГ СИГНАЛУ З ПІДВИЩЕНИМ РІВНЕМ ШУМУ

У роботі було розглянуто існуючі методи та алгоритми пошуку R-зубців у ЕКГ сигналі, проаналізовано роботу цих методів та алгоритмів на сигналі з підвищеним рівнем шуму. Також було розглянуто різні типи та природу утворення шумів в ЕКГ сигналі та методи їх зменшення. У результаті цієї роботи було розроблено власний алгоритм пошуку QRS комплексу та R-зубців у реальному часі. ***Метою роботи*** *є розробка алгоритму пошуку R-зубців у реальному часі для ЕКГ сигналу, записаного з нестандартних відведень. Реалізація поставленої мети передбачає запис ЕКГ сигналу з поверхні голови людини, фільтрацію сигналу та розробку алгоритму детектування QRS комплексу.* ***Методологія*** *вирішення поставленого завдання полягає в пошуку шаблону QRS комплексу у диференційному сигналі згідно з нахилом фронтів R-зубця на трьох точках та інтервалу між цими точками.* ***Наукова новизна.*** *Запропонований алгоритм дозволяє значно покращити пошук QRS комплексу з ЕКГ сигналу з підвищеним рівнем шуму. Представлений алгоритм не потребує значних обчислювальних потужностей, тому може використовуватись в натільних пристроях з малопотужними мікроконтролерами для підвищення точності замірів серцевої діяльності у повсякденному житті.* ***Висновки****. Отримані результати та алгоритм можуть бути використані для подальшої розробки та досліджень. Всі отримані результати представлені в графічному вигляді з детальним описом в даній роботі.*

Ключові слова: *ЕКГ, QRS-комплекс, алгоритми, фільтрація.*

Andrii VOROPAI
Master's degree, PhD student, Oles Honchar Dnipro National University, 72 Haharina ave., Dnipro, Ukraine, 49010, voropayandrey@gmail.com
***ORCID:** 0000-0002-2783-6700*

Volodymyr SARANA
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Electronic Means of Telecomminications, Oles Honchar Dnipro National University, 72 Haharina ave., Dnipro, Ukraine, 49010, vsarana@ukr.net
***ORCID:** 0000-0002-7778-3176*

To cite this article: Voropai, A., Sarana, V. (2021). Alhorytm poshuku R-zubtsiv u realnomu chasi dlia EKH syhnalu z pidvyshchenym rivnem shumu [Real-time r-peak detection algorithm for low SNR ECG signal]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 3–9, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-1

REAL-TIME R-PEAK DETECTION ALGORITHM FOR LOW SNR ECG SIGNAL

The aim *of the article is the research and development of an algorithm for finding R-teeth in real time for the ECG signal recorded from non-standard leads. The realization of this goal involves recording the ECG signal from the surface of the human head, signal filtering and development of an algorithm for detecting the QRS*

*complex. **Scientific novelty**. The proposed algorithm can significantly improve the search for QRS complex from the ECG signal with a high noise level. The presented algorithm does not require significant computing power, so it can be used in body devices with low-power microcontrollers to improve the accuracy of heart rate measurements in everyday life. **Conclusions.** The obtained results and algorithm can be used for further development and research. All the obtained results are presented in graphical form with a detailed description in this paper.*

***Key words:** ECG, QRS-complex, algorithms, filtering.*

Актуальність проблеми. Згідно з Всесвітньою організацією охорони здоров'я, серцево-судинні захворювання (ССЗ) є найпоширенішою причиною смертності у людей. В 2016 році 31% усіх випадків смертей були спричинені ССЗ [1]. Кожен рік зростає кількість смертей від хвороби серця, цей факт вимагає уваги до розробки методів попередження небезпечного стану серцево-судинної системи людей. Таких як: цілодобовий моніторинг електричної активності серця (холтерівське моніторування) та вбудовані засоби реєстрації ЕКГ у повсякденні прилади та речі. Останнє вимагає розробку нових методів та алгоритмів аналізу та пошуку корисної інформації у ЕКГ сигналі з великим вмістом шуму та артефактів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним показником діяльності серцево-судинної системи є кількість ударів серця за хвилину та варіабельність цього показника з часом. Для отримання кількості ударів за хвилину потрібно знайти R-зубець або QRS комплекс, що відповідає за деполяризацію шлуночків серця. Де-факто стандартом алгоритму пошуку R-зубців є алгоритм Pan-Tompkins, розроблений у 1985 році науковцями Jiapu Pan та Willis J. Tompkins [2]. Цей алгоритм у різних модифікаціях широко використовується по цей день попри той факт, що ефективність цього методу значно падає при великому вмісті шуму та артефактів у вхідному сигналі (менше 12 dB SNR) [3]. Шум під час вимірювання є результатом багатьох факторів, таких як: неміцний контакт між електродами та шкірою, м'язовий шум, перешкоди лінії електропередач та інших приладів, а також загальний рух користувача [4]. Існують методи адаптивної фільтрації [5], навіть використання нейронних мереж [6], але ці методи боротьби з шумами потребують великих обчислювальних потужностей, що не підходить для невеликих натільних систем з дуже обмеженою потужністю та часом роботи на одному заряді акумулятора.

Мета статті. На підставі дослідженого та проаналізованого матеріалу наукових досліджень було запропоновано алгоритм пошуку QRS комплексу у ЕКГ сигналі з низькими показниками сигнал-шум, а також реалізацію цього алгоритму на мові Python. Основна мета статті полягає в описі розробленого методу та опису можливостей його подальшого використання у вбудованих натільних системах для пошуку QRS комплексу у сигналі з великим рівнем шуму при обмежених ресурсах обчислювальних систем.

Виклад основного матеріалу. Існуючі алгоритми пошуку QRS комплексу мають дві основні категорії, перша – це прості алгоритми, які дуже часто засновані на алгоритмі Pan-Tompkins [7], вони можуть бути легко реалізовані у вбудованих системах з обмеженими ресурсами, але не можуть працювати з потрібним рівнем точності при появі шуму, що знижує рівень сигнал-шум до менше, ніж 12 dB. Друга основна категорія алгоритмів заснована на частотному аналізі, адаптивних фільтрах та нейронних мережах, що потребують значних ресурсів обчислювальних систем, які технічно та матеріально складно вбудовувати у натільні пристрої. У цій роботі було спробувано об'єднати переваги двох категорій алгоритмів в один.

Класичний алгоритм Pan-Tompkins складається з 6 етапів (Рис. 1):

1) Фільтрування вхідного сигналу вузьким смуговим фільтром;
2) Диференціація сигналу, x(n) – x (n – 1);
3) Піднесення до ступеню, pow(x(n), 2);
4) Сумація отриманого сигналу рухомим вікном;
5) Пошук максимального та мінімального значення сигналу для побудови порогового значення;
6) Маркування сигналу, що перевищує порогове значення, як R-зубець.

Звісно, при такому методі можна дуже легко та швидко знайти QRS комплекс, але тільки якщо сигнал-шум запису перевищує 12 dB, в іншому випадку велика ймовірність детектування артефактів та шуму, як R-зубці. Щоб уникнути цих проблем було розроблено власних алгоритм, який складається 8 етапів (Рис. 2):

1) Фільтрація вхідного сигналу смуговим фільтром Баттерворта з частотами зрізу 5 та 35 Гц (Рис. 3);
2) Диференціація фільтрованого сигналу;

Рис. 1. Структурна схема Pan Tompkins алгоритму пошуку R-зубців

Рис. 2. Структурна схема розробленого алгоритму пошуку R-зубців

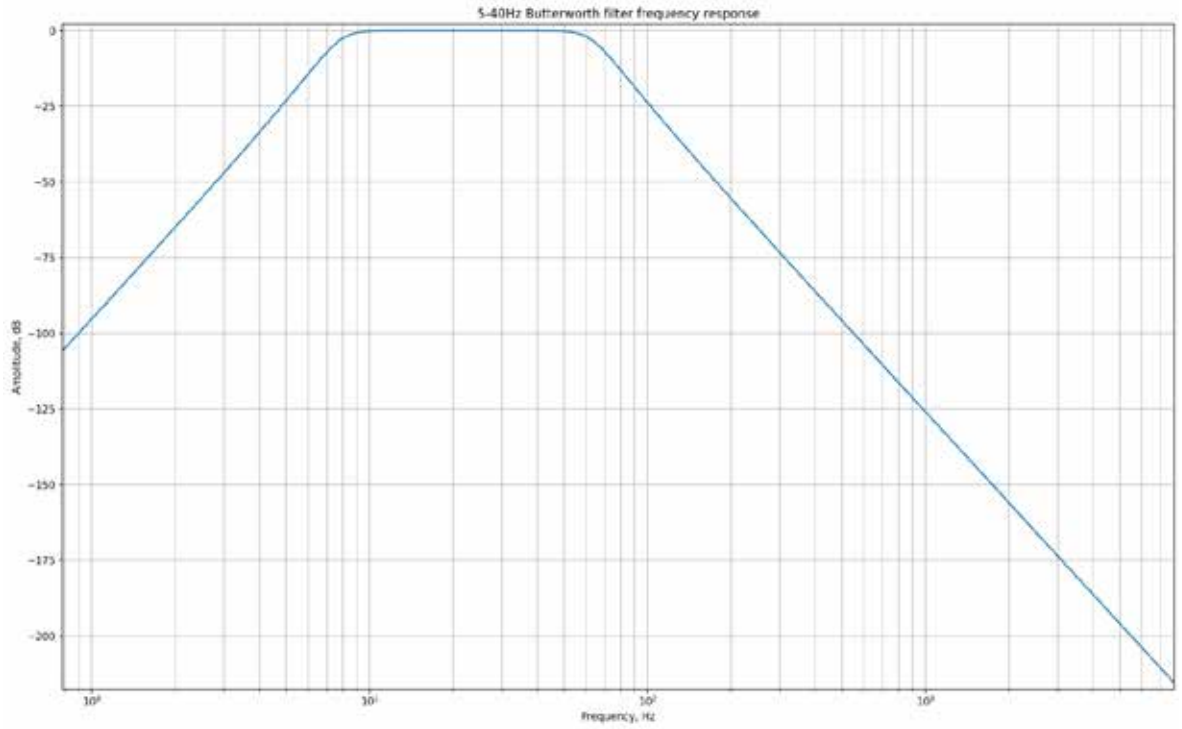


Рис. 3. Амплітудно-частотна характеристика використаного смугового фільтру

3) Піднесення до третього ступеню для збереження знаку;

4) Розрахунок порогових значень для позитивних та негативних чисел;

5) Фіксація порогового значення при знаходженні позитивного числа більшого, ніж порогове;

6) Пошук трьох точок, дві позитивні, одна негативна по центру з такими обмеженими

інтервалами: Tqrs = 40-120 мс, Tqr = Trs = 20-60 мс (Рис. 4);

7) Фільтрування знайдених QRS комплексів по амплітудним ознакам, амплітуда негативної точки повинна перевищувати амплітуду позитивних точок;

8) Остаточна валідація знайденого комплексу.

Метод, описаний вище, здатний працювати з вхідним сигналом з рівнем шуму нижче 12 dB, при цьому без помилкового детектування артефактів (Рис. 5).

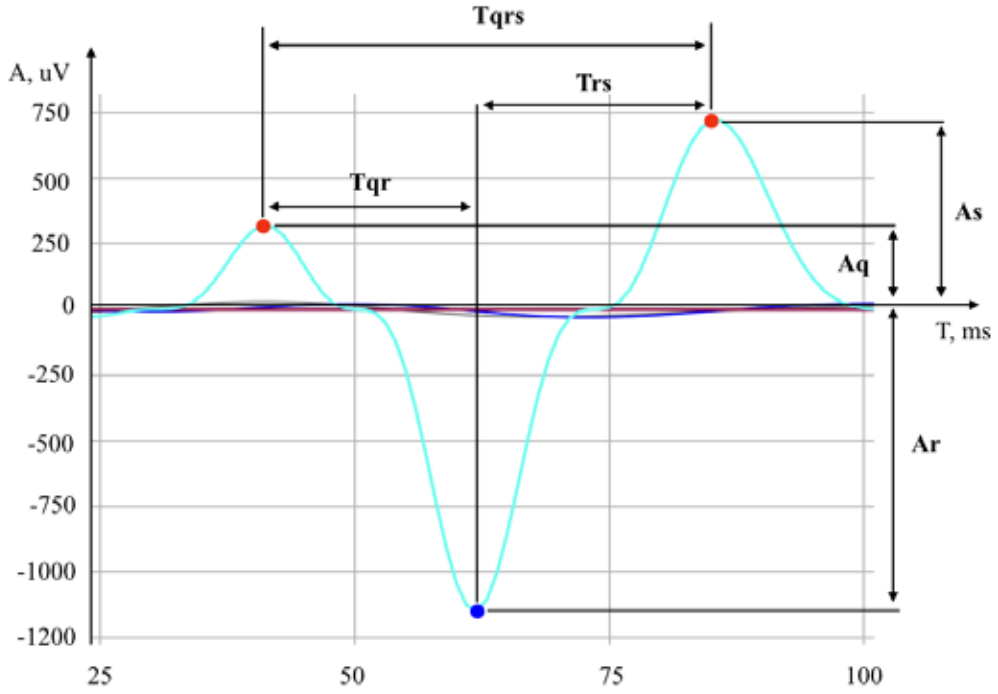


Рис. 4. Диференціальний сигнал та опис основних ознак QRS комплексу

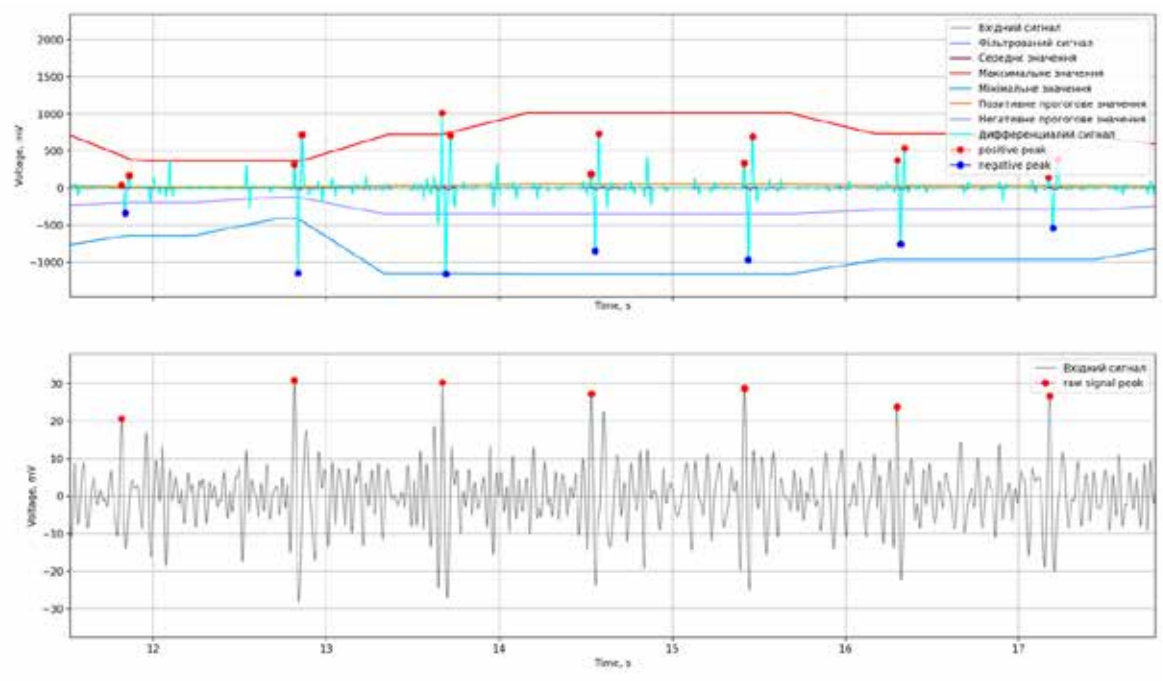


Рис. 5. Вигляд вхідного сигналу з низьким рівнем сигнал-шум

Реалізація алгоритму мовою Python:

```
   def update(self, sample):
            filtered_sample = self.filter5_40.filter_sample(sample)
            diff_sample = -(self.last_filtered_sample - filtered_sample)
            squared_sample = pow(diff_sample, 3)

            self.moving_window = np.roll(self.moving_window, -1)
            self.moving_window[self.moving_window_length - 1] = squared_sample

            final_signal_amplitude = squared_sample

            self.final_signal_list.append(final_signal_amplitude)

            mean = np.mean(self.moving_window)
            max = np.max(self.moving_window)
            min = np.min(self.moving_window)

            self.mean_average_array = np.roll(self.mean_average_array, -1)
            self.mean_average_array[self.average_array_size - 1] = mean

            self.max_average_array = np.roll(self.max_average_array, -1)
            self.max_average_array[self.average_array_size - 1] = max

            self.min_average_array = np.roll(self.min_average_array, -1)
            self.min_average_array[self.average_array_size - 1] = min

            average_mean = np.average(self.mean_average_array)
            average_max = np.average(self.max_average_array)
            average_min = np.average(self.min_average_array)

            positive_amplitude = average_max - average_mean
            negative_amplitude = average_mean + average_min

            positive_amplitude_threshold = average_mean + (positive_amplitude * self.positive_
threshold_coefficient)
            negative_amplitude_threshold = average_mean + (negative_amplitude * self.negative_
threshold_coefficient)

            if final_signal_amplitude >= positive_amplitude_threshold and self.is_positive_
threshold_reached == False:
                # First fix the amplitude threshold
                self.fixed_positive_threshold = positive_amplitude_threshold
                self.is_positive_threshold_reached = True
                self.positive_peak_start_index = self.global_index

            if final_signal_amplitude <= negative_amplitude_threshold and self.is_negative_
threshold_reached == False:
                # First fix the amplitude threshold
                self.fixed_negative_threshold = negative_amplitude_threshold
                self.is_negative_threshold_reached = True
                self.negative_peak_start_index = self.global_index

            if self.is_positive_threshold_reached == True:
                if final_signal_amplitude < self.fixed_positive_threshold:
                    self.is_positive_threshold_reached = False
                    max_index = self.find_max(self.final_signal_list, self.positive_peak_start_
index, self.global_index)
```

```
                    self.positive_slope_peak_list.append(max_index)
                    if len(self.negative_slope_peak_list) > 0 and len(self.positive_slope_peak_
list) > 1:
                        last_negative_peak_index = self.negative_slope_peak_list[len(self.
negative_slope_peak_list) - 1]
                        previous_positive_peak_index = self.positive_slope_peak_list[len(self.
positive_slope_peak_list) - 2]
                        current_positive_peak_index = max_index
                        current_positive_to_last_negative_ms = ((current_positive_peak_index -
last_negative_peak_index) / self.data_frame.get_sampling_frequency()) * 1000
                        if PhysiologyLimits.RS_INTERVAL_DURATION_MAX_MS >= current_positive_to_
last_negative_ms >= PhysiologyLimits.RS_INTERVAL_DURATION_MIN_MS:
                            current_positive_to_previous_positive_ms = ((current_positive_peak_
index - previous_positive_peak_index) / self.data_frame.get_sampling_frequency()) * 1000
                            if PhysiologyLimits.QR_INTERVAL_DURATION_MAX_MS + PhysiologyLimits.
RS_INTERVAL_DURATION_MAX_MS >= current_positive_to_previous_positive_ms >= PhysiologyLimits.
QR_INTERVAL_DURATION_MIN_MS + PhysiologyLimits.RS_INTERVAL_DURATION_MIN_MS:
                                #  We found a QRS complex
                                if abs(self.final_signal_list[last_negative_peak_index]) >
self.final_signal_list[previous_positive_peak_index] and abs(self.final_signal_list[last_
negative_peak_index]) > self.final_signal_list[current_positive_peak_index]:
                                    self.negative_slope_peak_list.append(last_negative_peak_
index)

                                    self.positive_slope_marker_list.append(previous_positive_
peak_index)
   self.positive_slope_marker_list.append(current_positive_peak_index)
                                    self.negative_slope_marker_list.append(last_negative_peak_
index)

   self.final_peak_index_list.append(last_negative_peak_index)
                                    raw_signal_peak_index = self.find_max(self.history_1.raw_
samples_history, (last_negative_peak_index - int((PhysiologyLimits.QR_INTERVAL_DURATION_MAX_MS /
1000) * self.data_frame.get_sampling_frequency())), last_negative_peak_index)
                                    self.raw_signal_peak_list.append(raw_signal_peak_index)


           if self.is_negative_threshold_reached == True:
               if final_signal_amplitude > self.fixed_negative_threshold:
                   self.is_negative_threshold_reached = False
                   max_index = self.find_min(self.final_signal_list, self.negative_peak_start_
index, self.global_index)
                   self.negative_slope_peak_list.append(max_index)
           self.last_filtered_sample = filtered_sample
     self.global_index += 1
```

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. В ході виконання даного дослідження було створено оригінальний алгоритм автоматичного пошуку QRS комплексу у ЕКГ сигналі з великим вмістом шумів різного роду. Для перевірки теорії було реалізовано даний алгоритм на мові Python з використанням таких бібліотек, як signal, numpy, matplotlib та інші.

ЛІТЕРАТУРА:

1. World Health Organization, Cardiovascular diseases (CVDs). URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds).

