

БІОЛОГІЧНІ ТА МЕДИЧНІ ПРИЛАДИ І СИСТЕМИ

УДК 613.1:572.02:616.1

A. Y. Kulyk, V. I. Revenok, A. I. Nikolsky, K. V. Dobrovolska

IMPACT OF GEOMAGNETIC STORMS, LUNAR CYCLES AND DAYS OF THE WEEK ON CAR ACCIDENTS INJURING PEOPLE IN TERMS OF THEIR POTENTIAL IMPACT ON ROAD USERS IN VINNYTSIA AND THE REGION, UKRAINE

National Pirogov Memorial Medical University, Vinnytsia

Анотація. У дослідженні аналізується вплив геомагнітних бур, місячних циклів і днів тижня на автомобільні аварії з травмами людей з точки зору їх потенційного впливу на учасників дорожнього руху. Дослідження проводилося на основі даних з 2015 по 2020 рік у м. Вінниця та області, Україна. Вплив геомагнітних бур оцінювався за значеннями індексу K_r і був слабким на рівні менше 0,05. Аналіз за місячними циклами відбувався за чотирма місячними фазами. Збільшення кількості аварій спостерігалось лише в період молодика – першу чверть циклу. У четвер та п'ятницю кількість аварій зросла по відношенню до днів тижня, а з понеділка по вівторок за останні два роки спостереження – зменшилась.

Ключові слова: автомобільні аварії, геомагнітні бурі, місячні цикли, дні тижня.

Abstract. The study analyzes the impact of geomagnetic storms, lunar cycles and days of the week on car accidents with injuries to people in terms of their potential impact on road users. The study was conducted on the basis of data from 2015 to 2020 in the city of Vinnytsia and region, Ukraine. The effect of geomagnetic storms was estimated according to the values of the K_r index and was weak at a level less than 0.05. The analysis by lunar cycles took place in four lunar phases. An increase in the number of accidents was observed only in the period of the new moon - the first quarter of the cycle. The number of accidents increased on Thursday and Friday relative to the days of the week, and the number of accidents decreased from Monday to Tuesday during the last two years of observation.

Key words: car accidents, geomagnetic storms, lunar cycles, days of the week.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-5-11>.

Introduction

Man is an important component of the road transport system. Along with transport factors, traffic factors, the external environment, the human factor is a priority. It was found that human error was a definite or probable cause