2. Jiapu Pan and Willis J. Tompkins, A Real-Time QRS Detection Algorithm, IEEE Transactions On Biomedical Engineering, Vol. Bme-32, No. 3, March 1985. DOI: 10.1109/TBME.1985.325532

3. M. A. Z. Fariha, R. Ikeura 2, S. Hayakawa 2, S. Tsutsumi. Analysis of Pan-Tompkins Algorithm Performance with Noisy ECG Signals, 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1532 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1532/1/012022

4. Primož Lavricˇ, Matjaž Depolli, Robust beat detection on noisy differential ECG, 2016. DOI: 10.1109/MIPRO.2016.7522172

5. Minseok Seo, Minho Choi, Jun Seong Lee and Sang Woo Kim, Adaptive Noise Reduction Algorithm to Improve R Peak Detection in ECG Measured by Capacitive ECG Sensors, 2018. DOI: 10.3390/s18072086

6. Yande Xiang, Zhitao Lin and Jianyi Meng, Automatic QRS complex detection using two-level convolutional neural network, 2018. DOI: 10.1186/s12938–018–0441–4

7. Hooman Sedghamiz, Matlab Implementation of Pan Tompkins ECG QRS Detector, 2014. DOI: 0.13140/RG.2.2.14202.59841

REFERENCES:

1. World Health Organization, Cardiovascular diseases (CVDs). URL: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)

2. Jiapu Pan and Willis J. Tompkins, A Real-Time QRS Detection Algorithm, IEEE Transactions On Biomedical Engineering, Vol. Bme-32, No. 3, March 1985. DOI: 10.1109/TBME.1985.325532

3. M. A. Z. Fariha, R. Ikeura 2, S. Hayakawa 2, S. Tsutsumi. Analysis of Pan-Tompkins Algorithm Performance with Noisy ECG Signals, 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1532 012022. DOI: 10.1088/1742-6596/1532/1/012022

4. Primož Lavricˇ, Matjaž Depolli, Robust beat detection on noisy differential ECG, 2016. DOI: 10.1109/MIPRO.2016.7522172

5. Minseok Seo, Minho Choi, Jun Seong Lee and Sang Woo Kim, Adaptive Noise Reduction Algorithm to Improve R Peak Detection in ECG Measured by Capacitive ECG Sensors, 2018. DOI: 10.3390/s18072086

6. Yande Xiang, Zhitao Lin and Jianyi Meng, Automatic QRS complex detection using two-level convolutional neural network, 2018. DOI: 10.1186/s12938–018–0441–4

7. Hooman Sedghamiz, Matlab Implementation of Pan Tompkins ECG QRS Detector, 2014. DOI: 0.13140/RG.2.2.14202.59841

УДК 004.658
DOI https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-2

Леонід КАБАК
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kabak.leo@gmail.com
***ORCID:** 0000-0001-6267-1772*
***Scopus Author ID:** 57202222055*

Борис МОРОЗ
доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, moroz.boris.1948@gmail.com
***ORCID:** 0000-0002-5625-0864*
***Scopus Author ID:** 57218242332*

Валерій КОВАЛЬ
студент спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» другого (магістерського) рівня вищої освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005

Бібліографічний опис статті: Кабак, Л., Мороз, Б., Коваль, В. (2021). Метод та алгоритм уникнення фрагментації індексів в базах даних. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 10–18, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-2

МЕТОД ТА АЛГОРИТМ УНИКНЕННЯ ФРАГМЕНТАЦІЇ ІНДЕКСІВ У БАЗАХ ДАНИХ

У роботі було розглянуто фрагментацію індексів, проаналізовані фактори зменшення продуктивності виконання SQL запитів при збільшенні відсотка фрагментації індексів. В роботі проаналізовано систему індексації, яка використовується в СУБД ORACLE. Розглянуті і проаналізовані сучасні методи зменшення фрагментації та розроблено модель, методи та алгоритм який в автоматичному режимі дозволить робити перебудову та реорганізацію індексів в залежності від відсотка фрагментації. ***Метою роботи*** *є розробка метода та алгоритмів уникнення фрагментації індексів. Реалізація поставленої мети передбачає вирішення завдання пошуку аналізу та перебудові фрагментованих індексів, що забезпечує запропонований у роботі метод. На базі запропонованого методу було розроблено алгоритм для систем баз даних, та розроблено процедуру яка дозволяє уникати фрагментації індексів у СУБД ORACLE, які відбуваються при роботі серверу ORACLE у режимі OLTP.* ***Методологія*** *вирішення поставленого завдання полягає в проведенні статистичного аналізу існуючих індексів та розробці системи яка дозволяє в запланований час, в який сервер баз даних менш всього навантажений запускати процедуру яка буде перевіряти ступінь фрагментації індексів і при потребі їх перебудовувати.* ***Наукова новизна****. В ході виконання роботи набув подальший розвиток метод перебудови індексів, які фрагментовано, у базі даних. В перше запропоновано використання перебудови індексів у автоматичному режимі без втручання адміністратора бази даних.* ***Висновки****. Результати даної роботи можуть бути використані для подальших досліджень і розробок, а також для запровадження використання технології уникнення фрагментації для різних типів СУБД. Всі отримані результати представлені в графічному вигляді з детальним описом в даній роботі.*

Ключові слова: *база даних Oracle, індекси, OLTP сервер, виявлення фрагментації, перебудова індексів.*

Leonid KABAK
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49000, kabak.leo@gmail.com
ORCID: *0000-0001-6267-1772*
Scopus-Author ID: *57202222055*

Borys MOROZ
Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49000, moroz.boris.1948@gmail.com
ORCID: *0000-0002-5625-0864*
Scopus-Author ID: *57202222055*

Valerii KOVAL
Student of specialty 121 "Software Engineering" of the second (master's) level of higher education, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005

To cite this article: Kabak, L., Moroz, B., Koval, V. (2021). Metod ta alhorytm unyknennia frahmentatsii indeksiv u bazakh danykh [Method and algorithm for avoiding index fragmentation in database]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 10–18, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-2

METHOD AND ALGORITHM FOR AVOIDING INDEX FRAGMENTATION IN DATABASE

The paper considers index fragmentation, analyzes the decrease in the performance of SQL queries with increasing percentage of index fragmentation. The indexing system used in the ORACLE database is analyzed in the paper. Modern methods of fragmentation reduction are considered and analyzed and a model, methods and algorithm are developed which in automatic mode will allow to make reorganization and reorganization of indices depending on the percentage of fragmentation. ***The aim*** *of the work is to develop a method and algorithms to avoid index fragmentation. The realization of this goal involves solving the problem of finding analysis and restructuring of fragmented indices, which provides the proposed method. Based on the proposed method, an algorithm for database systems was developed, and a procedure was developed to avoid index fragmentation in the ORACLE database, which occurs when the ORACLE server is running in OLTP mode.* ***Scientific novelty****. In the course of the work, the method of rearranging the fragmented indices in the database was further developed. In the first, it is proposed to use index restructuring in automatic mode without the intervention of the database administrator.* ***Conclusions.*** *The information system was built in which the method was developed and the algorithm for the system of avoiding index fragmentation in ORACLE DBMS, which occur during the operation of the ORACLE server in OLTP mode, was proposed. The results are represented graphically and described in this work as well.*

Key words: *Oracle database, indexes, OLTP server, fragmentation detection, index restructuring.*

Актуальність проблеми. Нині в банківських інформаційних системах та в інформаційних системах різних підприємств повсюдно використовують сервер баз даних, для збереження та обробки даних. Основним інструментом підвищення швидкості доступу до даних для додатків та користувачів бази даних, звичайно є індекси, кластери, хеш-кластери та механізми секціонування. Сервери що працюють у цих організаціях працюють у режимі багато навантажених OLTP (Online Transaction Processing) серверів, тому операції вставки та оновлення даних досить часті. До даних що знаходяться в цих базах даних використовуються різні операції вставки, зміни та видалення ці операції приводять до того, що стовпці по яких були проіндексовані таблиці змінились чи видалились, а запис в індексі не змінився таке явище називається фрагментацією. Фрагментація має місце в тих випадках, коли в індексах містяться сторінки, для яких логічний порядок, заснований на значенні ключа, не збігається з фізичним порядком у файлі даних. Якщо фрагментованих індексів багато то це дуже сильно уповільнить доступ до даних і швидкодія роботи серверів баз даних та додатків значно знизиться [1].

Процесом відстеження фрагментації індексів займається адміністратор бази даних однак в базі даних таких об’єктів як таблиці дуже забагато та дуже забагато індексів і адміністратор бази даних не встпіває відслідковувати правильність налаштування індексів. Тому у роботі пропонується розробка алгоритму та методу для відстеження фрагментації індексів та автоматичного запуску процедури перебудови чи реорганізації індексів в залежності від проценту фрагментації в час коли сервер не перевантажений.

У роботі було проаналізовано роботу системи індексації на прикладі СУБД Oracle. Розроблено методи та модель системи яка буде дозволяти проводити аналіз існуючих індексів та приймати рішення по їх перебудову та реорганізацію. Розглянуто можливість реалізації даної системи в будь якій установі та на підприємстві де використовуються OLTP сервери баз даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час у базах даних накопичені сотні терабайтів інформації. Для того щоб знаходити необхідні данні потрібно оперувати з величезними масивами даних. З цими даними одночасно оперують багато користувачів, задача сучасних СУБД надати користувачам як змога швидше необхідні данні. Для прискорення пошуку необхідних даних в СУБД використовуються наступні механізми, а саме індексування, кластерізації, секціонування та хешування. Но все ж таки на цей час головним інструментом прискорення доступу до даних залишається індексування. Індекс є не обов'язковою структурою збереження даних і використовується тільки в тих випадках коли потрібно прискорити пошук необхідних даних за певними значеннями, як правило індексуються тільки ті стовпці по значенням яких найчастіше проводиться вибірка даних [1; 2].

Стовпці таблиць які потрібно індексувати, як правило призначає розробник додатку, однак в процесі експлуатації СУБД адміністратор може сам добавляти, або видаляти індекси за потребою, після проведення налаштування продуктивності роботи запитів до бази даних [3].

В індексах данні зберігаються упорядковано або за зростанням, в індексі зберігається вказівник на фізичне місце зберігання даних в СУБД Oracle воно називається ROWID. Якщо БД працює у режимі навантаженого серверу то операції оновлення та видалення даних відбуваються доволі часто. У роботах [4–6] були описані проблеми які часто виникають при роботі з індексами:

– Відсутність індексу по стовпцю по якому часто проводиться вибірка;

– Не ефективна побудова індексів;

– Індекси блокуються операціями конкатенації чи вибірками з використанням агрегатних функцій;

– Індекси конкурують між собою;

– Індекс має великий фактор кластеризації CLUSTERING_FACTOR;

– Індекс сильно фрагментований.

В статі буде розглянуто саме вирішення проблеми фрагментації індексів. Дослідженням технологій використання індексів у базах даних займались також вітчизняні вченні. У навчальних посібниках [9; 10] були наведені приклади та описана технологія використання індексів в сучасних СУБД. Виклад матеріалу у цих посібниках було зосереджено на задачах підвищення продуктивності роботи сервера за рахунок проведення індексації таблиць БД.

Мета статті. На підставі дослідженого та проаналізованого матеріалу наукових досліджень було запропоновано метод та модель для запобіганню фрагментації індексів за рахунок їх перебудови та реорганізації. В статі запропоновано метод запобігання фрагментації. Завдяки наведеному методу було розроблено алгоритм та його програмна реалізація на мові PL/SQL для запобіганню процесу фрагментації. Розглядаються можливості використання розробленого методу та його подальша інтеграція до банківських систем та систем в яких використовується СУБД Oracle. Основна мета статі полягає в описі розробленого методу та опису можливостей його подальшого використання в різних інформаційних системах. Для реалізації цієї задачі в статі викладено побудову методу та наведено модель системи запобіганню фрагментації даних.

Виклад основного матеріалу. При розробці додатків для роботи з базами даних для прискорення пошуку даних використовують індекси. Занадто багато індексів у додатку прискорює операції вибірки даних з БД, занадто мало індексів пригальмовує виконання операцій DML операцій таких як вставка та оновлення даних. Доволі часто спочатку розробляється додаток а потім визначаються стовпці які потребують індексації. Це означає що потрібно витратити деякий час для пошуку в таблицях стовпців за значеннями яких найчастіше проводяться вибірки даних. Якщо деякі індекси ніколи не використовуються чи використовуються доволі рідко їх потрібно видалити для того щоб вони не заважали роботі додатку.

Розробник додатків повинен турбуватись про створення індексів, які використовуються в його додатках, а адміністратор БД повинен відстежувати зростання індексів їх фізичного розміщення з метою прискорення швидкодії роботи БД.

В СУБД ORACLE використовуються наступні види індексів.

1. Індекси B-дерева. Цей індекс використовуються в Oracle та більшості інших баз даних. Індекси B*Tree забезпечують швидкий доступ за допомогою ключа до певного рядка або діапазону рядків. Для пошука потрібних рядків

потрібно декілька операцій читання, щоб знайти саме той рядок, що потрібен [2].

2. Індекси бітових карт. Бітовий індекс, використовує бітовий малюнок, щоб одночасно вказувати на багато рядків. Вони підходить для даних які часто повторюються (даних з декількома різними значеннями відносно загальна кількість рядків у таблиці), що в основному використовується для читання [2].

Як показано на рис. 1 та рис. 2 індекс знаходить ROWID запису і виходячі зі значення цього ROWID робить фізичне читання цього запису з вказанного у ROWID місця. Наприклад:

ROWID: BBBBBBBBB.RRRR.FFFF

BBBBBBBBBB – шістнадцятирічний номер блоку в файлі даних, в якому знаходиться рядок;

RRRR – шістнадцятирічний номер рядка в блоці;

FFFF – файл, в состав якого входе цей блок.

Починаючи з 10 версії Oracle ROWID у БД зберігається у зашифрованому вигляді і щоб

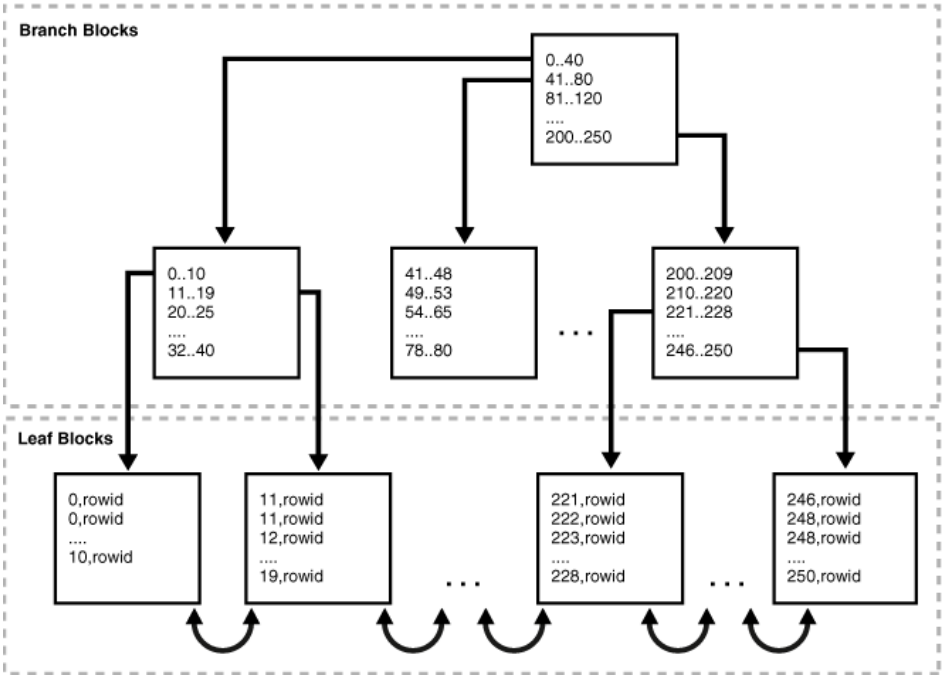


Рис. 1. Індекси B-дерева [2]

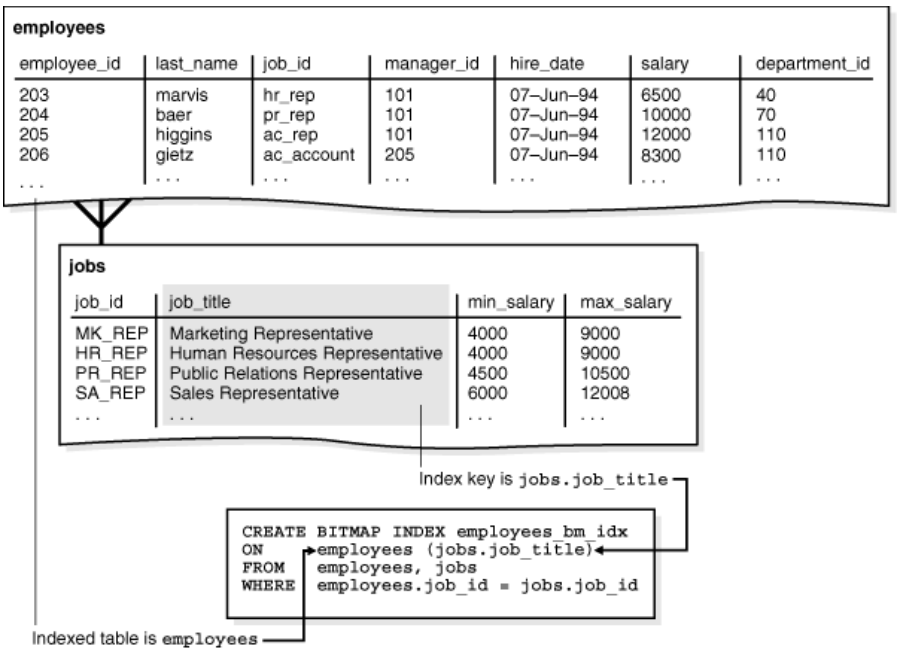


Рис. 2. Індекси бітових карт [2]

переглянути значення ROWID використовують спеціальний скріпт рис. 3.

```
   select rowid as therowid, d.department_id,
   to_number(utl_encode.base64_decode(utl_
raw.cast_to_raw(lpad(substr(rowid,1, 6), 8,
'A'))), 'XXXXXXXXXXXX') as objid,
   to_number(utl_encode.base64_decode(utl_
raw.cast_to_raw(lpad(substr(rowid, 7, 3), 4,
'A'))), 'XXXXXX') as filenum,
   to_number(utl_encode.base64_decode(utl_
raw.cast_to_raw(lpad(substr(rowid, 10, 6), 8,
'A'))), 'XXXXXXXXXXXX') as blocknum,
   to_number(utl_encode.base64_decode(utl_
raw.cast_to_raw(lpad(substr(rowid, 16, 3),
4, 'A'))), 'XXXXXX') as rowslot   from demo.
department d
```

Коли БД працює у високо навантаженому режимі то явище фрагментації індексів зустрічається доволі часто. Якщо індекс фрагментований то значення ROWID не співпадає з фізичним знаходженням записів. Тоді для пошуку інформації потрібно буде робити набагато більше операцій читання, чим при використанні індексу. В цьому випадку всі додатки яки шукають данні використовуючи цей індекс будуть працювати повільно. Цей недолік є майже у всіх базах даних. Так корпорація Microsoft рекомендує, якщо індекс фрагментовано більше ніж на 5% та менше ніж на 30% то його потрібно реорганізувати, якщо більше ніж 30% то індекс потрібно перебудувати [1]. За видами фрагментацію розрізняють на внутрішньоблокову фрагментацію, яка виникає в табличних екстентах, внутрішньоблокову яка виникає в індексних екстентах та міжблочну фрагментацію.

Внутрішньоблокова фрагментація, яка виникає в табличних екстентах виникає тоді коли з таблиці видаляється багато рядків. Тоді сповільнюється багато вільної пам'яті у блоках даних в яких зберігалась таблиця. Но нові операції вставки не використовують старі блоки даних а вставляють данні в нові блоки які розташовані уже в інших екстентах [5–7].

Внутрішньоблокову яка виникає в індексних екстентах виникає тоді коли з таблиць видаляється багато рядків вони і вони в одночас видаляються і з індексних блоків. Якщо до цієї таблиці звертається багато транзакцій, які модифікують чи видаляють рядки то індекси ціє таблиці дуже швидко набирають свій обсяг. Особливо це відбувається при використанні BitMap індексу та секціонованного індексу. Якщо у таблиці мається велика кількість індексів це може викликати серіозну проблему стосовно швидкодії транзакій яки звертаються до цієї таблиці [8].

Міжблочна фрагментація, яка виникає тоді коли модифікуються данні в таблиці та в блоках бази даних в яких зберігались рядки цієї таблиці не вистачає місця для збереження модифікованих рядків і вони переносяться в інші блоки, а блоки де вони зберігались становляться повністю спустошеними. Наявність таких блоків уповільнює швидкість сканування таблиці для пошуку даних навіть з використанням індексів.

Для відстеження роботи індексу використовується команда ANALIZE [назва індексу]. При цьому в динамічному представлені INDEX_STATS з'являється строчка результату аналізу. Для того щоб відстежити правильну роботу індексів адміністратор бази даних повинен за допомогою цієї команди перевірити роботу кожного індексу і прийняти рішення чи потрібно цей індекс реорганізувати чи перебудувати.

Для автоматизації роботи адміністратора бази даних пропонується метод що дозволить робити аналіз існуючих у базі даних індексів та в автоматичному режимі робити їх перебудову те реорганізацію у час, коли база даних менш всього навантажена.

Для цього використовується наступний метод.

	THEROWID	DEPARTMENT_ID	OBJID	FILENUM	BLOCKNUM	ROWSLOT
1	AAASfwAAEAAAAIVAAA	10	75760	4	533	0
2	AAASfwAAEAAAAIVAAE	12	75760	4	533	4
3	AAASfwAAEAAAAIVAAF	13	75760	4	533	5
4	AAASfwAAEAAAAIVAAG	14	75760	4	533	6
5	AAASfwAAEAAAAIVAAB	20	75760	4	533	1
6	AAASfwAAEAAAAIVAAH	23	75760	4	533	7
7	AAASfwAAEAAAAIVAAI	24	75760	4	533	8
8	AAASfwAAEAAAAIVAAC	30	75760	4	533	2
9	AAASfwAAEAAAAIVAAJ	34	75760	4	533	9
10	AAASfwAAEAAAAIVAAD	40	75760	4	533	3
11	AAASfwAAEAAAAIVAAK	43	75760	4	533	10

Рис. 3. Зміст ROWID

1. Визначаємо схеми користувачів бази даних індекси яких ми будемо обслуговувати.

2. Створюємо допоміжну таблицю в який буде зберігатись інформація про стан фрагментації індексів.

3. Запускаємо створену процедуру, яка буде по черзі вибирати зі списку схеми користувачів та в циклі по черзі аналізувати роботу кожного індексу. Після чого результати аналізу будуть переноситись з динамічного представлення INDEX_STATS в допоміжну таблицю.

4. Після завершення процедури аналізу фрагментації індексів наступна процедура буде перевіряти ступінь фрагментованності індусів і якщо вона буде більше ніж 5% та менша ніж 30% то тоді індекс буде реорганізовано якщо більше ніж 30% то індекс буде перебудовано.

На базі цього метода розроблено діаграму активностей системи, яка показана на рис. 4.

Опишемо потоків подій, які відбуваються у системі.

Варіант використання «Підключення до СУБД».

Короткий опис: дозволяє користувачу здійснити вхід до системи, використовуючи ім'я користувача та пароль.

Основний потік подій: автентифікація, починається коли користувач входить до системи.

Альтернативний потік подій: якщо користувач вводить невірні дані, з'являється відповідне повідомлення.

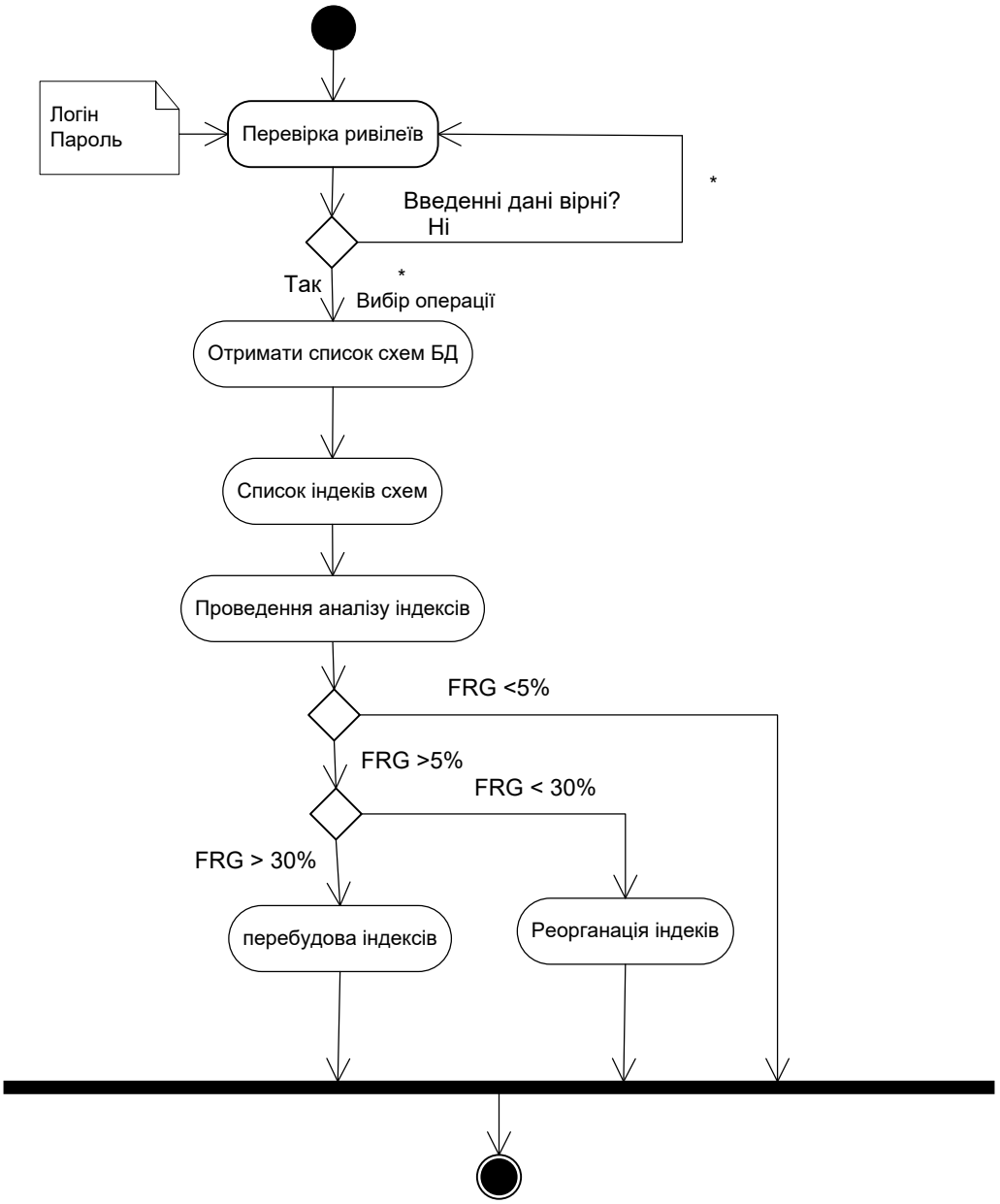


Рис. 4. Діаграма активностей системи

Передумова: запуск програми SQL+.

Постумова: Відображається вікно утиліти. SQL+ Варіант використання «Створення та запуск процедури для автоматичної перевірки фрагментації індексів БД». Короткий опис: дозволяє програмі у автоматичному режимі проводити аналіз стану індексів БД та виявити індекси, що потребують перебудови.

Основний потік подій: виконання починається, коли адміністратор бази даних запускає програму програма запускається та в автоматичному режимі формує список індексів які потрібно перебудувати.

Альтернативний потік подій: якщо відсутній зв'язок з базою даних – з'являється відповідне повідомлення.

Постумова: сформовані представлення продуктивності БД.

Варіант використання «Обробка помилок що виникли у роботі СУБД». Короткий опис: дозволяє користувачу переглядати помилки, що виникли у роботі інстанції.

Для роботи системи керування фрагментацією індексів розробляємо frontend додаток.

По-перше створюємо таблицю в якій буде зберігатись інформація стосовно фрагментації індексів.

```
SQL:> Create table INDEXFR as select *
from INDEX_STATS;
```

По-друге В базі даних може бути велика кількість користувачів но не всі користувачі мають у своїх схемах таблиці та фрагментовані індекси, які потрібно перевіряти. Тому створюємо таблицю в якій будуть зберігатись імена користувачів в схемах яких будуть зберігатись індекси, які будемо перевіряти на фрамгментацію. Адміністратор БД може самостійно добавляти чи видаляти користувачів в цю таблиці при потребі.

```
SQL:>  create table inuser (  id
number,  username nvarchar2(40))
tablespace SYSTEM
-- Create/Recreate primary, unique and
foreign key constraints
alter table inuser
  add constraint id_fr primary key (ID);
```

На прикладі СУБД Oracle створюємо процедуру яка в автоматичному режимі у зазначений адміністратором час буде перевіряти наявність фрагментованих індексів і перебудовувати їх.

```
create or replace procedure prcindfr   as
userdb varchar(40);
prcfr number;
cursor ownerfr is  select username from
INUSER;
CURSOR indstat IS
SELECT 'analyze index '||owner||'.'||index_
name||' validate structure' txtsql
     FROM DBA_INDEXES WHERE owner IN userdb;
Cursor c_reb is select i.owner, i.name,i.
del_lf_rows,i.lf_rows from INDEXFR i;
BEGIN
  execute immediate 'Delete * from
INDEXFR';
   for vownerfr in ownerfr loop
     userdb := vownerfr.username;
-- Цикл для аналізу індексів і занесення
їх до допоміжної таблиці
```

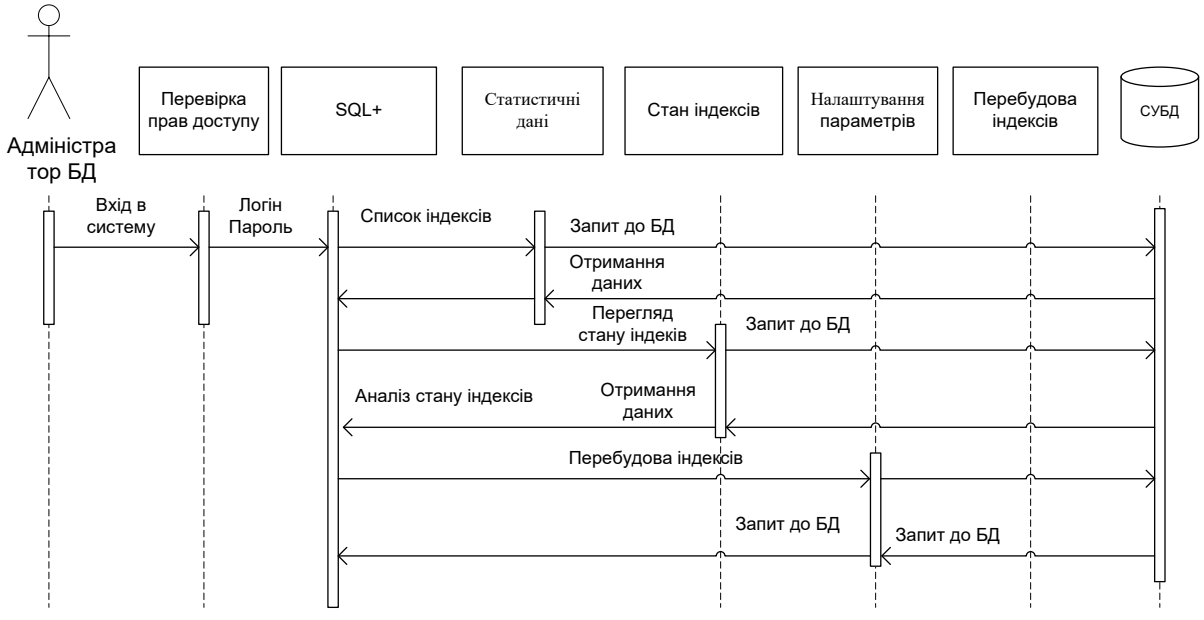


Рис. 5. Діаграма потоку подій роботи системи

```
    FOR cindstat IN indstat LOOP

           execute immediate cindstat.txtsql;
         INSERT all into INDEXFR
(name,owner,lf_rows,del_lf_rows)
         values(n,userdb ,lf,del_lf)
         SELECT name as n,lf_rows as lf,del_
lf_rows  as del_lf  FROM sys.INDEX_STATS;
         END LOOP;
         end loop;
   -- Цикл для пошуку фрагментованих індексів
та їх перебудови
         for v_reb in c_reb loop
           if v_reb.lf_rows!=0 then
         prcfr:=  v_reb.del_lf_rows/v_reb.
lf_rows;
          end if;
           if prcfr > 0.05 then
            execute immediate 'alter index'
||v_reb.owner||'.'||v_reb.name||'Rebuild';
            end if;
           end loop;
         END prcindfr;
```

Далі визначаємо час коли сервер менш всього завантажений і запускаємо цю процедуру, як SNP-процес.

```
SQL> VARIABLE v_JobNum NUMBER
SQL> BEGIN
  2      DBMS_JOB.SUBMIT(:v_JobNum,
‘prcindfr;’, SYSDATE,
  3    ‘NEXT_DAY(TRUNC(SYSDATE),
"SATURDAY")+24’);
  4    END;
```

Цей скрипт дозволить автоматично запускати цю процедуру о півночі з суботи на неділю.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. В ході виконання роботи набув подальший розвиток метод перебудови фрагментованих індексів у базі даних. В перше запропоновано використання перебудови індексів у автоматичному режимі без втручання адміністратора бази даних. Розроблений метод дозволяє шукати фрагментовані індекси у схемах заданих користувачів в інтервали часу в які сервер менше навантажений та робити перебудову індексів. На базі розробленого методу було розроблено процедуру за допомогою якої проводиться перебудова фрагментованих індексів код якої наведено у статі.

Результати даної роботи можуть бути використані для подальших досліджень і розробок, а також для запровадження використання технології уникнення фрагментації для різних типів СУБД.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Разрешение фрагментации индекса путем реорганизации или перестроения индекса. URL: https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/relational-databases/indexes/reorganize-and-rebuild-indexes?view=sql-server-ver15#.

2. Indexes and Index-Organized Tables. URL: https://docs.oracle.com/cd/E11882_01/server.112/e40540/indexiot.htm#CNCPT721.

3. Oracle Advanced Analytics Customer Success Stories. URL: https://www.oracle.com/technetwork/database/options/advanced-analytics/odm/odm-customers-086483.html.

4. Фрагментация базы данных: основные методы и случаи использования. URL: https://www.8host.com/blog/fragmentaciya-bazy-dannyx-osnovnye-metody-i-sluchai-ispolzovaniya/.

5. Steve Ataky Tsham Mpinda1, Lucas Cesar Ferreira1, Marcela Xavier Ribeiro1, Marilde Terezinha Prado Santos Evaluation of Graph Databases Performance through Indexing Techniques / International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA) Vol. 6, No. 5, September 2015. DOI: 10.5121/ijaia.2015.6506.

6. How to Create an Index-Organized Table in Oracle 12c / Bob Bryla, Kevin Loney. URL: https://logicalread.com/index-organized-table-oracle-12c-mc06/#.YGrftugzbIU.

7. Using Index-Organized Tables in Oracle David Fitzjarrell [Electronic resource]. URL: https://www.databasejournal.com/features/oracle/using-index-organized-tables-in-oracle.html.

8. Darl Kuhn, Sam R. Alapati and Bill Padfield Oracle Indexing and Access: Apress – 2016. ISBN 978-1-4842-1984-3. DOI 10.1007/978-1-4842-1984-3.

9. Берко А.Ю., Верес О.М., Пасічник В.В., Берко А.Ю. Системи баз даних та знань: навч. посібник. Кн. 1. Організація баз даних та знань. Львів : «Магнолія 2006», 2008. 456 с. ISBN 978-966-2025-56-9.

10. Пасічник В. В., Резниченко В.А. Організація баз даних та знань / Київ : Видавнича група BHV, 2006. 384 с.

REFERENCES:

1. Razreshenie fragmentaczii indeksa putem reorganizaczii ili perestroeniya indeksa. Access mode: https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/relational-databases/indexes/reorganize-and-rebuild-indexes?view=sql-server-ver15#.

2. Indexes and Index-Organized Tables. Access mode: https://docs.oracle.com/cd/E11882_01/server.112/e40540/indexiot.htm#CNCPT721.

3. Oracle Advanced Analytics Customer Success Stories. Access mode: https://www.oracle.com/technetwork/database/options/advanced-analytics/odm/odm-customers-086483.html.

4. Fragmentacziya bazy` danny`kh: osnovny`e metody` i sluchai ispol`zovaniya. Access mode: https://www.8host.com/blog/fragmentaciya-bazy-dannyx-osnovnye-metody-i-sluchai-ispolzovaniya/

5. Steve Ataky Tsham Mpinda1, Lucas Cesar Ferreira1, Marcela Xavier Ribeiro1, Marilde Terezinha Prado Santos Evaluation of Graph Databases Performance through Indexing Techniques / International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA) Vol. 6, No. 5, September 2015. DOI: 10.5121/ijaia.2015.6506

6. How to Create an Index-Organized Table in Oracle 12c / Bob Bryla, Kevin Loney. Access mode: https://logicalread.com/index-organized-table-oracle-12c-mc06/#.YGrftugzbIU.

7. Using Index-Organized Tables in Oracle David Fitzjarrell. Access mode: https://www.databasejournal.com/features/oracle/using-index-organized-tables-in-oracle.html.

8. Darl Kuhn, Sam R. Alapati and Bill Padfield Oracle Indexing and Access: Apress – 2016. ISBN 978-1-4842-1984-3. DOI 10.1007/978-1-4842-1984-3.

9. Berko, A. Yu. Sistemi baz danikh ta znan`: navch. posi`bnik. Kn. 1. Organi`zaczi`ya baz danikh ta znan` / A.Yu. Berko, O.M. Veres, V.V. Pasi`chnik. L. : “Magnoli`ya 2006”, 2008. 456 s. ISBN 978-966-2025-56-9

10. Pasi`chnik V.V., Reznichenko V.A. Organi`zaczi`ya baz danikh ta znan` / Kyiv: Vidavnicha grupa BHV, 2006. 384 p.

УДК 004.056:004.94
DOI https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3

Валерій КОРНІЄНКО
доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, korniienko.v.i@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-0800-3359*
***Scopus Author ID:** 56446921900*

Олександр КРУЧІНІН
старший викладач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kruchinin.o.v@nmu.one
***ORCID:** 0000-0001-5523-948X*
***Scopus Author ID:** 55437732500*

Олексій ПЛЄЦ
аспірант кафедри безпеки інформації та телекомунікацій Національного технічного університету «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, plec.o.o@nmu.one
***ORCID:** 0000-0001-7728-0125https://orcid.org/0000-0002-0800-3359*

Олександра ГЕРАСІНА
кандидатка технічних наук, доцентка, доцентка кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, herasina.o.v@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-8196-0657*
***Scopus Author ID:** 55998621600*

Дмитро ТИМОФЄЄВ
старший викладач кафедри безпеки інформації та телекомунікацій, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Дніпропетровська обл., Україна, 49005, tymofieiev.d.s@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-9718-6678*
***Scopus Author ID:** 55437340600*

Бібліографічний опис статті: Корнієнко, В., Кручінін, О., Плєц, О., Герасіна, О., Тимофєєв, Д. (2021) Кіберфізична система моделювання захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 19–25, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3

КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХИСТУ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ВИТОКУ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИМ КАНАЛОМ

У роботі визначена актуальність моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку за допомогою розвинутих апаратно-програмних систем для розробки таких засобів захисту, їх вдосконалення та верифікації. Для цього запропонована кіберфізична система моделювання технічних засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом. В роботі проаналізовані та визначені характеристики і параметри елементів фізичної частини цієї системи, а також структура кібернетичної частини системи, функції та зміст моделей елементів фізичної частини. ***Метою роботи*** *є розробка структури та визначення основних функцій елементів кіберфізичної системи для моделювання технічних засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом.* ***Методологія*** *вирішення поставленого завдання полягає у використанні методів системного аналізу та теорії керування для синтезу кіберфізичної системи моделювання технічних засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом, що забезпечує організацію вимірювально-обчислювальних процесів, зберігання та обмін вимірювальною і службовою інформацією, організацію*

*та здійснення впливів на фізичні процеси. **Наукова новизна**. Вперше запропоновано будувати вимірювально-обчислювальні комплекси для дослідження методів та засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом у вигляді кіберфізичних систем, які поєднують фізичні процеси та кібернетичні компоненти в єдину систему, що дозволяє підвищити ефективність створення та вдосконалення засобів захисту та їх верифікацію. **Висновки**. Створення кіберфізичної системи моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом автоматизує вимірювально-обчислювальні процеси та підвищує спроможність розробки нових та вдосконалення існуючих засобів захисту, обґрунтування параметрів та характеристик їх елементів, а також верифікації засобів захисту.*

***Ключові слова:** кіберфізична система, моделювання, засоби захисту, акустична інформація, оптико-електронний канал.*

Valerii KORNIIENKO
Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, korniienko.v.i@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-0800-3359*
***Scopus Author ID:** 56446921900*

Oleksandr KRUCHININ
Senior Lecturer of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kruchinin.o.v@nmu.one
***ORCID:** 0000-0001-5523-948X*
***Scopus Author ID:** 55437732500*

Oleksii PLIETS
Graduate Student of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, plec.o.o@nmu.one
***ORCID:** 0000-0001-7728-0125*

Oleksandra HERASINA
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, herasina.o.v@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-8196-0657*
***Scopus Author ID:** 55998621600*

Dmytro TYMOFIEIEV
Senior Lecturer of Information Security and Telecommunication Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, tymofieiev.d.s@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-9718-6678*
***Scopus Author ID:** 55437340600*

To cite this article: Korniienko, V., Kruchinin, O., Plec, O., Herasina, O., Tymofieiev, D. (2021). Kiberfizychna systema modeliuvannia zakhystu akustychnoi informatsii vid vytoku optyko-elektronnym kanalom. [Cyberphysical modeling system for protection of acoustic information from leakage by optoelectronic channel]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 19–25, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-3

CYBERPHYSICAL MODELING SYSTEM FOR PROTECTION OF ACOUSTIC INFORMATION FROM LEAKAGE BY OPTOELECTRONIC CHANNEL

The relevance of modeling methods and means of technical protection of acoustic information against leakage with the help of developed hardware and software systems for the development of protection such means, their improvement and verification is determined. For this purpose, a cyberphysical system for modeling technical means of acoustic information protection from leakage by an optoelectronic channel is proposed. The paper analyzes and defines the characteristics and parameters of the elements of the physical part of this system, as well as the structure of the cybernetic part of the system, functions

*and content of the elements models of the physical part. **The aim** of the work is to develop the structure and determine the main functions of the elements of the cyberphysical system for modeling technical means of protection of acoustic information from leakage by optical-electronic channel. **The methodology** for solving this problem is to use methods of systems analysis and control theory for the synthesis of cyberphysical system modeling of technical means of acoustic information protection from leakage by optical-electronic channel, providing organization of measurement and computational processes, storage and exchange of measurement and service information. effects on physical processes. **Scientific novelty**. For the first time it is proposed to build measuring and computing complexes for research of methods and means of acoustic information protection from leakage by optoelectronic channel in the form of cyberphysical systems that combine physical processes and cybernetic components into a single system. **Conclusions.** Creation of a cyberphysical system for modeling methods and means of technical protection of acoustic information from leakage by optoelectronic channel automates measurement and computational processes and increases the ability to develop new and improve existing means of protection, justify the parameters and characteristics of their elements and verify means of protection.*

***Key words:** cyberphysical system, modeling, means of protection, acoustic information, optoelectronic channel.*

Актуальність проблеми. Акустична інформація є одним з основних джерел отримання людиною інформації, тому велику увагу приділяють її захисту від витоку акустичним, віброакустичним та оптико-електронним каналами. При розробці засобів захисту акустичної (мовної) інформації однією із важливих задач є моделювання та оцінюванні ефективності роботи систем захисту, які при застосуванні активних засобів захисту використовують сигнали зашумлення.

Наразі спостерігається активність в сфері створення кіберфізичних систем, які поєднують фізичні процеси та кібернетичні компоненти, що забезпечують організацію вимірювально-обчислювальних процесів, зберігання та обмін вимірювальною і службовою інформацією, організацію та здійснення впливів на фізичні процеси. Об'єднання цих компонентів у межах єдиної системи дає змогу отримувати якісно нові результати, які можна використовувати для створення широкого спектра принципово нових наукових, технічних та сервісних засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кіберфізичні системи (КФС) – це системи, що складаються з різних фізичних (природних і промислових) об'єктів, штучних підсистем, і керовані з використанням зворотного зв'язку від різних датчиків. В основу функціонування КФС закладений принцип інтеграції обчислювальних і фізичних процесів, тобто фізичні об'єкти стають частиною системи [1].

Узагальнено структура КФС містить мережу вимірювально-обчислювальних вузлів, об'єднаних комутувальним середовищем та підтриманих високопродуктивними обчислювальними засобами, підключених до центрів збору та опрацювання інформації [2]. Загальна задача полягає у поєднанні вимірювально-обчислювальних процесів і процесів керування з фізичними процесами різної природи для отримання нових можливостей під час планування та виконання комплексних задач з дослідження та керування фізичними процесами.

Одним з актуальних каналів витоку мовної інформації є оптико-електронний технічний канал. Перехоплення інформації через нього реалізується за допомогою спеціальних засобів розвідки – лазерних систем акустичної розвідки (ЛСАР) [3]. Такі системи дозволяють отримувати акустичну інформацію з приміщення на значних відстанях і без необхідності проникнення всередину приміщення, де циркулює акустична інформація.

Зняття інформації здійснюється шляхом опромінювання лазерним променем певної поверхні чи конструкції приміщення, яка вібрує в акустичному полі, лазерний промінь модулюється за законом вібрації поверхні і відбивається у зворотному напрямку, після чого він перехоплюється приймачем ЛСАР, демодулюється і з нього виділяється мовна інформація [3; 4].

Зазвичай, для усунення витоку інформації по акустичному каналу, застосовують або звукоізоляцію, або генератори корельованих акустичних завад [5; 6].

Таким чином, актуальним є моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку за допомогою розвинутих апаратно-програмних систем для розробки цих засобів захисту, їх вдосконалення та верифікації.

Мета статті: розробка структури та визначення основних функцій елементів кіберфізичної системи для моделювання технічних засо-

бів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом.

Виклад основного матеріалу.

Структура КФС моделювання (рис. 1) технічних засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом включає фізичну та кібернетичну частини.

В фізичній частині джерело акустичної інформації (сигналу) створює акустичне поле, в якому вібрує відбиваюча поверхня.

Прямий промінь лазерного випромінювача модулюється акустичними вібраціями відбиваючої поверхні і у вигляді зворотного променя потрапляє в лазерний приймач, де сигнал демодулюється і з нього виділяється акустична (мовна) інформація.

Для захисту акустичної інформації від витоку шляхом її зашумлення використовують віброакустичний перетворювач (вібровипромінювач), що розміщений на відбиваючій поверхні і підключений до генератору шуму (ГШ).

Кібернетична частина складається із:

– блоку комутації, що забезпечує обмін інформацією між елементами фізичної і кібернетичної частин;

– блоку керування, який на основі заданної задачі моделювання та інформації від датчиків елементів фізичної системи формує відповідні керуючі впливи на виконання цієї задачі;

– блоку моделювання, що включає моделі елементів фізичної системи та пов'язує їх в єдину структуру. Наприклад, структура блока при моделюванні прямого перетворення акустичного сигналу в сигнал на виході лазерного приймача наведена на рис. 2;

– блоку обробки та реєстрації, що здійснює обробку загальної інформації системи (результатів моделювання), формування та ведення відповідної бази даних.

Елементи фізичної частини. Джерело акустичної інформації відтворює спектр та рівень акустичного мовного сигналу і реалізується шляхом використання генераторів гармонійних коливань із формуючими фільтрами та/або тес-

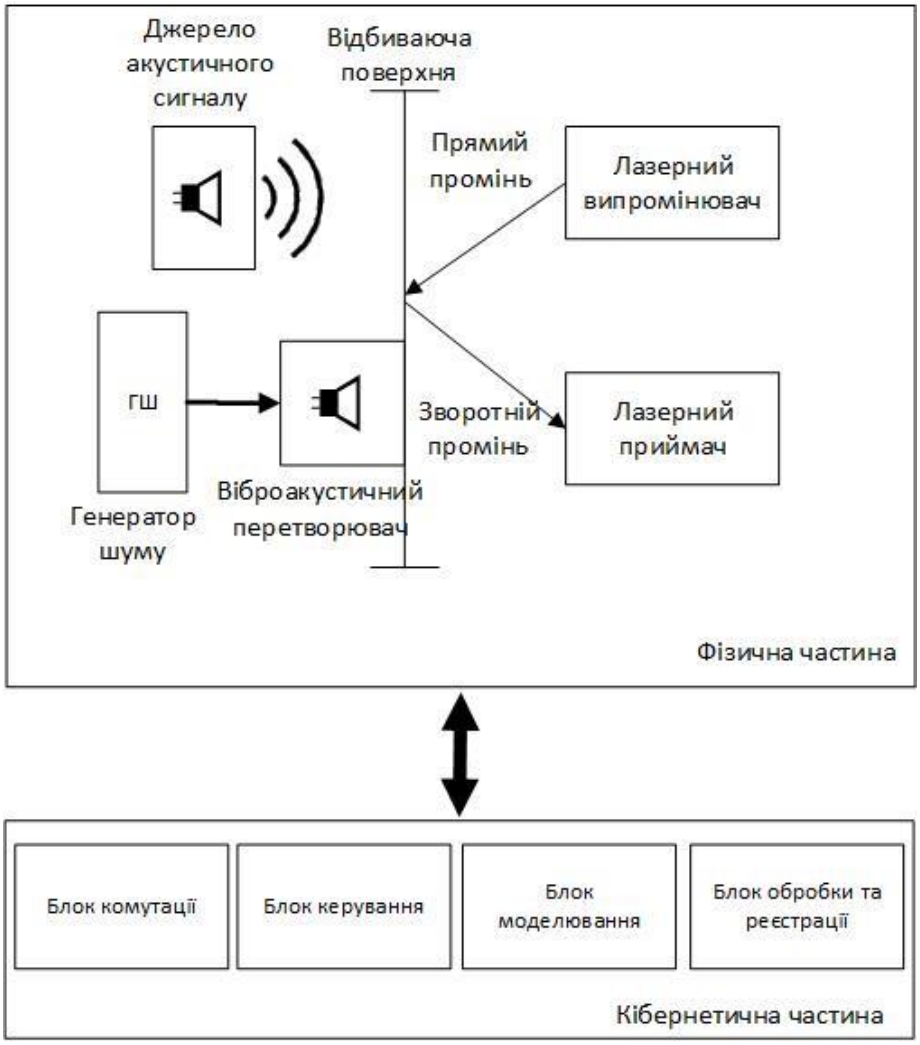


Рис. 1. Структура КФС моделювання

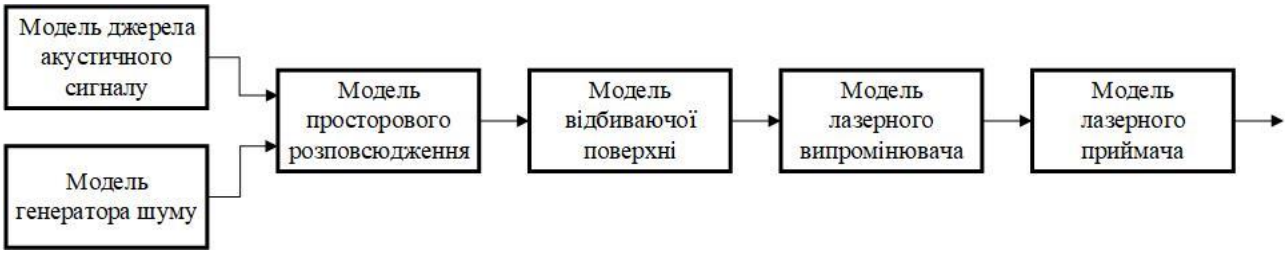


Рис. 2. Структура блока моделювання при моделюванні прямого перетворення акустичного сигналу в сигнал на виході лазерного приймача

тових мовних сигналів на носіях із відповідними відтворюючими пристроями.

Для перетворення електричного сигналу в акустичний використовують широкосмугові акустичні системи з рівномірною амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) в досліджуваному діапазоні частот та потужністю, що створює акустичний тиск при нормальній розмові людей (55-65 дБ).

В оптико-електронному каналі джерелом витоку інформації є відбиваюча поверхня, наприклад, віконне скло або інша скляна поверхня, дзеркало тощо. Під дією мовного сигналу віконне скло (відбиваюча поверхня) здійснює низькочастотні коливання, якими може бути промодульоване високочастотне лазерне випромінювання. Відбите випромінювання потім приймається лазерним приймачем, котрий відновлює мовну інформацію із приміщення.

Таким чином, при дослідженні методів та засобів захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом необхідно враховувати матеріал відбиваючої поверхні, її лінійні розміри та товщину.

У якості лазерних випромінювачів та приймачів може використовуватись як промислове обладнання так і лабораторні макети. Промислові лазерні системи акустичної розвідки (ЛСАР) мають складні схеми конструкцій, які ґрунтуються на розвинених схемах фільтрації як оптичного сигналу, так і перетвореного електричного сигналу.

За параметрами ЛСАР, зазвичай, мають фокусні відстані об’єктива передавача 135 мм, а об’єктива приймача – 500мм, потужність випромінювання складає одиниці або десятки мілівat. При цьому ЛСАР камуфлюються під звичайну дзеркальну камеру.

В лабораторному макеті приймальний блок містить фотоприймач (наприклад, фототранзистор, який не потребує попереднього підсилення сигналу, а також має частотну пропускну здатність до 30 кГц), блок фільтрації прийнятого сигналу (для придушення теплових шумів та шумів за рахунок власних коливань відбиваючої поверхні та нестабільності випромінюючого лазера), а також блок підсилення сигналу для погодження з реєструючим пристроєм або акустичною системою.

Принцип роботи засобів активного захисту полягає у формуванні сигналу шуму з такими характеристиками, щоб виділення інформативного сигналу було неможливим (дуже складним).

Для унеможливлення виділення інформативного сигналу, для захисту від витоку мовної інформації оптико-електронним каналом, на відбиваючу поверхню встановлюється засіб активного захисту – вібровипромінювач, який створює шумовий сигнал в мовному спектрі частот.

Однак такий спосіб має свої вади, головна з яких – збільшення «паразитного» шуму у приміщенні, при чому не тільки за рахунок акустичного фонового шуму, а за рахунок акустичного шуму, що виникає при роботі самих вібровипромінювачів. Тому визначення місць розміщення випромінювачів, ретельне налаштування їх АЧХ є важливими завданнями при проектуванні системи захисту.

На якість захисту інформації впливають багато факторів: фізико-механічні характеристики віконного скла, спосіб монтажу вібровипромінювачів, характеристики мовного сигналу, характеристики шумового сигналу. Актуальним питанням є визначення кількості та місця розташування вібровипромінювачів.

Наразі генератори шуму, що випускаються промисловістю, генерують псевдобілий шум в діапазоні 0,1-15 кГц.

Моделі елементів фізичної частини. КФС моделювання використовується для:

– розробки нових та вдосконалення існуючих методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом;

– обґрунтування параметрів та характеристик елементів засобів технічного захисту;

– верифікації методів та засобів технічного захисту.

Модель джерела акустичної інформації (див. рис. 2) забезпечує варіацію методів та характеристик генерування мовної інформації.

Модель генератора шуму (див. рис. 2) поряд з АЧХ генераторів, що випускаються промисловістю, включає також моделі інших завад, наприклад, «одночасна розмова кількох людей», хаотичні (фрактальні) послідовності імпульсів тощо. Крім того, передбачається варіація методів зашумлення, наприклад, корельованим шумом, шумом, синтезованим за допомогою вейвнет тощо.

Модель просторового розповсюдження враховує кількість вібровипромінювачів та місця їх встановлення на відбиваючій поверхні. Кількість вібровипромінювачів для конкретного об'єкта визначається відстанню від джерела мовного сигналу, його гучністю та інтенсивністю, затуханням мовного сигналу. Також впливають показники звукопоглинання, звуковідбиття, звукопроникності (звукоізоляції) матеріалів та поверхонь у приміщенні, рівень шумового фону.

При використанні двох і більше вібровипромінювачів для захисту мовної інформації від витоку оптико-електронним каналом на відбиваючій поверхні виникає складна картина інтерференції хвиль. Якщо сигнали шуму, що подаються на вібровирпомінювачі є когерентними, то в результаті інтерференції утворюється шумовий сигнал, який містить максимуми та мінімуми коливань на відбиваючій поверхні (рис. 3).

У такому випадку утворюються «мертві» зони, де значення рівня сигналу шуму дорівнює нулю. На рис. 3 світлим кольором позначено максимуми, темним – мінімуми, а «розмиті» області сірого кольору – це і є ділянки з нульовим рівнем шуму.

Отже, на практиці такі явища як інтерференція, розщеплення, затухання, поглинання вносять вплив на ефективність засобів активного захисту, що використовуються на об'єктах інформаційної діяльності. Створення моделі, яка враховує всі ці фактори є складною задачею.

В моделі відбиваючої поверхні процес її коливання описується відомими рівняннями [7]:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f}{\partial t^2}-\frac{Z(x,y,z,t)}{T},v^2=\frac{T}{\rho}; \quad (1)$$

$$\Delta f=\frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 f}{\partial t^2}-\frac{Z(x,y,z,t)}{T}, \quad (2)$$

де $\Delta=\frac{\partial^2}{\partial x}+\frac{\partial^2}{\partial y}+\frac{\partial^2}{\partial z}$ – оператор Лапласа; $f=f(x,y,z,t)$ – функція коливального процесу; $Z(x,y,z,t)$ – тиск зовнішньої сили на пластину (відбиваючу поверхню), яку чинять вібровипромінювачі під час своєї роботи; T – сила протидії відхиленню пластини від положення рівноваги, v – фазова швидкість, ρ – густина пластини.

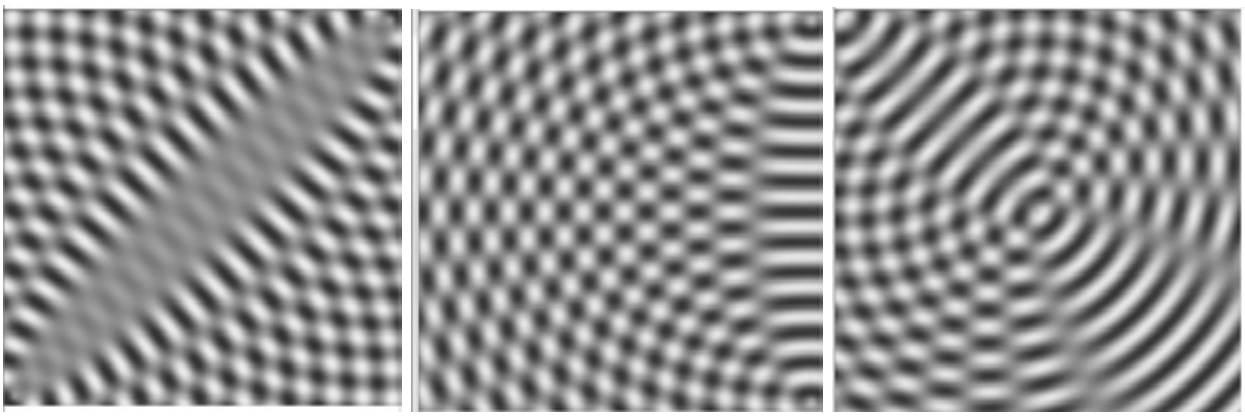
Звуковий тиск P та відхилення пластини від положення рівноваги u зв'язані наступним співвідношенням [7]:

$$u=\frac{P_{зовн}}{2\pi frv} \quad (3)$$

де $P_{зовн}$ – звуковий тиск на зовнішній стороні скла, f – частота звукового коливання, r – густина атмосфери, v – швидкість розповсюдження звукової хвилі для нормальних атмосферних умов.

Моделі лазерних випромінювача та приймача використовуються для оцінки ефективності засобів захисту (їх верифікації).

Лазерний приймач демодулює отриманий зворотній промінь та виділяє з нього низько-



а *б* *в*

Рис. 3 Інтерференція від двох однакових вібровипромінювачів, розташованих по діагоналі (*а*), на одній вертикальній лінії (*б*) та у центрі і у куті (*в*) на відбиваючій поверхні

частотну складову, яка підлягає подальшому аналізу та обробці. Якщо рівень залишкової мовної розбірливості низькочастотної складової є достатнім – то приймається рішення, що за даним каналом технічно ймовірне зняття (виток) акустичної інформації з приміщення.

Висновки з дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напряму. Розроблена структура та визначені функції і основні характеристики елементів кіберфізичної системи моделювання. Створення кіберфізичної системи моделювання методів та засобів технічного захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом автоматизує вимірювально-обчислювальні процеси та підвищує спроможність розробки нових та вдосконалення існуючих засобів захисту, обґрунтування параметрів та характеристик їх елементів, а також верифікації засобів захисту.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку та вдосконалення моделей та програмного забезпечення програмно-апаратної платформи кіберфізичної системи для моделювання захисту акустичної інформації від витоку оптико-електронним каналом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Lee J., Bagheri B., Kao H. A cyberphysical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters.* 2015. Vol. 3. P. 18–23.

2. Мельник А.Ю. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. 2014. С. 154–161. URL: http://ena.lp.edu.ua.

3. Катаєв В., Яремчук Ю. Метод активного захисту інформації від зняття лазерними системами акустичної розвідки. *Захист інформації.* 2019. Том 21. № 1. С. 34–39. DOI: 10.18372/2410-7840.21.13545.

4. Григорьев И.А., Тупота В.И. Разработка модели оптико-электронного канала утечки акустической речевой информации. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-optiko-elektronnogo-kanala-utechki-akusticheskoy-rechevoy-informatsii.

5. Данілов В.В., Котенко А.М. Напрями захисту акустичної інформації на об’єкті інформаційної діяльності. *Сучасний захист інформації.* 2020. № 4(44). С. 18–22. DOI: 10.31673/2409-7292.2020.041822.

6. Лізунов С., Філобок Є. Захист мовної інформації з використанням систем активного звукопридушення. *Захист інформації*. 2021. Том 23. № 1. С. 20–25. DOI: 10.18372/2410-7840.23.149596.

7. Заболотный В.И., Ковальчук Ю.А. Оценка амплитуды колебаний оконного стекла под действием акустических волн. *Прикладная радиоэлектроника.* 2009. Том 8. № 2. С. 193–197.

REFERENCES:

1. Lee J., Bagheri B., Kao H. A cyberphysical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters.* 2015. Vol. 3. Pp. 18–23.

2. Melnyk A.Yu. Kiberfizychni systemy: problem stvorennia ta napriamy rozvytku. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. 2014 S. 154–161. Access mode: http://ena.lp.edu.ua.

3. Kataiev V., Yaremchuk Yu. Metod aktyvnjgj zachystu informacii vid zniattia lazernymy systemamy akustychnoi rozvidky. *Zachyst informacii.* 2019. Tom 21. № 1. S. 34-39. DOI: 10.18372/2410-7840.21.13545.

4. Grygor’iev I.A., Tupota V.I. Razrabotka modeli optiko-elektronnogo kanala utechki akusticheskoi rechevoi informacii Access mode: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-modeli-optiko-elektronnogo-kanala-utechki-akusticheskoy-rechevoy-informatsii.

5. Danilov V.V. Kotenko A.M. Napriamy zachystu akustychnoi informacii na ob’iekti informaciinoii diial’nosti. *Suchasnyi zachyst informacii.* 2020. № 4(44). S. 18–22. DOI: 10.31673/2409-7292.2020.041822.

6. Lizunov, S., Filobok, Ye. Zachyst movnoi informacii z vykorystanniam system aktyvnogo zvukoprydushennia. *Zachyst informacii.* 2021. Tom 23. № 1. S. 20–25. DOI: 10.18372/2410-7840.23.149596.

7. Zabolotnyi V.I., Koval’chuk Yu.A. Ochenka amplitudy kolebanii okonnogo stekla pod deistviem akusticheskich voln. *Prikladnaia radioelektronika.* 2009. Tom 8. № 2. S. 193–197.

УДК 004.46
DOI https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-4

Володимир КУВАЄВ
доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one
***ORCID:** 0000-0001-6329-071X*
***Scopus Author ID:** 6602411915*

Станіслав ПРОЦЕНКО
старший викладач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, protsenko.s.m@nmu.one
***ORCID:** 0000-0003-2624-0187*
***Scopus Author ID:** 57195672977*

Ольга ШЕВЦОВА
ассистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, shevtsova.o.s@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-0148-5877*
***Scopus Author ID:** 57220267804*

Бібліографічний опис статті: Куваєв, В., Проценко, С., Шевцова, О. (2021). Реалізація паралельної багатозадачності в системах реального часу на базі однокристального мікроконтролера. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 26–33, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-4

РЕАЛІЗАЦІЯ ПАРАЛЕЛЬНОЇ БАГАТОЗАДАЧНОСТІ В СИСТЕМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА БАЗІ ОДНОКРИСТАЛЬНОГО МІКРОКОНТРОЛЕРА

Основним напрямом розвитку сучасного приладобудування є створення компактних інтелектуальних датчиків і приладів на базі однокристальних мікроконтролерів які реалізують багатозадачну функціональність. Для програмного забезпечення таких мікроконтролерів критичним є забезпечення режиму реального часу їх функціонування в умовах мінімальних обчислювальних ресурсів з урахуванням критичного часу виконання кожної з задач які відповідний датчик чи прилад реалізує. ***Метою роботи*** *є реалізація паралельної багатозадачності в системах реального часу на базі однокристального мікроконтролера. Реалізація поставленої мети передбачає вирішення завдання створення програмного механізму, що забезпечує паралельне скоординоване виконання декількох задач одночасно при мінімальних обчислювальних ресурсах, з урахуванням обмежень на час реакції системи, що побудована на однокристальному мікроконтролері, на зовнішні і внутрішні події.* ***Методологія*** *вирішення поставленого завдання полягає в виділенні основних типів задач в системах реального часу і створення механізму координації їх виконання, який потребує мінімум обчислювальних ресурсів мікроконтролера.* ***Наукова новизна****. У статті показано, що використання принципу примусової багатозадачності, який заснований на квантуванні часу і використанням алгоритму диспетчеризації з плануванням, що витісняє задачі за пріоритетом, дозволяє реалізувати режим реального часу і квазіпаралельної багатозадачності в системах на однокристальних мікроконтролерах з мінімальними обчислювальними ресурсами.* ***Висновки****. Використання запропонованого механізму реалізації паралельної багатозадачності для однокристальних мікроконтролерів дозволяє ефективно розділити обчислювальні ресурси між задачами, забезпечити функціонування системи на базі мікроконтролера в режимі реального часу і мінімізувати затрати часу на узгодження окремих програмних модулів при їх доробці.*

Ключові слова: *однокристальний мікроконтролер, багатозадачність, режим реального часу, мікро-ОС.*

Volodymyr KUVAIEV
Doctor of Engineering, Professor of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, kuvaiev.v.m@nmu.one
***ORCID:** 0000-0001-6329-071X*
***Scopus Author ID:** 6602411915*

Stanislav PROTSENKO
Senior Lecturer of Department of Cyberphysical and Information-Measuring Systems, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, protsenko.s.m@nmu.one
***ORCID:** 0000-0003-2624-0187*
***Scopus-Author ID:** 57195672977*

Olha SHEVTSOVA
Assistant Lecturer of Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, shevtsova.o.s@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-0148-5877*
***Scopus-Author ID:** 57220267804*

To cite this article: Kuvaev, V., Protsenko, S, Shevtsova, O. (2021). Realizatsiia paralelnoi bahatozadachnosti v systemakh realnoho chasu na bazi odnokrystalnoho mikrokontrolera [Implementation of parallel multitasking in real-time systems based on a single-chip microcontroller]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 26–33, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-4

IMPLEMENTATION OF PARALLEL MULTI-TASKING IN A REAL-TIME SYSTEM BASED ON A SINGLE-CHIP MICROCONTROLLER

The future of modern instrument development is in the creation of compact intelligent sensors and devices based on single-chip microcontrollers. These have the capability of implementing multitasking functionality. The software of such microcontrollers is critical in providing real-time operation in terms of minimal computing resources, which take into account the critical execution time of each of the tasks that the respective sensor or device implements. ***The aim*** *of the work is to implement parallel multitasking in real-time systems based on a single-chip microcontroller. Realization of this set purpose decides the problem of creating a software mechanism which provides parallel coordinated performance of several tasks simultaneously at the minimum computing resources. It also takes into account restrictions on the reaction time of the system built on the single-chip microcontroller regarding external and internal events.* ***The methodology*** *for solving this problem is to identify the main types of problems in real-time systems and create a mechanism for coordinating their implementation, which requires a minimum of computing resources of the microcontroller.* ***Scientific novelty.*** *The article shows that the use of the principle of forced multitasking, which is based on time quantization and the use of algorithms with scheduling and displacing priority tasks, allows the implementation of real-time and quasi-parallel multitasking in systems on single-chip microcontrollers with minimal computing.* ***Conclusions.*** *The use of the proposed mechanism for implementing parallel multitasking for single-chip microcontrollers allows the user to effectively divide computing resources between tasks, ensure the operation of the system based on the microcontroller in real time and minimize the time spent on matching individual software modules.*

Key words: *single-chip microcontroller, multitasking, real-time mode, micro-OS.*

Актуальність проблеми. Розвиток приладобудування і первинних засобів перетворення інформації у системах автоматизації характеризується широким застосуванням в них однокристальних мікроконтролерів (ОМК) які дозволяють поєднувати в собі обчислювача, пристроїв введення-виведення для зв'язку з об'єктом та перетворювача, що забезпечує стандартний інтерфейс з комп'ютером. Особливістю таких ОМК є їх дуже обмежені обчислювальні ресурси. Це ускладнює створення прикладних програм, що забезпечують реалізацію багатозадачності при жорстких обмеженнях на час їх виконання – на реалізацію режиму реального часу функціонування пристрів на базі ОМК. Відтак проблема реалізації паралельної багатозадачності в системі реального часу на базі ОМК є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури свідчить, що при розробці програмного забезпечення систем на базі ОМК проблематиці програмування для забезпечення їх функціонування в режимі реального часу уваги практично не приділяється. Так Петин В. А. розглядаючи проекти з використанням мікроконтролера Arduino основну увагу

приділяє питанню застосування стандартних бібліотечних функцій для роботи з периферійними модулями різноманітного призначення (Петин В. А., 2015).

У інтернет-виданні В.Н. Гололобова основна увага приділяється настроюванню розподілених систем на базі ОМК (В.Н. Гололобова). За своєю природою така система є багатозадачною. Як один з варіантів програмного забезпечення, що застосовується в таких системах в роботі розглядається використання операційної системи Raspbian. В той же час дані, за якими можна оцінити спроможність цієї операційної системи забезпечити функціонування програмно-апаратного комплексу в режимі жорсткого реального часу, відсутні.

Поряд з цим існують сучасні операційні системи реального часу, що забезпечують реалізацію багатозадачності з прогнозованими параметрами на час реакції апаратно-програмного комплексу на зовнішні і внутрішні події. До таких операційних систем (ОС) відносяться, зокрема, ОС QNX [3] та ОС контролерів Siemens SIMATIC S7 [4].

Метою статті є дослідження результатів програмної реалізації паралельної багатозадачності в системах реального часу на базі ОМК з обмеженими обчислювальними ресурсами, що спирається на механізми повномасштабних ОС реального часу.

Виклад основного матеріалу. В одноплатних спеціалізованих електронних пристроях до яких належать інтелектуальні датчики і та компактні прилади широке застосування знайшли ОМК з архітектурою мікроконтролера MCS-51 фірми Intel. Вона використовується в мікроконтролерах фірм Siemens, Philips, Atmel та інш. [5]. Останньою повністю програмно сумісною розробкою в цій лінійці ОМК є мікроконтролер N76E003 південнокорейської фірми Novoton [6] (модель 2017 р). Вона повністю зберегла базові обчислювальні ресурси, але завдяки ядру, що виконано за технологією 1T 8051 (1 машинний цикл виконується за один такт), швидкодія мікроконтролера на порядок перевищує швидкодію мікроконтролера MCS-51. Тим не менш, завдяки збереженню базової архітектури і програмної сумісності в цій лінійці мікроконтролерів, механізми і методи реалізація паралельної багатозадачності в системі реального часу на базі цих ОМК ідентичні, хоча часові параметри реакцій на зовнішні події, час перемикання між задачами та інше. можуть відрізнятися.

Аналіз програм, що вирішуються в ОМК типу MCS-51 дозволив узагальнити їх функціональну структуру виділивши три основні типи задач:

– задача введення і первинної обробки інформації;

– задача формування і виведення інформації, що управляє (керуючих впливів);

– задача обміну інформацією з ПЕОМ верхнього рівня і діагностики технічних засобів приладу, інтелектуального датчика (далі – контролера) або керованого механізму. Тобто ця задача розширює верхній рівень обробки інформації.

Кожна з таких задач має свою інформаційну базу, що пов'язана з іншими задачами через загальну інформаційну базу. Перші дві задачі повинні працювати в режимі жорсткого реального часу, третя – функціонувати в фоновому режимі квазіреального часу (м’якого реального часу).

Для скорочення часу на розробку і налагодження програмного забезпечення одноплатних контролерів на базі ОМК була розроблена багатозадачна мікро-операційна система (мікро-ОС) з квазіпаралелізмом, яка орієнтована на типову структуру програмного забезпечення (ПЗ) ОМК, що дозволяє будувати на їх базі системи автоматизації, які працюють в реальному масштабі часу.

В мікро-ОС реалізований принцип примусової багатозадачності заснований на квантуванні часу. При перемиканні задач використовується алгоритм диспетчеризації, що забезпечує витісняюче планування, та засноване на пріоритетах. Взаємодія між задачами забезпечуються механізми, що засновані як на обміні повідомленнями через відповідні черги, так і на використанні загальних областей пам'яті. Реалізований механізм запитів до системи. Система переривань забезпечує буферизоване введення/виведення даних через універсальний асинхронний приймач-передавач (УАПП) ОМК, а також надає можливість перепризначення оброблювачів двох зовнішніх переривань INT0 і INT1. Мікро-ОС надає в розпорядження програміста ряд сервісних функцій які можуть бути використані для організації високорівневого доступу до ресурсів.

Мікро-ОС підтримує одночасне існування до трьох незалежних задач. Дане обмеження обумовлено малим обсягом внутрішньої пам'яті даних зі швидким доступом в ОМК. Пріоритети задач фіксовані, динамічна зміна пріоритетів неприпустима. Однак будь-яка задача може бути знята з виконання за власною вимогою, або з ініціативи системи, а потім відновлена системою при виникненні достатніх для цього умов. Чим вище пріоритет здачі, тим більше квантів часу відводиться їй в циклі черги задач.

Одна (будь-яка) з трьох задач може бути повторюваною, тобто отримувати управління через певні (постійні) проміжки часу.

Розподіл ресурсів здійснюється на етапі конфігурації мікро-ОС під конкретну задачу. Коректне використання ресурсів ґрунтується на дисциплінованості програміста, а поняття «недоступність», що зустрічається в тексті, слід трактувати як «заборона на використання».

Мікро-ОС функціонально включає в себе: область системних даних, процедуру початкової ініціалізації, супервізор, обробники переривань, функції системного сервісу. Вона надає наступні ресурси доступні із задач (див. рис. 1):

а) загальна область пам'яті (2К). Може використовуватися здачами без будь-яких обмежень. Відповідальність за розподіл пам'яті повністю лежить на програмістові;

б) черга системних повідомлень (16Б). Використовується задачами для направлення запитів до системи. Наприклад запитів на зняття. Доступна задачам тільки на запис;

в) буфер введення УАПП (64Б). Заповнюється оброблювачем переривання УАПП по надходженні даних з лінії зв'язку. Переглядається супервізором на предмет керуючих повідомлень. Доступний задачам тільки на читання;

г) буфер виведення УАПП (64Б). Дані знаходяться в буфері витягуються оброблювачем переривання УАПП для передачі по лінії зв'язку. Доступний здачам тільки на запис;

д) черги повідомлень задач (16Б). Використовується мікро-ОС для направлення повідомлень задачам, і задачами для зв'язку одна з одною. Своя черга повідомлень доступна задачі тільки на читання, черги інших задач – тільки на запис;

е) байт ознак стану черг і буферів. Відображає поточний стан ресурсів: 0-порожній, 1 – непорожній. Окремі біти ознак по кожному ресурсу встановлюються або скидаються як правило сервісними функціями, що відповідають за доступ до цих ресурсів. Переповнення / спустошення буферів і черг контролю-

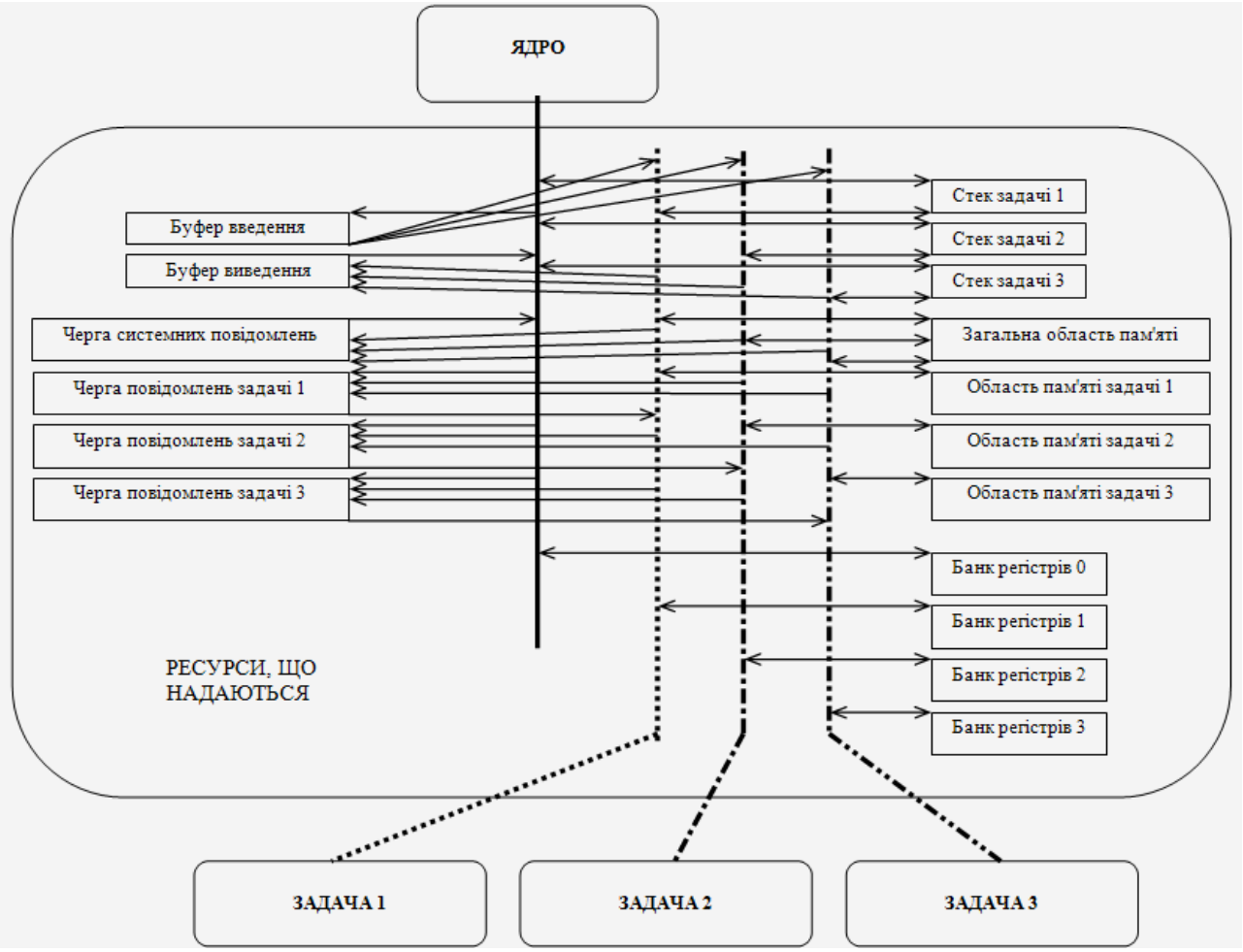


Рис. 1. Структура наданих ресурсів і права доступу до них (Стрілками вказані права доступу: читання/запис/запис-читання)

ються цими ж функціями. Задачам, в більшості випадків, достатньо лише контролювати ознаки;

ж) області пам'яті задач (2К). Кожній задачі надається область пам'яті, за замовчуванням 2К, недоступна іншим задачам і самій мікро-ОС. Може використовуватися задачами без будь-яких обмежень. Відповідальність за розподіл пам'яті повністю лежить на програмістові;

з) регістри задачі (8Б). Кожній задачі надається окремий банк регістрів. Перемикання банків здійснюється супервізором автоматично при перемиканні контексту задач;

і) стеки задач (16Б). Для кожної задачі виділено стек розміром 16 байт. Перемикання між стеками здійснюється супервізором при перемиканні контексту. Супервізор для своєї роботи використовує стек перерваної задачі.

Системні дані, в основному, не можуть бути доступні із задач, і використовуються мікро-ОС для налаштування на етапі ініціалізації, контролю та управління при перемиканні задач супервізором.

Задачам доступні на запис тільки біти умов відновлення при знятті у таблиці дескрипторів задач.

Область даних містить:

– константи ініціалізації;
– описи стандартних повідомлень і команд;
– таблицю дескрипторів задач;
– вказівники на голови і хвости черг і буферів, а також на області пам'яті, що відведені останнім;
– індикатор стану черг і буферів;
– лічильник квантів виконання поточної задачі;
– індикатор відновлення задачі, що повторюється;
– прапор наявності задачі, що повторюється;
– часові змінні;
– часові прапори.

Таблиця дескрипторів задач містить наступні поля для кожної задачі:

1 байт – номер (ім'я) задачі;

1 байт – вказівник стека задачі;

2 байта – точка початкового входу в задачу;

1 байт – пріоритет задачі (кількість квантів, що відводиться задачі);

1 байт – стан задач;

1 біт – тип задачі (0-циклічна / 1-повторювана);

1 біт – готовність задачі (0-немає готовності / 1- є готовність);

1 біт – ознака відновлення при наявності своїх повідомлень;

1 біт – ознака відновлення при наявності даних від УАПП;

3 біта – резерв.

При запуску системи здійснюється:

– настройка режимів таймерів/лічильників;
– налаштування УАПП;
– налаштування системи переривань;
– завантаження вказівника стека значенням бази системного стека. Системний стек необхідний тільки при першій активізації супервізора;
– обнуління оперативної пам'яті;
– ініціалізація таблиці дескрипторів задач відповідно до значень дескрипторів задач;
– формування стеків задач (вказівників стеків задач) для забезпечення коректного першого входження в кожну задачу;
– ініціалізація вказівників голів і хвостів черг і буферів введення/виведення;
– контроль наявності в системі задачі, що повторюється. (При відсутності такої скидається прапор наявності задачі, що повторюється. У разі присутності задачі, що повторюється, індикатор відновлення завантажується значенням з дескриптора відповідної задачі, і встановлюється прапор наявності задачі, що повторюється);
– настройка черги задач на першу задачу;
– дозвіл переривань;
– запуск таймера-лічильника ТЛ0.

Далі, до першого входження в супервізор, програма знаходиться в порожньому циклі.

Супервізор є по суті оброблювачем переривання від ТЛ0 і активізується кожні 10 мс виконуючи такі дії:

– при отриманні управління супервізор здійснює заборону переривань, перезавантажує коефіцієнт ділення ТЛ0, після чого зберігає контекст перерваної задачі зберігаючи в її стеку регістри A, B, PSW, DPH, DPL і перемикає банки регістрів, роблячи активним банк-0 (системний банк регістрів);

– після цього відпрацьовується процедура часу. Системний годинник реалізований у вигляді лічильників містять даний час з моменту запуску системи, в форматі: [десятки мс] [сотні мс] [секунди] [хвилини] [години]. По досягненню вмістом лічильника граничного значення він обнуляється, відбувається перенесення одиниці в наступний старший лічильник, і зводиться прапор переходу кордону відповідного інтервалу часу, в байті часових прапорів. Є також кільцевий лічильник квантів (по 10 мс);

– далі, контролюється наявність в системі задачі, що повторюється (за станом прапора наявності повторюваної задачі, що повторюється), і в разі її відсутності управління передається процедурі контролю пріоритетів задач;

– у разі, якщо прапор наявності задачі, що повторюється, встановлено (така присутня), – декрементується індикатор відновлення задачі, після чого контролюється його стан, і в разі нерівності нулю скидається прапор готовності задачі і управління передається процедурі контролю пріоритетів задач;

– у разі рівності нулю індикатора відновлення (прийшов час відновити повторювану задачу), – визначається номер задачі, що повторюється, і індикатор повторення перезавантажується значенням з дескриптора відповідної задачі, черга задач завантажується номером задачі, що повторюється, зводиться прапор готовності задачі. Після цього управління передається процедурі контролю запитів до системи минаючи контроль пріоритетів;

– потім здійснюється контроль поточного значення пріоритетного числа перерваної задачі, і, в разі якщо його значення не дорівнює нулю, воно декрементується, і здійснюється «негайне» повернення в перервану задачу. Цей процес завершується коли поточне значення пріоритетного числа дорівнює нулю;

– далі, здійснюється контроль стану черги системних повідомлень, і при наявності таких вони витягуються з черги шляхом виклику сервісної функції **take**, проводиться їх аналіз, і при виявленні запитів на зняття, біт готовності відповідної задачі скидається шляхом виклику сервісної функції **taskNotRedy**. Процес повторюється до повного спустошення черги системних повідомлень. Таким чином всі запити, що надійшли до чергового перемикання задач, будуть обслужені. Запити, що не є стандартними повідомленнями і командами, не обслуговуються і будуть втрачені;

– на наступному етапі контролюється наявність знятих (не готових) задач і, при виявленні останніх, аналізується можливість і умови їх відновлення. Якщо відновлення допустимо і необхідні умови виконуються, то біт готовності відповідної задачі зводиться шляхом звернення до сервісної функції **taskRedy;**

– нарешті починається процес безпосереднього перемикання задач.

Черга задач реалізована в регістрі R1 системного банку регістрів і містить номер наступної задачі. Цей номер аналізується, і якщо задача підлягає виконанню – є зараз не готовою (знятою), то відбувається просування черги задач (R1 інкрементується) і перехід до аналізу стану наступної задачі. Таким чином в разі неготовності всіх задач управління залишається всередині супервізора.

У тому випадку якщо наступна задача готова до виконання відбувається збереження стека перерваної задачі у відповідному полі таблиці дескрипторів. Якщо була перервана задача, що повторюється, – викликається сервісна функція **stackModel**, яка формує порожній стек і зберігає вказівник на нього у відповідному полі таблиці дескрипторів, для забезпечення можливості подальшого відновлення з точки початкового входу. Вказівник стека завантажується з таблиці дескрипторів значенням SP задачі, що активізується. Відбувається перемикання активного банку регістрів, «просування» черги задач, завантаження поточного пріоритетного числа значенням пріоритету задачі, що активується (з таблиці дескрипторів). Після чого здійснюється контроль коректності стеків задач за значеннями їх баз, відновлюються з стека регістри A, B, PSW, DPH, DPL задачі, що активізується, дозволяються переривання, і управління передається задачі через застосування команди **reti** в те місце, де ця задача була раніше перервана (включаючи вкладені функції і переривання), незалежно від того чи була вона до цього знятої чи ні.

При тактовій частоті 12 МГц MCS-51 час витрачається на перемикання контексту задач становить:

мінімум – близько 100 мкс (при порожній черзі системних повідомлень);

в середньому – близько 200 мкс (при наявності 3 повідомлень в черзі);

максимум – близько 1000 мкс (при повній черзі системних повідомлень).

Система переривань надає три апаратних переривання – від зовнішніх джерел INT0 і INT1, і від приймача УАПП. І одне комбіноване апаратно-програмне переривання передавача УАПП. Обидва переривання УАПП мають загальний оброблювач. Оброблювачі переривань INT0 і INT1 повинні перевизначитися для кожної конкретної конфігурації програмно-апаратного комплексу і за замовчуванням не виконують ніяких дій, відразу ж повертаючи управління. Оброблювач переривання УАПП виконує функції буферізованого введення/виведення по послідовному каналу зв'язку.

При виникненні переривання УАПП оброблювач визначає джерело переривання – приймач або передавач.

У разі переривання приймача, прийнятий байт зчитується з вхідного регістра УАПП у вхідний буфер УАПП (64Б), і, в разі якщо буфер був до цього порожній, встановлюється індикатор стану буфера. При переповненні буфера прийняті дані губляться і зводиться відповідна ознака.

Переривання передавача перший раз необхідно активізувати програмним шляхом, встановивши в 1 біт TI регістра SCON. ОМК з задачі вимагає виведення даних після підготовки інформації у вихідному буфері УАПП.

У разі переривання передавача скидається прапор запиту переривання передавача, черговий байт зчитується з вихідного буфера УАПП у вихідний регістр УАПП, і, в разі якщо буфер спустошений, індикатор стану буфера скидається. Відбувається повернення з оброблювача.

Після закінчення передачі байта, УАПП знову виставляє запит на переривання передавача. У разі якщо буфер вже порожній – здійснюється негайне повернення з оброблювача. Таким чином, якщо в буфері знаходиться *n* байт, то оброблювач активізується *n+1* раз (причому останній раз час обробки мінімальний).

Мікро-ОС надаються такі сервісні функції:

taskRedy – зводить ознаку готовності задачі;

taskNotRedy – скидає ознаку готовності задачі;

insert – помістити елемент в чергу або буфер. Розміщує байт в хвості, відповідним чином пересуваючи вказівник;

take – витягує елемент з черги або буфера. Витягує байт з голови, відповідним чином пересуваючи покажчик;

stackModel –формує порожній стек задачі, номер якої переданий в якості параметра, у вигляді: [точка початкового входу LO] [точка початкового входу HI] [0] [0] [PSW] [0] [0]; і зберігає вказівник на нього в полі дескрипторної таблиці, відповідному цієї задачі;

delay – реалізує програмну затримку виконання.

Кожній задачі передує, в своїй області пам'яті програм, дескриптор задачі розташований за строго фіксованою адресою. Дескриптор задачі має наступні поля:

1 байт – номер (ім'я) задачі;

1 байт – пріоритет задачі (кількість квантів для виконання);

1 байт – тип задачі (0-циклічна / 1-повторювана);

1 байт – адреса бази стека задачі;

1 байт – старший байт адреси точки початкового входу в задачу;

1 байт – молодший байт адреси точки початкового входу в задачу;

5 байт – часовий проміжок між поновленнями задачі.

Вміст дескриптора використовується системою на етапі початкової ініціалізації для заповнення таблиці дескрипторів. Далі, за дескрипторами, може слідувати безпосередньо код задачі.

Можливі два типи задач – циклічні і повторювані.

Циклічні задачі виконуються «постійно» і можуть бути зняті тільки за власною ініціативою або за ініціативою супервізора при виявлені помилки в роботі задачі. При знятті з власної ініціативи задача, перед викликом **taskNotRedy,** може встановити одну з ознак можливості відновлення за умовою. При виконанні зазначеної умови задача буде відновлена супервізором (наприклад відновлення за наявністю повідомлень в своїй черзі, і за наявністю даних у вхідному буфері УАПП).

Залежно від пріоритету задачі, їй в кожному циклі черги задач, надається (поспіль) кількість квантів число яких дорівнює її пріоритетному числу. Задача може бути знята тільки після відпрацювання всіх відведених їй в поточному циклі квантів, тобто тільки при перемиканні на іншу задачу.

Задача, що повторюється, виконується через певні, строго фіксовані, проміжки часу, і може мати пріоритет відмінний від нуля. Після закінчення задачі, що повторюється, незалежно від того яка задача була перервана, відбувається перемикання на наступну, по ходу черзі, задачу. Після закінчення задачі, що повторюється, не відбувається збереження поточного вказівника стека, таким чином вона завжди починається спочатку. З цього випливає, що для задачі, що повторюється, повинно бути відведено час (кількість квантів) який декілька перевищує час, що реально необхідний для повного завершення задачі. Задача має завершуватися циклом, можливо порожнім. Таким чином деякий непродуктивний простій практично неминучий.

Описана мікро-ОС була використана при модернізації програмного забезпечення приладу, який контролює магнітну фазу в прокаті на виході установки термомеханічного зміцнення прокату з прокатного нагріву [7].

Програмне забезпечення приладу складається з трьох модулів: задачі управління намагнічуванням прокату, задачі контролю кількості магнітної фази і задачі інформаційної підтримки. Всі три задачі працюють під управлінням розглянутої мікро-ОС.

Перші два задачі здійснюють управління датчиком магнітної фази і обробку первинної інформації в реальному масштабі часу. Третя задача забезпечує обмін інформацією з ПЕОМ, видачу інформації про режим термомеханічного зміцнення на панель приладу і введення з неї інформації від органів управління, а також здійснює функції діагностики приладу.

Використання розробленої мікро-ОС дозволило ефективно розділити обчислювальні ресурси КР 1816ВЕ51 між задачами, а також мінімізувати витрати часу на узгодження окремих програмних модулів при їх доопрацюванні.

Висновки. Структури обчислювальних ресурсів однокристальних мікроконтролерів накладають обмеження як на загальну кількість завдань, що функціонують квазіпаралельно, так і на можливості реалізації режиму реального часу кожної задачі. Доцільно в прикладному програмному забезпеченні однокристального мікроконтролера виділити три основні задачі: задачу введення і первинної обробки інформації, задачу формування і виведення інформації, що управляє, і задачу обміну інформацією з ПЕОМ верхнього рівня з реалізацією режиму реального часу тільки для перших двох типів задач. Запропоновані програмні механізми реалізації паралельної багатозадачності в системі реального часу на базі однокристального мікроконтролера забезпечують стійке функціонування приладів, спрощують розробку і модернізацію програмного забезпечення приладів та інтелектуальних датчиків.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Петин В.А. Проекты с использованием микроконтроллера Arduino. 2-е изд. перераб. и доп. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015. 464 с.

2. Гололобов В.Н. IoT как ИНТЕРАНЕТ вещей с Rasbtrry Pi и MajorDoMo. Москва, 2019. 217 с. URL: https://www.razym.org/tehnicheskaya/electronika/397319-gololobov-vn-iot-kak-intranet-veschey-s-raspberry-pi-i-majordomo.html.

3. Операционная система реального времени QNX Neutrino 6.3. Системная архитектура: Пер. с англ. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. 336 с.

4. Альтерман И.З. Программируемые контроллеры SIMATIC S7. 1-й уровень профессиональной подготовки S7_PROF1_PA. 2011. 68 с. URL: http://www.promautomatic.ru/catalog/S7_PROF1_PA.pdf.

5. Мікропроцесорна техніка [Текст]: навч. посібник / В.В. Ткачев, Г. Грулер, Н. Нойбергер та інш. Дніпро : Національний гірничий університет, 2012. 188 с.

6. Nuvoton 1T 8051-based Microcontroller. N76E003 Datasheet. 2017. 263 p. URL: https://www.nuvoton.com/export/resource-files/DS_N76E003_EN_Rev1.09.pdf.

7. Шеремет В.А., Бабенко М.А., Кекух А.В., Костюченко М.И., Кокшаров А.Н., Кузнецов Г.А., Куваев В.Н., Чигринский В.А., Иванов Д.А., Карпинский Ю.П. Электромагнитный контроль процесса термоупрочнения проката крупных сечений. *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 2004. № 6. С. 102–105.

REFERENCES:

1. Petin V.A. Projects using the Arduino microcontroller. 2nd ed. revised and add. SPb : BHV-Petersburg, 2015. 464 p.

2. Gololobov V.N. IoT as INTERANET of things with Rasbtrry Pi and MajorDoMo. M., 2019. 217 p. Electronic resource for downloading: https://www.razym.org/tehnicheskaya/electronika/397319-gololobov-vn-iot-kak-intranet-veschey-s-raspberry-pi-i-majordomo.html.

3. The real-time operating system QNX Neutrino 6.3. System architecture: Per. from English. SPb : BHV-Petersburg, 2005. 336 p.

4. Alterman I.Z. SIMATIC S7 programmable controllers. 1st level of professional training S7_PROF1_PA. 2011. 68 p. Electronic resource for downloading: http://www.promautomatic.ru/catalog/S7_PROF1_PA.pdf.

5. Microprocessor technology “Text”: navch. posibnik / V.V. Tkachev, G. Gruler, N. Neuberger and insh. D : National State University, 2012. 188 p.

6. Nuvoton 1T 8051-based Microcontroller. N76E003 Datasheet. 2017. 263 p. Electronic resource for downloading https://www.nuvoton.com/export/resource-files/DS_N76E003_EN_Rev1.09.pdf

7. Electromagnetic control of the thermo-hardening process for large-section rolled steel. Sheremet, M.A. Babenko, A.V. Kekukh, M.I. Kostyuchenko, A.N. Koksharov, G.A. Kuznetsov, V.N. Kuvaev, V.A. Chygrynskiy, D.A. Ivanov, Yu.P. Karpinsky // Metallurgical and mining industry. 2004. No. 6. S.102-105.

УДК 681.518.5
DOI https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-5

Олена СИРОТКІНА
кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49000
***ORCID:** 0000-0002-4069-6984*

Павло ІЩУК
асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49000, yshchuk.p.o@nmu.one
***ORCID:** 0000-0001-6399-6771*

Ярослав ЖУРАВЛЬОВ
студент спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» другого (магістерського) рівня вищої освіти, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49000

Бібліографічний опис статті: Сироткіна, О., Іщук, П., Журавльов, Я. (2021). Діагностика працездатності сервера розподіленої SCADA системи. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 34–41, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-5

ДІАГНОСТИКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СЕРВЕРА РОЗПОДІЛЕНОЇ SCADA СИСТЕМИ

В даний час існує актуальне завдання створення автоматичних необслуговуваних автоматизованих систем та апаратно-програмних комплексів відповідального призначення. У зв'язку з цим, доцільним є завдання діагностики працездатності таких систем із можливістю їх подальшого самовідновлення. Отже, такі системи повинні працювати в цілодобовому режимі реального часу без участі експлуатаційного персоналу. ***Метою*** *статті є створення та застосування методів автоматичної діагностики та автовідновлення після оборотних відмов сервера, що працює в складі апаратно-програмного комплексу розподіленої SCADA системи для підвищення надійності та відмовостійкості роботи SCADA. Проведено огляд сучасних методологій, що застосовуються при вирішенні завдань даного класу. Розглянуто основні причини виникнення несправностей в розподіленої SCADA системі на стадії промислової експлуатації. Наведена діаграма основних станів системоутворюючого вузла сервера SCADA, де кожному з станів відповідають свої характерні види відмов. Для опису взаємодії структурних компонентів серверного вузла SCADA застосована методологія моделювання з використанням Unified Modeling Language. Наведено модель одного з сценаріїв зміни станів системоутворюючого вузла сервера SCADA в часі. У сценарії наведені методи профілактики відмов системи в зв'язку зі зникненням напруги живлення в електромережі, а також методи автовідновлення після оборотних відмов, що працюють навіть при відмові призначеного для користувача інтерфейсу.* ***Наукова новизна*** *запропонованого методу автоматичної діагностики сервера SCADA полягає в формуванні критеріїв та функціональних залежностей виявлення та розмежування оборотних і необоротних відмов. Як* ***висновок****, результатом розробки методів профілактики та автовідновлення працездатності системи після відмов є істотне підвищення її надійності та відмовостійкості в процесі промислової експлуатації, що особливо істотно для об'єктів відповідального призначення та підвищеної небезпеки.*

Ключові слова: *SCADA система, діагностика відмов, рівні ієрархії ПЗ SCADA, діаграма взаємодії структурних компонентів, методи автовідновлення працездатності SCADA.*

Olena SYROTKINA
Ph.D in Mathematical Modeling and Computational Methods, Associate Professor at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49000
***ORCID:** 0000-0002-4069-6984*

Pavlo ISHCHUK
Assistant lecturer at the Department of Software Engineering, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49000, yshchuk.p.o@nmu.one
***ORCID:** 0000-0002-4069-6984*

Yaroslav ZHURAVLOV
Student of specialty 121 "Software Engineering" of the second (master's) level of higher education, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005

To cite this article: Syrotkina, O., Ishchuk, P., Zhuravlov, Ya. (2021). Diahnostyka pratsezdatnosti servera rozpodilenoi SCADA systemy [Server Diagnostic Performance of the Distributed SCADA]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 34–41, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-5

SERVER DIAGNOSTIC PERFORMANCE OF THE DISTRIBUTED SCADA

At the present time, the primary task is to create automatic, maintenance-free systems as well as hardware and software systems. In this regard, it is advisable to diagnose the efficiency of such systems with the possibility of their further self-recovery. Therefore, such systems should function 24/7 in real-time without the involvement of personnel to operate them. ***The aim*** *of the article is to create and apply methods for automatic diagnostics and auto-recovery after reversible server failures. The server works as part of the hardware and software complex of the distributed SCADA system. This will increase SCADA reliability and fault tolerance. We conducted a review of modern methodologies used in solving problems of this class. This paper considers the main causes of malfunctions in the distributed SCADA system at the stage of industrial operation. The diagram of the main states of the SCADA server backbone node is given, where each of the states corresponds to its characteristic types of failures. We applied the modeling methodology using the Unified Modeling Language to describe the interaction of the structural components of the SCADA server node. This resulted in the creation of the model for one of the scenarios of state changes in the SCADA server backbone node in real-time. The scenario provides methods for preventing system failures due to power outages, as well as methods of auto-recovery after reversible failures which work even if the user interface fails.* ***The scientific novelty*** *of the proposed method of automatic diagnostics of the SCADA server is in the formation of criteria and functional dependencies for the detection and differentiation of reversible and irreversible failures. In* ***conclusion****, the result of the method development for prevention and self-recovery of the system after failures lies in a significant increase of its reliability and fault tolerance in the process of industrial operation. This is especially important for critical objects and increased danger.*

Key words*: SCADA system, failure diagnostics, levels of SCADA software hierarchy, diagram of interaction between structural components, methods of auto-recovery of SCADA performance.*

Актуальність проблеми. В даний час в усьому світі відбувається розвиток нових технологій в різних областях промислового виробництва, енергетики, військовій сфері. Контроль і оперативне диспетчерське управління в галузі промислової автоматизації забезпечують сучасні SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системи відповідального призначення, які отримують все більш широке розповсюдження [1–5]. Галузі застосування SCADA систем зумовлюють підвищені вимоги до надійності їх роботи, безпеки використання, живучості та відмовостійкості в процесі експлуатації на об'єктах відповідального призначення. Дана проблема стає все більш значущою в процесі вдосконалення та ускладнення самих SCADA систем – розподілених багаторівневих і багатозадачних апаратно-програмних комплексів (АПК), які працюють в режимі реального часу. На сьогодні практично всі застосовувані SCADA системи вимагають для експлуатації та обслуговування постійної цілодобової присутності висококваліфікованого персоналу на об'єктах експлуатації. Таким чином, актуальною є задача створення методики автоматичної самодіагностики працездатності SCADA з можливістю автовідновлення роботи системи після оборотних відмов.

Аналіз останніх публікацій показав основні напрями досліджень в цій галузі.

В роботі [1] представлена системна інформація для аналізу поведінки спеціалізованих процесів з метою діагностики та налагодження підсистем SCADA, включаючи основне обладнання,

програмне забезпечення та системи зв'язку, які з'єднують системоутворюючі вузли та автоматизовані робочі місця операторів SCADA.

Робота [2] присвячена питанню автоматизації завдань, пов'язаних з моніторингом конкретних виробничих процесів, зі зменшенням складової диспетчерського управління, а також координацією операцій з технічного обслуговування. Це надає програмованим логічним контролерам (ПЛК) можливість приймати рішення та виконувати дії, виходячи тільки з інформації, що надається ПЛК іншими системоутворюючими вузлами. Таким чином, технологія SCADA модернізується та виходить на новий рівень управління виробничими процесами, а також бізнес-операціями зі збільшенням складової автоматичної діагностики працездатності та відновлення системи. Це дозволяє підвищити швидкість, ефективність і якість виробничих процесів.

У статті [3] представлена інтегрована система управління розподілом ресурсів (Integrated Distribution Management System – IDMS). Вона забезпечує структуру інтеграції, що легко настроюється і в даний час включає в себе один інструментальний засіб підтримки прийняття рішень – компонент діагностики. Цей компонент діагностики називається сервером управління відновленням після збою (Outage Restoration Management Server – ORMS). Він інтегрований з іншими інформаційними системами через гнучку розширювану структуру інтеграції (Integration Framework – IF), що заснована на технології інтегрованих обчислювальних моделей (Model Integrated Computing Technology – MIC), яка розроблена в Інституті програмних інтегрованих систем (The Institute for Software Integrated Systems – ISIS). Структура IF була розроблена таким чином, щоб можна було легко підтримувати інтеграцію між інструментальними засобами підтримки прийняття рішень та інформаційною системою промислового підприємства, а також можна було б швидко і недорого створити та інтегрувати в IDMS додаткові інструментарії підтримки прийняття рішень. Структура IF на базі MIC надає гнучку і розширювану інтеграційну платформу, на якій можна побудувати набір інструментаріїв підтримки прийняття рішень. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності та результативності роботи технологічних процесів промислових підприємств.

У статті [4] описується еталонна архітектура для розробки та впровадження програмних додатків, що виконують віддалену діагностику та прогнозування роботи інформаційних систем. Еталонна архітектура включає нові стандартні серверні технології на рівні додатків, щоб гарантувати переносимість між широким спектром серверних платформ і сприяти повторному використанню основних компонентів додатка в різних доменах кінцевих користувачів. Основні програми включають додаток для управління діагностикою в реальному часі, набір інструментарію для діагностичного аналізу, а також середу аналізу і розробки для створення діагностичних / прогностичних додатків. Набір інструментарію для діагностичного аналізу використовує компоненти додатків на основі Java в рамках загальної структури, що дозволяє гнучку інтеграцію різноманітних поєднань методів міркувань та методів, що засновані на правилах, в діагностичні та прогностичні додатки. Ці ж компоненти також використовуються в серверній середовищі реального часу для виконання діагностичних і прогностичних стратегій.

В роботі [5] описана методика, яка використовує багаторівневу архітектуру відкритих мережевих сервісів (Open Grid Services Architecture – OGSA) для побудови експертної системи діагностики несправностей (Grid-based Fault Diagnosis Expert System – GFDES). На основі ряду моделей були розроблені програми суспільного телебачення та паралельного сервісу для сервера. Спроєктована архітектура мережі даних (Data Grid Market-based Architecture – DGMA) представлена незалежними розподіленими вузлами мережі, що відповідають експертній системі діагностики несправностей.

Метою досліджень є підвищення надійності та відмовостійкості роботи сервера розподіленої SCADA системи шляхом розробки методики діагностики його працездатності з можливістю автовідновлення після оборотних відмов.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо основні причини виникнення несправностей в АПК розподіленої SCADA системи, що знаходиться на стадії промислової експлуатації, які призводять до часткової або повної втрати її працездатності. До них відносяться:

– несправності апаратних засобів, що виникають у разі відсутності прогнозування їх старіння, зносу та, як наслідок, вихід з ладу. При цьому, таких несправностей вузлів системи можна було б уникнути в разі проведення своєчасної та якісної діагностики всіх вузлів SCADA системи в процесі її експлуатації;

– несанкціоноване втручання або навмисно шкідливий вплив на системоутворюючі вузли або мережеві комунікації SCADA системи, з метою отримання доступу до даних або

з метою спотворення даних і / або зміни будь-яких функцій системи;

– фізичне пошкодження електронного обладнання системи, каналів зв'язку та каналоутворюючої апаратури, що виникає внаслідок впливу будь-яких зовнішніх факторів, перенапруги з боку мережі живлення, грозової активності, пошкодження заземлення та ін.

– оборотні апаратні збої, що не призводять до виходу з ладу обладнання, однак викликають збій та повну, або часткову відмову програмних засобів SCADA системи, що, в свою чергу, призводить до втрати функціональності будь-яких окремих її вузлів, або ж всієї системи;

– помилкові дії експлуатаційного персоналу підприємства.

Крім того, в процесі експлуатації SCADA системи, топологія, структура та функціональність генеруємої run-time SCADA постійно зазнає змін відповідно до змін, що відбуваються на об'єкті впровадження. В тому числі, зміни зазнає парк використовуваного в складі SCADA системи працездатного обладнання, середовище передачі даних, модифікується ПЗ в зв'язку з модернізацією обладнання, резервуванням, ремонтними або профілактичними заходами. Також додаються нові об'єкти контролю, змінюється набори параметрів, що контролюються, тривог, види звітних форм SCADA системи та ін.

Таким чином можна стверджувати, що SCADA система, як розподілений багаторівневий та багатозадачний АПК, що працює в режимі реального часу – складний, динамічний об'єкт діагностики зі змінною структурою та функціональністю в процесі періоду експлуатації. Надійність роботи SCADA системи, достовірність даних на всіх рівнях ієрархії залежить від працездатності системоутворюючих вузлів, каналів передачі даних, периферійного обладнання та узгодженості роботи програмного забезпечення системи в цілому.

На рис. 1 приведена діаграма рівнів ієрархії (PI) середовища розробки та виконання SCADA системи.

На кожному системоутворюючому вузлі SCADA присутній деякий набір з наведених на діаграмі PI (див. Рис. 1). Найбільш повний набір PI мають сервера SCADA системи.

На рис. 2 приведена діаграма станів системоутворюючого вузла сервера SCADA.

Run-time сервера SCADA – це набір виконуваних процесів, кожен з яких проходить через три стани: початкова ініціалізація, основний алгоритм, завершення. У багатьох процесах основний алгоритм являє собою нескінченний цикл очікування команди на обслуговування,

Рис. 1. Діаграма рівнів ієрархії середовища розробки та виконання SCADA системи

що отримується через призначений для користувача інтерфейс або від іншого процесу. Такі процеси завершуються штатно, тільки отримавши сигнал на завершення роботи.

У складі згенерованого run-time сервера SCADA присутні як резидентні програми, що працюють у real-time 24/7, так і тимчасові, що запускаються з резидентних у відповідь на запит клієнта SCADA або згідно з алгоритмом роботи процесів сервера SCADA.

Тимчасова програма проходить свої три стани послідовно або взаємодіє з користувачем через вікна інтерфейсу. Штатне завершення тимчасового процесу здійснюється після закінчення виконання деякого алгоритму або через інтерфейс користувача про завершення роботи.

Резидентні процеси run-time сервера SCADA після початкової ініціалізації входять в цикл очікування запиту, команди, повідомлення або сигналу від клієнта SCADA або будь-якого іншого процесу системи згідно з алгоритмом взаємодії процесів системи. Штатне завершення роботи run-time сервера SCADA відбувається через інтерфейс користувача спеціалізованого резидентного процесу або шляхом запуску командного файлу на завершення роботи run-time сервера SCADA системи. При цьому всі резидентні процеси отримують сигнал про примусове

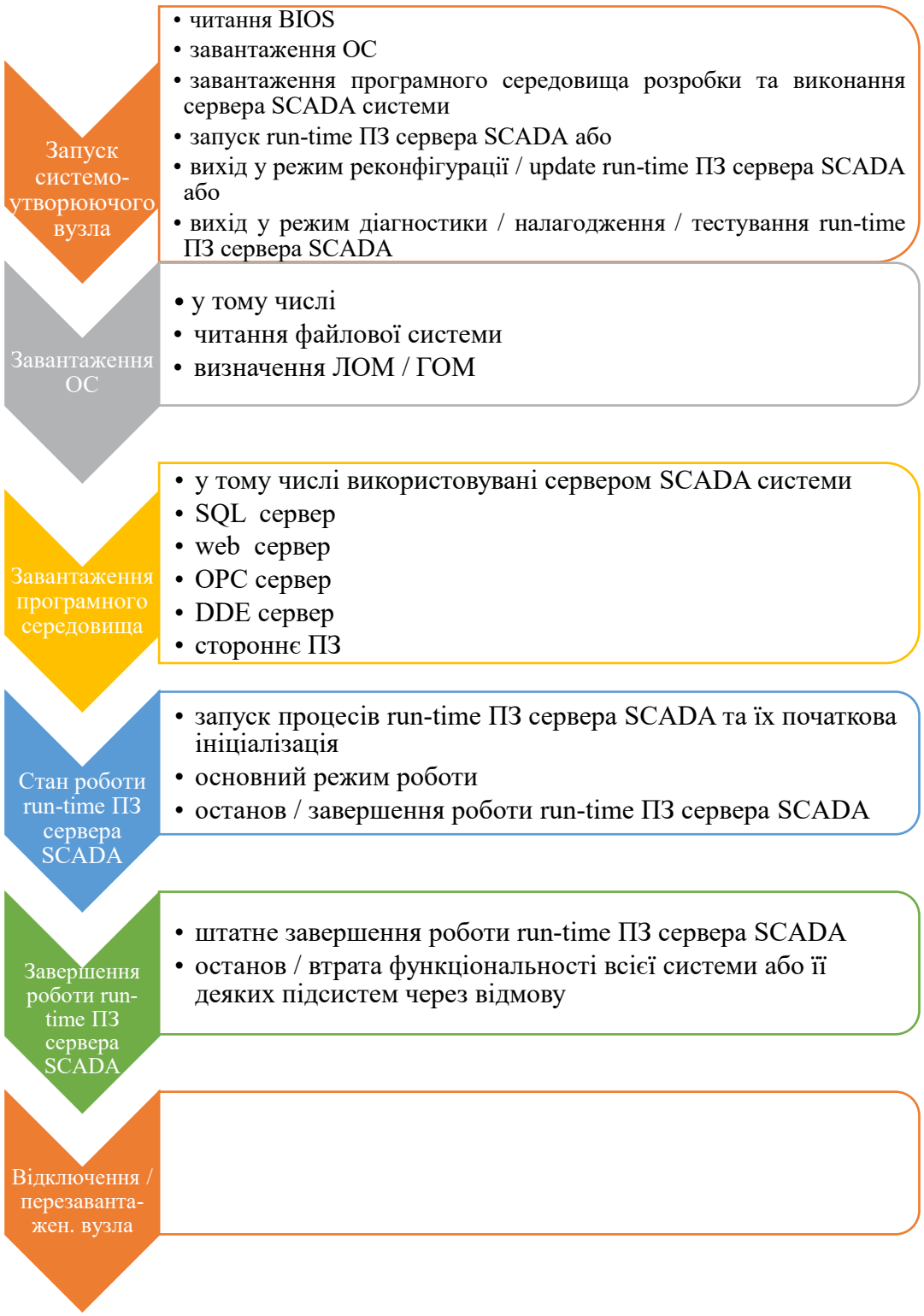


Рис. 2. Діаграма станів системоутворюючого вузла сервера SCADA

завершення та тільки тоді переходять в свій третій стан.

Будь-який з процесів run-time сервера SCADA може завершитися позаштатно з деяким кодом завершення, що дозволяє діагностувати проблему. Якщо даний вид несправності не був заздалегідь передбачений, та його обробка не була прописана в коді програми, то такий процес зніметься аварійно. Аварійне завершення процесу можливо в будь-якому місці (на будь-якому етапі виконання програми).

Крім того, нештатне завершення або аварійне зняття процесу в складі run-time ПЗ сервера SCADA може бути пов'язано з нештатним

завершенням процесу /процесів будь-якого з PI (див. Рис. 1), які повинні взаємодіяти з даним процесом.

Позаштатне завершення або аварійне зняття тимчасового процесу в складі run-time ПЗ сервера SCADA не обов'язково буде критично для працездатності системи в цілому. Перезапуск процесу з інтерфейсу сервера SCADA у багатьох випадках вирішує проблему. Проте, можлива часткова втрата функціональності сервера SCADA, особливо, якщо цей процес не перезапускається. У зв'язку з цим необхідно вести журнал діагностики, в якому будуть зафіксовані коди завершення процесів.

Позаштатне завершення або аварійне зняття резидентного процесу, як правило, є показником виникнення серйозної проблеми в роботі сервера SCADA. Іноді можливо повне або часткове автовідновлення працездатності серверного вузла системи після перезавантаження. Для цього в підсистемі діагностики повинен бути передбачений менеджер процесів, що відслідковує склад і стан резидентних процесів, а також watchdog timer – спеціалізований пристрій для автоматичного перезавантаження системного вузла.

Watchdog timer має вбудований таймер, який налаштовується на T_{wdt} секунд. Кожну секунду значення вбудованого таймера зменшується на одиницю. По закінчення заданого часу T_{wdt}, коли вбудований таймер зможе обнулитися, watchdog timer автоматично виконає перезавантаження системного вузла. Щоб уникнути перезавантаження вузла, необхідно його звести, тобто прописати значення T_{wdt} у вбудованому таймері пристрою до того як він встигне обнулитися.

У разі штатної роботи всіх резидентних процесів в складі run-time ПЗ сервера SCADA зведенням watchdog timer займається менеджер процесів підсистеми діагностики з періодичністю $T < T_{wdt}$. У разі несанкціонованого завершення або нештатної поведінки хоча б одного резидентного процесу watchdog timer НЕ зводиться та після закінчення T_{wdt} з моменту останнього зведення відбувається перезавантаження системного вузла.

Якщо після автоматичного перезавантаження з використанням watchdog timer працездатність сервера SCADA не змогла бути відновлена, тоді watchdog timer деактивується щоб уникнути циклу перезавантажень і системний вузол вважається неробочим. Підсистема аварійної сигналізації (якщо знаходиться в працездатному стані) сповіщає диспетчера SCADA та відповідний обслуговуючий персонал про відмову серверного вузла. Якщо підсистема аварійної сигналізації на даному вузлі непрацездатна, то відмова серверного вузла виявляється досить швидко при першому ж зверненні до нього користувача або процесу з іншого вузла згідно закладеному в розподілену систему алгоритму взаємодії процесів.

Слід зазначити, що для успішного запуску run-time ПЗ сервера SCADA важливим аспектом є попереднє коректне штатне завершення всіх працюючих процесів при закритті системи на серверному вузлі. Штатне завершення всіх процесів вимагає деякого інтервалу часу Δt_{close} після отримання менеджером процесів сигналу на закриття системи. Сигнал на закриття може надходити:

– від адміністратора системи або правомочного експлуатаційного персоналу (в зв'язку з діагностикою, профілактикою або модернізацією серверного вузла);

– від драйвера джерела безперебійного живлення (UPS – Uninterruptible Power Supply) (в зв'язку з відсутністю напруги в електромережі та низьким рівнем зарядки батареї живлення UPS для підтримки роботи серверного вузла);

– від процесу, що працює з watchdog timer, (в зв'язку з необхідністю перезавантаження) та ін.

Якщо сталося зникнення напруги в електромережі та UPS, що працює від батареї, це відключить серверний вузол до повного закриття системи Δt_{close} або ж watchdog timer спрацює та перезавантажить вузол до Δt_{close}, тоді при наступному завантаженні можуть виникнути проблеми в зв'язку з частковою або повною втратою функціональності серверного вузла.

Для запобігання відмов системи, пов'язаних з відключенням живлення або перезавантаженням серверного вузла, необхідна розробка безпечних алгоритмів закриття системи з визначенням часу реакції та синхронізацією взаємодії відповідальних процесів.

На рис. 3 приведена діаграма взаємодії структурних компонентів серверного вузла SCADA.

На діаграмі взаємодії (див. Рис. 3) наведено один з можливих сценаріїв роботи серверного вузла SCADA. При наявності напруги в електромережі та коректному самотестуванні UPS подається напруга живлення від електромережі через UPS на серверний вузол SCADA. Виконується запуск серверного вузла згідно діаграмі, наведеної на рис. 2.

В процесі роботи run-time ПЗ сервера SCADA сталося аварійне зняття резидентного процесу сервера SCADA. Результатом реакції на цю подію є спроба автоматичного завершення роботи системи (наскільки це можливо в конкретній ситуації). За сигналом від watchdog timer серверний вузол йде на перезавантаження.

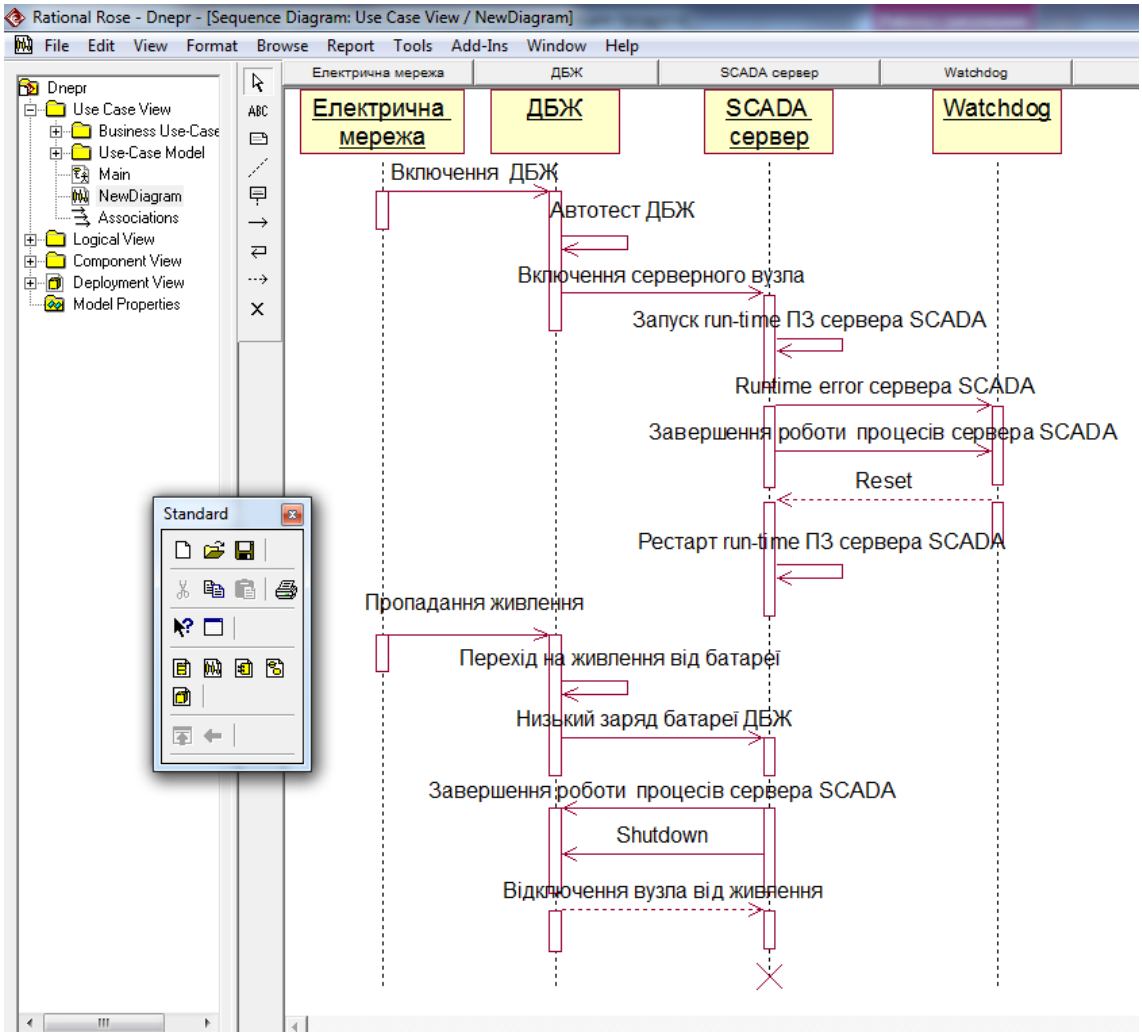


Рис. 3. Діаграма взаємодії структурних компонентів серверного вузла SCADA

Згідно зі сценарієм на діаграмі (рис. 3) запуск системи після перезавантаження відбулося коректно. Таким чином, було виконано автовідновлення працездатності системи. Слід зазначити, що ймовірність успішного автовідновлення системи після перезавантаження не перевищує 30%.

В деякий момент часу відбулося зникнення напруги в електромережі. UPS переходить на батарею, яка з часом розрядиться. При досягненні деякого настроюваного значення заряду батареї U_{lim} драйвер UPS в складі ПЗ сервера SCADA посилає сигнал на закриття системи, після чого відключає UPS. При коректному закритті системи до відключення живлення черговий запуск системи на серверному вузлі, як правило, виконується успішно. Якщо ж через розряджену батарею UPS відключився до завершення закриття SCADA системи на серверному вузлі, то ймовірність відмови при черговому запуску становить близько 50%.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Відмови SCADA системи та тривалість часу відновлення працездатності обслуговуючим персоналом SCADA істотно впливають на зниження якості управління технологічним процесом на промисловому підприємстві в режимі реального часу. Тому особлива увага приділяється розробці методів профілактики відмов та автовідновлення системи після оборотних відмов.

У даній статті були розглянуті деякі з цих методів, пов'язані з проблемами зникнення напруги живлення в електромережі, низького заряду батареї UPS, некоректного завершення процесів при закритті системи. Був показаний метод автовідновлення системи шляхом виявлення відмови з наступним автоматичним перезавантаженням серверного вузла. Цей метод може бути ефективний для цілого спектра різноманітних оборотних відмов.

Враховуючи жорсткий графік експлуатації SCADA систем (24/7 в режимі реального часу), дослідження причин виникнення відмов в SCADA, напрацювання банку методів автовідновлення працездатності системи дозволять істотно підвищити її надійність та відмовостійкість.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Bailey D., Wright E. Practical SCADA for Industry. Australia: Newnes, 2003. 304 p.
2. Hunzinger R. SCADA Fundamentals and Applications in the IoT. Internet of Things and Data Analytics: Handbook, Wiley Telecom, 2017. 293 p.
3. Moore M. S., Monemi, S., Jianfeng W. Integrating information systems in electric utilities. *SMC 2000 Conference Proceedings. 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics "Cybernetics Evolving to Systems, Humans, Organizations, and Their Complex Interactions"*. 2000. № 1. pp. 399–404.
4. Campos, F.T., Mills, W.N., Graves, M.L. A reference architecture for remote diagnostics and prognostics applications. *Proceedings, IEEE AUTOTESTCON*. 2002. pp. 842–853.
5. Mingzan, W., Ziye, Z. Service Architecture of Grid Faults Diagnosis Expert System Based on Web Service. *2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*. 2007. pp. 3–413.

REFERENCES:

1. Bailey D., Wright E (2003). Practical SCADA for Industry. Australia: Newnes.
2. Hunzinger R (2017). SCADA Fundamentals and Applications in the IoT. Internet of Things and Data Analytics: Handbook, Wiley Telecom.
3. Moore M. S., Monemi, S., Jianfeng W (2000). Integrating information systems in electric utilities. *SMC 2000 Conference Proceedings. 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics "Cybernetics Evolving to Systems, Humans, Organizations, and Their Complex Interactions"*. 1, 399-404.
4. Campos, F.T., Mills, W.N., Graves, M.L (2002). A reference architecture for remote diagnostics and prognostics applications. *Proceedings, IEEE AUTOTESTCON*.
5. Mingzan, W., Ziye, Z (2007). Service Architecture of Grid Faults Diagnosis Expert System Based on Web Service. *2007 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments*, 3–413.

УДК 621.85.052.(088.8)
DOI https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-6

Артем ШИРІН
кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, shyrin.a.l@nmu.one
***ORCID:** 0000-0003-0026-2767*
***Scopus Author ID:** 55522596500*

Валерій РАСЦВЄТАЄВ
кандидат технічних наук, доцент кафедри нафтогазової інженерії та буріння, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», просп. Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, Україна, 49005, rastsvietaiev.v.o@nmu.one
***ORCID:** 0000-0003-3120-4623*
***Scopus Author ID:** 57203998201*

Бібліографічній опис статті: Ширін, А., Расцвєтаєв, В. (2021). Мотивація створення інформаційної системи управління технологічними процесами транспортування шахтної породи. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 42–49, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-6

МОТИВАЦІЯ СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ШАХТНОЇ ПОРОДИ

В умовах інтенсифікації гірничого виробництва підвищення вимог техніки безпеки та раціональне використання енергетичних ресурсів не можуть бути забезпечені без створення інформаційної системи управління технологічними процесами транспортування вантажів в підземних гірничих виробках. У зв'язку з цим мотивами переходу до більш високого рівня інформатизації транспортно-вантажних робіт є заміна більшості існуючих засобів локальної візуалізації на уніфіковані комплекти апаратури у вигляді програмованих контролерів, інформативних датчиків, пункти візуального контролю, а також програмного забезпечення для персоналу, що обслуговує та використовує цю апаратуру.

***Метою** статті є обґрунтування функцій та структурної схеми інформаційної системи управління процесами транспортування шахтної породи надґрунтовими канатними дорогами (ДКН) в умовах невизначеності.*

*Для реалізації поставленої мети передбачено вирішити наступні **завдання**:*

1) виконати аналіз методів збору, накопичення і передачі інформації для візуалізації технологічних процесів транспортування гірничої породи в реальних умовах вугільних шахт;

2) розглянути можливість створення інформаційної системи управління технологічними процесами переміщення породи в нетипових умовах експлуатації надґрунтових канатних доріг;

3) розробити рекомендації щодо підвищення продуктивності ДКН і їх технічного стану при експлуатації в реальних умовах шахтного середовища.

***Наукова новизна.** Інформаційна система управління процесами транспортування шахтної породи надґрунтовими канатними дорогами при проведенні гірничих виробок (ГВ) в складних гірничо-геологічних умовах шахт Західного Донбасу розглядається в статті як взаємодіюча система «Дорога канатна надґрунтова – гірнича виробка» («ДКН – ГВ»), що функціонує в умовах невизначеності. Доведено, що впровадження інформаційних систем в діючі схеми транспорту шахт дає підвищення пропускної здатності дільничних транспортних виробок і забезпечення безпечних умов праці.*

***Висновки.** У статті, на основі впровадження інформаційної системи управління технологічними процесами гірничого виробництва розроблені рекомендації щодо підвищення продуктивності ДКН і її технічного стану при експлуатації в реальних умовах шахтного середовища, що постійно змінюється у просторі і часі.*

Встановлено, що при розробці інформаційної системи вирішуються складні завдання щодо виділення меж технологічного об'єкта, синтезу методів оперативного збору, обробки та передачі інформації, а також вибору програмного забезпечення, що буде використовуватись для реалізації відображення процесів гірничого виробництва у пунктах візуального контролю.

***Ключові слова:** інформаційна система управління, програмне забезпечення, надґрунтова канатна дорога, профіль транспортної виробки, розробка інформаційних систем.*

Artem SHYRIN
Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor at Computer Systems Software Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, shyrin.a.l@nmu.one
ORCID: *0000-0003-0026-2767*
Scopus Author ID: *55522596500*

Valerii RASTSVIETAIEV
Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor at Oil-and-Gas Engineering and Drilling Department, Dnipro University of Technology, 19 Dmytra Yavornytskoho ave., Dnipro, Ukraine, 49005, rastsvietaiev.v.o@nmu.one
ORCID: *0000-0003-3120-4623*
Scopus Author ID: *57203998201*

To cite this article: Shyrin, A., Rastsvietaiev, V. (2021). Motyvatsiia stvorennia informatsiinoi systemy upravlinnia tekhnolohichnymy protsesamy transportuvannia shakhtnoi porody [Motivating the development of information system to control technological processes for rock transportation]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 42–49, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2021-2-6

MOTIVATING THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM TO CONTROL TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR ROCK TRANSPORTATION

Under the conditions of mining intensification, neither increase in safety requirements nor rational use of power resources can be provided without the transportation of information system controlling technological processes for load hoisting in underground mine workings. In this connection, motivation to transit to higher informatization of transporting and loading/unloading operations is the replacement of the majority of current facilities of local visualization for the normalized apparatus sets in the form of programmable controllers, informative sensors, visual control centres as well as software for personnel operating and using the devices. ***Purpose*** *of the paper is to substantiate functions and structural scheme of the information system controlling rock transportation by means of above-ground ropeways (AGRWs) under the conditions of uncertainty.*

Following ***problems*** *should be solved to achieve the purpose:*

1) to analyze methods of information collection, accumulation, and transmitting to visualize technological process for rock transportation in actual practice of coal mines;

2) to consider the potential to develop the information system controlling technological processes of rock transportation under untypical conditions of above-ground ropeway operation; and

3) to develop recommendations to improve efficiency of the AGRWs as well as their engineering status while operating in the actual mine environment.

Originality. *The information system to control process of rock transportation by means of above-ground ropeways while mine working (MW) driving under the complicated mining and geological conditions of the Western Donbas mines is considered by the paper as interacting above-ground ropeway-mine working (AGRW-MW) system operating under uncertainty conditions. It has been proved that introduction of information system into the current schemes of mine transport improves capacity of site transportation mine working while ensuring safe labour conditions.*

Conclusions. *Relying upon the introduction of information system to control technological processes of mining, the recommendations have been elaborated as for the improvement of AGRW efficiency as well as its engineering status while operating in actual mine environment experiencing constant spatial and temporal changes.*

It has been identified that the information system development solves the complicated problems concerning determination of technological object boundaries; synthesis of methods of on-line information collecting, processing, and transmitting; and selection of the software to be applied for representation of mining processes within the visual control centres.

Key words: *information control system, software, above-ground ropeway, transport mine working section, development of information systems.*

Актуальність проблеми. Функції та структура інформаційної системи управління транспортними процесами гірничого виробництва повинні відображати існуючі та проектні технологічні схеми, а також організацію виробництва, структуру і функції діючих систем [1]. Уся інформація стосовно головного транспорту, видобутку вугілля та усіх головних процесів виробництва відображається на моніторах у диспетчерів і керівництва. Але конкретне місцезнаходження засобів допоміжного транспорту можна знати лише теоретично/приблизно – тільки через селекторний зв'язок. Пов'язано це з тим, що діючі схеми допоміжного транспорту, оснащені серійним технологічним обладнанням з локальними системами візуалізації зразка 80-х років і працю-

ють тільки в межах типових умов експлуатації. При розробці запасів вугілля біля меж шахтних полів або в зонах геологічних порушень були відзначені факти, коли інформаційні засоби, що застосовуються, не забезпечують виконання вимог охорони праці та техніки безпеки, без яких в сучасних умовах забороняється експлуатація транспортно-технологічних систем.

У зв'язку з цим акцент на створення інформаційної системи управління технологічними процесами переміщення породи в нетипових умовах експлуатації надґрунтових канатних доріг повинен базуватися на попередньому досвіді використання систем оперативно-виробничого управління транспортними засобами, програмного забезпечення, що використовується для цього і досягнень в суміжних галузях.

На жаль, до теперішнього часу для гірничодобувних підприємств України відсутні загальноприйняті науково-методичні рекомендації, що визначають функції, структуру і параметри інформаційних систем управління технологічними процесами транспортування породи в реальних умовах шахтного середовища.

Створення такої системи дає змогу адекватно оцінювати стан ДКН, її положення в технологічній схемі транспорту шахти і швидко реагувати на можливі небезпечні ситуації (підвищення рівня безпеки експлуатації ДКН).

Комплексна інформаційна система управління транспортними процесами гірничого виробництва дозволить звести роль оператора до налаштування і регулювання обладнання технологічних процесів та системи управління ними, а також спостереженню за ходом всього виробничого процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Системи комплексної інформатизації гірничого виробництва створюються на основі досягнень теорії управління, що використовують економіко-математичні методи і новітні засоби обчислювальної і керуючої техніки [2]. У сучасному розумінні інформаційні системи являють собою якісно новий щабель розвитку методів і засобів візуалізації технологічних процесів.

З урахуванням вищевикладеного, при формуванні принципів візуалізації технологічних процесів відкатки породи ДКН в умовах невизначеності був вивчений вітчизняний та зарубіжний досвід вирішення подібних завдань [3–7]. Для подальшого розгляду важливої наукової проблеми в якості аналога були обрані уніфіковані телекомунікаційні системи диспетчерського контролю гірничими машинами і технологічними комплексами (УТАС), що розроблено ДП «Петровський завод вугільного машинобудування» по ліцензії англійської фірми TROLEX, а також комплекси електричної централізації на мікропроцесорах ZDC30-2.0 (рис. 1), що випускаються в Китаї для управління механічними вузлами надґрунтових канатних доріг [4].

Представлений на рис. 1 вибухобезпечний блок управління (1) за допомогою датчика положення може отримувати відомості про місцезнаходження рухомого складу в виробках і шляхом розрахунку і обробки інформації візуально показувати його позиції на екрані рідкокристалічного дисплею.

Аналіз технічних можливостей застосування системи УТАС для підтримки і контролю безпечних режимів роботи конвеєрного транспорту шахт показав, що вона дозволяє здійснювати контроль і управління магістральними та дільничними конвеєрами і видавати інформацію на пульт головного диспетчера про технічний стан їх вузлів і агрегатів.

Для виконання зазначених функцій комплекс системи включає три модулі:

– модуль збору та первинної обробки інформації, що представляє собою сукупність датчиків і пристроїв, які забезпечують збір контрольованих даних;

– модуль передачі даних, що складається з передавальних пристроїв (контролери, репітори) і ліній зв'язку;

– модуль аналізу зібраної інформації і управління машинами і комплексами, що представляє собою поверхневий обчислювальний комплекс з програмним забезпеченням.

У відповідність до рекомендацій [7], функції оператора ДКН в реальних умовах експлуатації зводяться до: завдання програм управління по окремих агрегатах, вибору режимів роботи обладнання в межах функціонального блоку і спостереження за загальним ходом виробничого процесу та координації його експлуатаційних параметрів з урахуванням змін умов шахтного середовища.

Визначення мети дослідження. З урахуванням вищевикладеного метою обґрунтування функцій та структурної схеми інформаційної системи управління процесами транспортування шахтної породи ДКН в умовах невизначеності є: підвищення пропускної здатності дільничних виробок та забезпечення безпечних умов праці за рахунок зниження питомих енерговитрат на вивезення гірничої маси з підготовчих ділянок і ресурсозбереження.

Досягається це шляхом створення інформаційної системи управління транспортно-технологічних процесів і забезпечення їх безпеки в нетипових умовах гірничого виробництва.

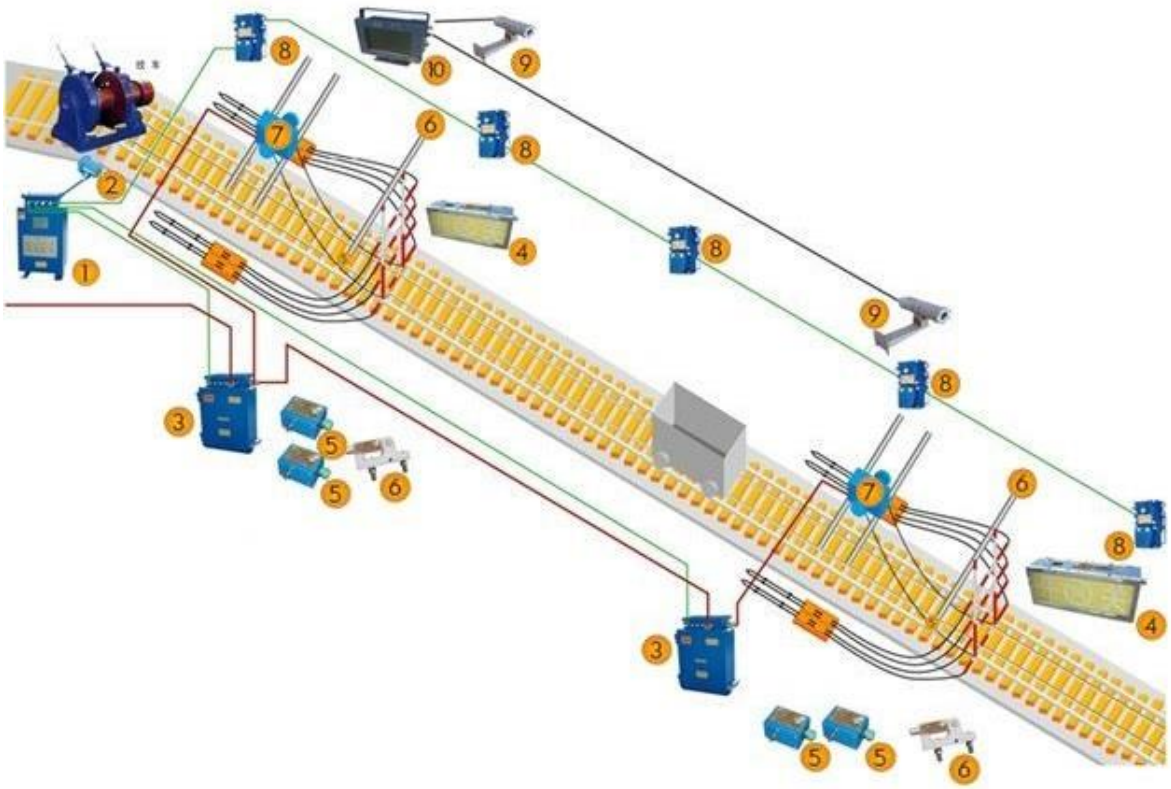


Рис. 1. Структура автоматизованого управління вузлами канатної дороги з електричною централізацією на мікропроцесорах ZDC30-2.0

1 – блок управління; 2 – поворотний кодер; 3 – розподільний щит; 4 – екран показу стану; 5 – датчик положення; 6 – комутатор; 7 – втягування лебідки; 8 – сигнальний блок контролю аварійної зупинки; 9 – вибухозахищений фото-прилад; 10 – вибухозахищений монітор.

Виклад основного матеріалу дослідження. Встановлені за результатами теоретичних та експериментальних досліджень функції інформаційної системи управління процесами транспортування шахтної породи надґрунтовими канатними дорогами були систематизовані за загальними ознаками. Структурна схема функцій інформаційної системи управління ДКН приведена на рис. 2.

Відмови лінійних вузлів і вимушені простої надґрунтових канатних доріг обумовлені тим, що методи діагностики, які застосовуються у ДКН, не дозволяють прогнозувати початкові стадії розвитку дефектів в їх вузлах та механізмах. Зазвичай оператор ДКН реєструє вже наслідки, тобто відмови і аварії технічного, технологічного та організаційного походження. Відсутність вихідної інформації про джерела походження відмов і характер їх розвитку не дозволяє оперативно керувати транспортно-вантажними процесами і технологічною системою в цілому.

У зв'язку з цим формування вимог до функцій і структури інформаційної системи набуває особливого значення не тільки з позиції безпеки підземних гірничих робіт, а й з позицій надійності вузлів та агрегатів ДКН.

Необхідно відзначити, що створення інформаційної системи управління транспортно-технологічними процесами в криволінійних підземних виробках з інтенсивним підійманням порід ґрунту дозволить оперативно встановлювати стан ДКН та її місцезнаходження в нештатних режимах роботи. Функціонал інформаційної системи дозволить також відображати інформацію таких блоків транспортно-технологічної системи як пункти навантаження і розвантаження вагонів, обміну навантажених составів на порожні, акумулювання гірничої маси, блок колійного розвитку та ін.

Сформовані за результатами теоретичних й експериментальних досліджень вимоги передбачають наявність в інформаційній системі модулів з функціями прогнозування, контролю та обліку дій випадкових чинників, тобто враховують вплив негативних факторів на параметри транспортування породи в умовах невизначеності. Для прогнозування можливих негативних подій був створений банк даних з характеристиками транспортних виробок, технологічного устаткування, вимог до колійного транспорту і засобів безпеки.

Функціональна структура управління надґрунтової канатної дороги, адаптована до тех-

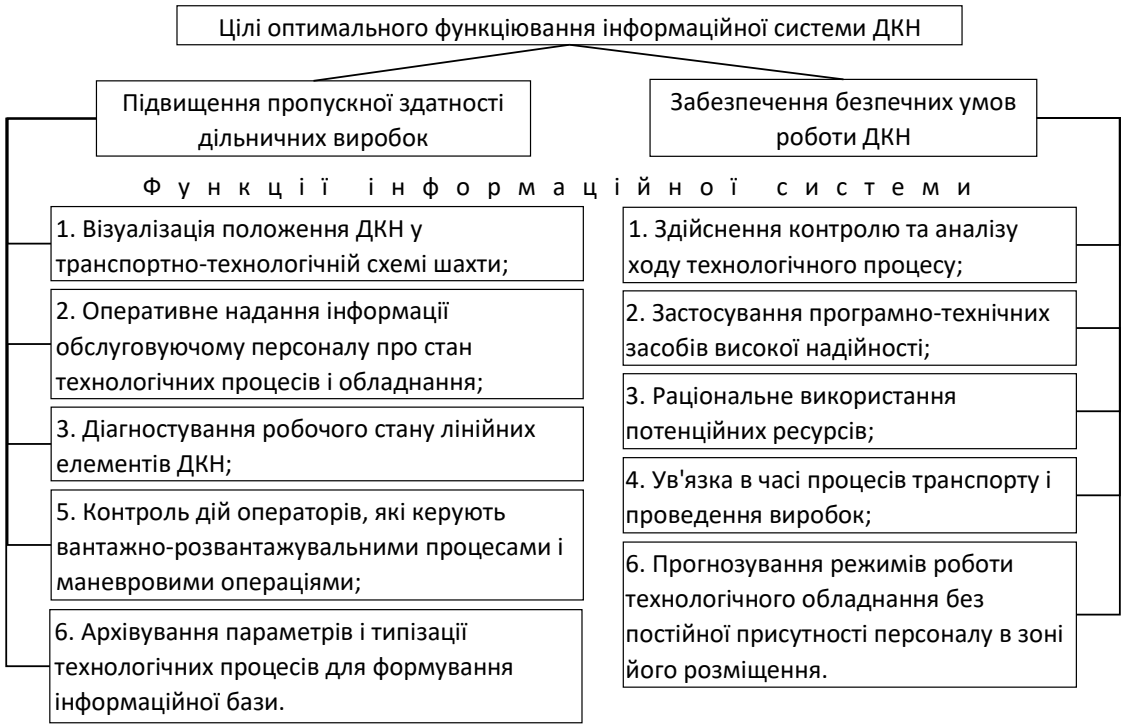


Рис. 2. Структурна схема функцій інформаційної системи ДКН

нологічних процесів транспортування породи в реальних умовах шахтного середовища представлена на рис. 3.

Експериментально доведено, що в реальних умовах шахтного середовища до вказаних функцій інформаційної системи ДКН пред'являється комплекс відповідних вимог. Встановлені за результатами виконаних досліджень вимоги до функцій і структури інформаційної системи управління транспортно-технологічними процесами наведені в табл. 1.

Централізований контроль за ходом технологічного процесу повинен забезпечувати:

– періодичне вимірювання та оперативне відображення значень технологічних параметрів;

– виявлення, оперативне відображення, реєстрація в архіві і сигналізація відхилень значень технологічних параметрів обладнання від встановлених меж.

– відображення результатів діагностики стану обладнання на екрані панелі оператора;

Діагностика стану транспортно-технологічного обладнання в типових, нетипових і екстремальних умовах експлуатації надґрунтових канатних доріг нового покоління повинна включати:

– контроль стану тягового органу, лінійних елементів ДКН й технологічного обладнання;

– самодіагностику мікропроцесорного контролера приводу ДКН;

– діагностику каналу зв'язку з контролером;

– діагностику вимірювальних каналів.

Для формування історії процесу функціональні модулі інформаційної системи управління процесами переміщення породи повинні забезпечувати: архівування миттєвих значень параметрів технологічного процесу; графічне і цифрове відображення історії усього процесу; зміни стану елементів ДКН (архів подій) і порушень технологічного процесу.

Обчислювальні та логічні функції інформаційного характеру полягають в машинному вирішенні задач, які повинні відображати: формування та перегляд (+опція друку) технологічного журналу за зміну; формування технологічного журналу за добу; формування та перегляд протоколу порушень границь технологічних параметрів.

За результатами виконаних досліджень встановлено, що в нетипових станах шахтного середовища інформаційна система ДКН повинна реєструвати та виводити на дисплей наступні параметри:

– швидкість рухомого складу в прямолінійних ділянках траси, при проходженні заокруглень та маневрових операціях;

– умови взаємодії тягового канату зі шківом й лінійними елементами ДКН;

– тягові зусилля приводного блоку;

– подачі вагонів під розвантаження;

– заповнення бункера породою;

– коефіцієнт використання об'єму шахтного вагона;

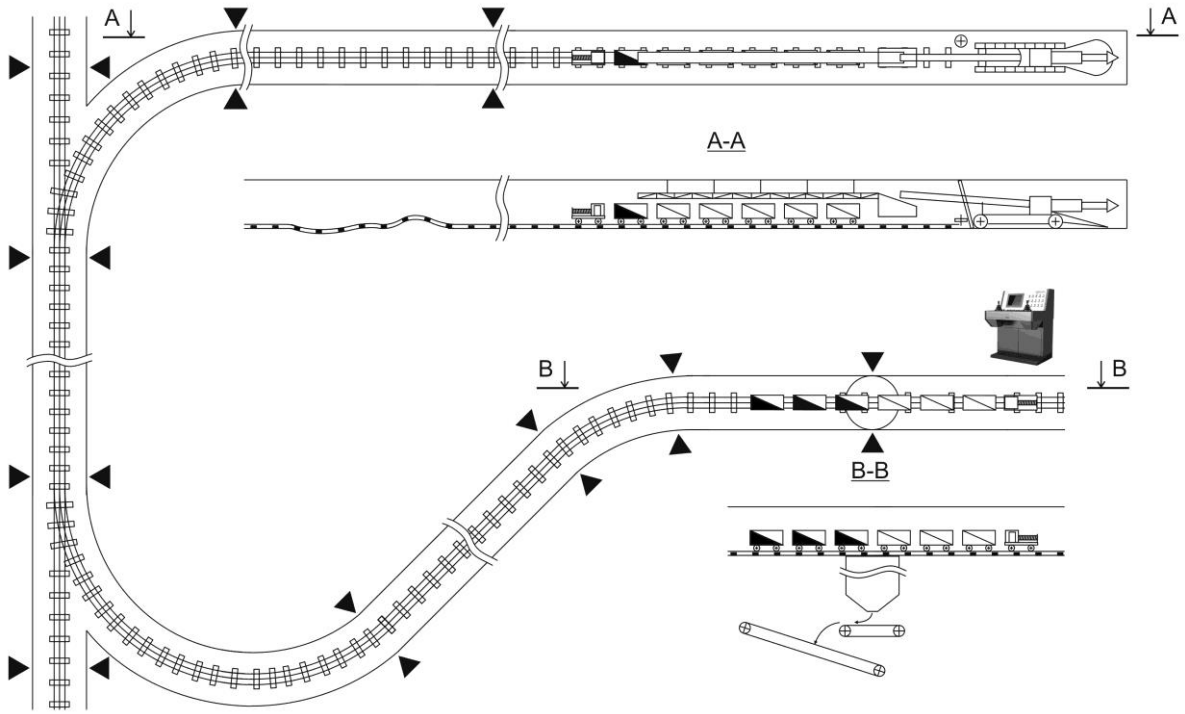
У процесі досліджень експлуатаційних параметрів експериментального зразка надґрунтової канатної дороги ДКНП-1,6 в протяжних криволінійних виробках шахти «Павлоградська» було встановлено, що в умовах негативного впливу шахтного середовища, функціональний блок контролю і захисту ДКН повинен забезпечувати:

– автоматичний облік і контроль зупинок і відмов;

– захист тягового органу і приводу ДКН від перевантажень;

– підтримання робочого стану ДКН в екстремальних ситуаціях.

У відповідність з програмою та методикою досліджень процеси переміщення породи надґрунтовими канатними дорогами в криволінійних виробках з інтенсивним підійманням порід ґрунту розглядаються як програмована транспортно-технологічна система, що працює в умовах невизначеності.



A - A – пункт навантаження породи у вагони;
B - B – пункт розвантаження вагонів;
► ◄ – зони діагностування вузлів ДКН

Рис. 3. Функціональна структура управління технологічними процесами транспортування породи ДКН

Таблиця 1

Вимоги до функцій і структури інформаційної системи ДКН

Вимоги до функцій	
Інформаційні	Захисні
– централізований контроль за ходом технологічного процесу; – діагностика стану транспортно-технологічного обладнання; – реєстрація історії розвитку процесу; – обчислювальні та логічні функції інформаційного характеру.	– контроль взаємодії тягового канату зі шківом й лінійними елементами ДКН; – облік і контроль зупинок і відмов; – захист тягового органу і приводу ДКН від перенавантажень; – підтримка робочого стану ДКН в екстремальних ситуаціях.
Вимоги до структури	
Система верхнього рівня	Система нижнього рівня
Автоматизоване робоче місце оператора на базі промислового комп'ютера із прикладним програмним забезпеченням.	Контролер керування технологічним процесом транспортування породи і обладнання для вантажно-розвантажувальних пунктів та протиаварійного захисту.

Дана система повинна виконувати усі функції збору, обробки та передачі інформації і включати блок оцінки стану ДКН і панель оператора з програмним забезпеченням та візуалізацією.

У відповідність до вищевикладених вимог була виконана формалізація діючої структури управління режимами роботи ДКН. Адаптована до технологічних процесів переміщення породи в реальних умовах шахтного середовища структурно-функціональна схема підключення приведена на рис. 4.

Для визначення місця знаходження рухомого складу канатної дороги на трасі в блок регуляторів включений регулятор завдання пройденого шляху, який визначається інтеграцією швидкості обертання барабана лебідки на всьому шляху. Блоку регулювання дозволяється вводити корекцію швидкості рухомого складу на заокругленнях і важких ділянках рейкової траси за допомогою програмованого коректора швидкості у функції значення поточної довжини траси. Оскільки довжина шляху з просуванням фронту робіт змінюється, то оператору ДКН буде представлятися можливість її ручного введення в систему управління і коригування місця знаходження ділянок з негативними виробничими подіями. Усе це мусить бути реалізовано за допомогою програмного забезпечення у вигляді розробки інтуїтивно-зрозумілого інтерфейсу користувача.

У той же час при формуванні принципів енергозбереження потрібно провести комплекс спеціальних досліджень по обґрунтуванню доцільності введення в блок розвантаження рухомих складів додаткових функцій контролю та управління процесами вивантаження породи з шахтних вагонів і завантаження її в бункер [9].

Висновки і перспективи подальших досліджень. В умовах інтенсифікації гірничих робіт транспортування допоміжних матеріалів, обладнання та людей в протяжних підземних виробках відноситься до особливо складних і небезпечних процесів гірничого виробництва. При розробці вугільних пластів з ґрунтами, схильними до здимання, перспективним засобом допоміжного транспорту для забезпечення безперебійної роботи очисних і підготовчих вибоїв є надґрунтові канатні дороги. У зв'язку з цим, створення інформаційної системи управління транспортно-технологічними процесами забезпечить оперативний моніторинг технічного стану ДКН, прогноз розвитку небезпечних ситуацій, а також підтримання оптимального режиму роботи контрольованих об'єктів і підвищення рівня безпеки гірничих робіт.

Отримані результати теоретичних і експериментальних досліджень складають банк вихідних даних для проектування надґрунтових канатних доріг високого технічного рівня, адаптованих до реальних умов шахтного середовища.

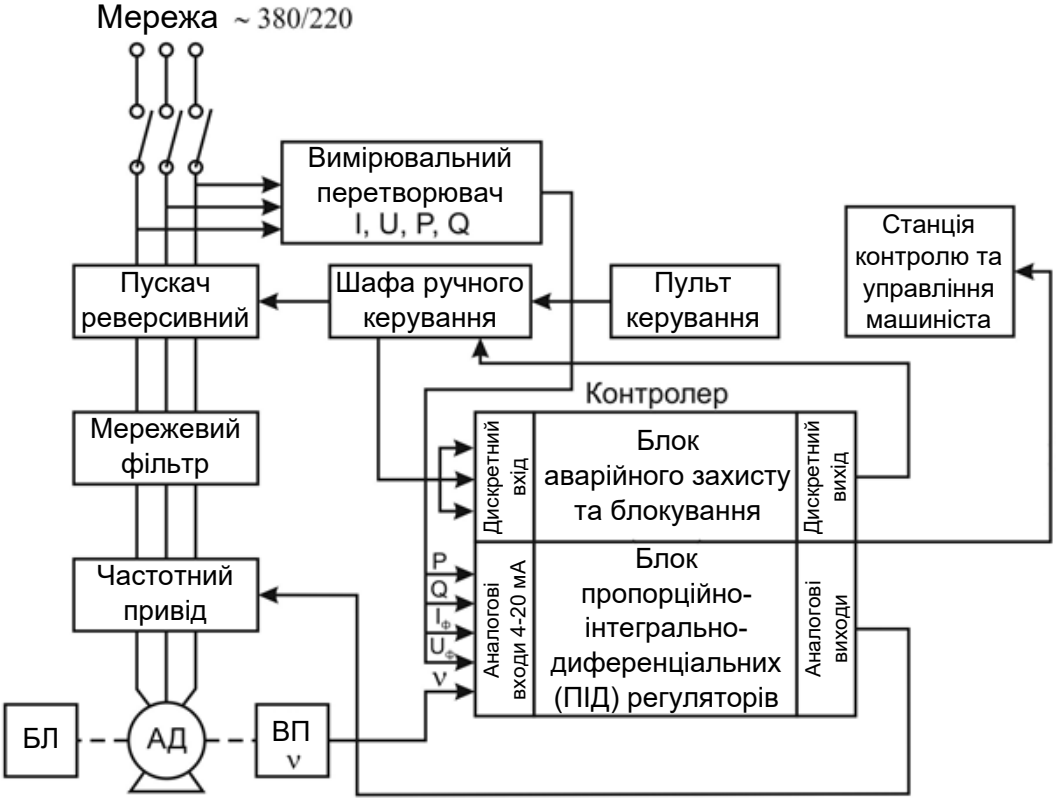


Рис. 4. Структурно-функціональна схема підключення системи

ЛІТЕРАТУРА:

1. Научные основы автоматизации в угольной промышленности: опыт и перспективы развития: монография / В. Г. Курносов, В. И. Силаев; Междунар. институт независимых педагогических исследований МИНПИ – ЮНЕСКО, ОАО «Автоматгормаш им. В.А. Антипова». Донецк : Изд-во «Вебер» (Донецкое отделение), 2009. 422 с.
2. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт. Підручник / А.В. Бубліков, М.В. Козарь, С.М. Проценко та ін., під заг. ред. В. В. Ткачова: Національний гірничий університет, 2012. 304 с.
3. Перспективы повышения уровня промышленной безопасности угольных шахт при использовании системы диспетчерского контроля (УТАС) / В.В. Радченко, Н.В. Малеев, А.А. Мартынов [и др.]. Горный информационно-аналитический бюллетень. МГГУ : 2005. Тематический выпуск «Безопасность». С. 31–43.
4. Wan L. R. et al. Application of the ZigBee wireless communication technology on the endless rope continuous tractor derailment monitoring system Proceedings of the 2012 International Conference on Communication, Electronics and Automation Engineering / Wan, L. R., Liu, Y., Wang, L., & Liu, Z. H. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. С. 1313–1318.
5. Shyrin A.L. Tasks of automation control system of cargo trasportation by ground cable ways of heavy type. L.I. Mescheryakov, A.L. Shyrin, T.I. Morozova. Materials of Underground Mining School, February 2013, Krakow: PATRIA. P. 102–106.
6. Нечаєв В.П. Теорія планування експерименту: навч. посібник для студ. вищих навч. закладів/ В.П. Нечаєв, Т.М. Берідзе, В.В. Кононенко та ін. Київ : Кондор, 2005. 232 с.
7. Про затвердження правил безпеки у вугільних шахтах / Наказ № 62 від 22.03.2010р. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду.
8. ГОСТ 34.602-89. Інформаційні технології. Технічне завдання на створення автоматизованої системи.
9. Shyrin, A., Rastsvetaev, V., & Morozova, T. (2012). Estimation of reliability and capacity of auxiliary vehicles while preparing coal reserves for stoping. *Geomechanical Processes During Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining,* 105-108. https://doi.org/10.1201/b13157-18.

REFERENCES:

1. Scientific bases of automation in the coal industry: experience and prospects of development: monograph / V.G. Kurnosov, V.I. Silaev; International Institute of Independent Pedagogical Research of the Ministry of Education and Science – UNESCO, JSC “Avtomatgormash V.A. Antipova”. Donetsk: Weber Publishing House (Donetsk branch), 2009. 422 p.
2. Automation of technological processes of underground mining: textbook / A. V. Bublikov, M. V. Kozar, S. M. Protsenko and others, under the general ed. V. V. Tkachov: National Mining University, 2012. 304 p.
3. Prospects for increasing the level of industrial safety of coal mines using the control system (UTAS) / V.V. Radchenko, N.V. Maleev, A.A. Martynov [et al.]. Mining information-analytical bulletin. Moscow State University: 2005. Thematic issue “Security”. P. 31–43.
4. Wan L. R. et al. Application of the ZigBee wireless communication technology on the endless rope continuous tractor derailment monitoring system // Proceedings of the 2012 International Conference on Communication, Electronics and Automation Engineering / Wan, LR, Liu, Y., Wang, L., & Liu, ZH – Springer, Berlin, Heidelberg, 2013. P. 1313–1318.
5. Shyrin A.L. Tasks of automation control system of cargo trasportation by ground cable ways of heavy type / L.I. Mescheryakov, A.L. Shyrin, T.I. Morozova. Materials of Underground Mining School, February 2013, Krakow: PATRIA. P. 102–106.
6. Nechaev V.P. Theory of experiment planning: textbook. manual for students. higher education institutions / V.P. Nechaev, T.M. Beridze, V.V. Kononenko and others. Kyiv: Kondor, 2005. 232 c.
7. On approval of safety rules in coal mines / Order № 62 of 22.03.2010. // State Committee of Ukraine for Industrial Safety, Labor Protection and Mining Supervision.
8. GOST 34.602-89. Information Technology. Terms of reference for the creation of an automated system.
9. Shyrin, A., Rastsvetaev, V., & Morozova, T. (2012). Estimation of reliability and capacity of auxiliary vehicles while preparing coal reserves for stoping. Geomechanical Processes During Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining, 105-108. https://doi.org/10.1201/b13157-18.

ЗМІСТ

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGY: COMPUTER SCIENCE, SOFTWARE ENGINEERING AND CYBER SECURITY

Випуск 2

Коректура • Ірина Миколаївна Чудеснова

Комп'ютерна верстка • Наталія Сергіївна Кузнєцова

Формат 60x84/8. Гарнітура Arial.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 6,05. Замов. № 0821/292. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1
Телефон +38 (048) 709 38 69,
+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 6424 від 04.10.2018 р.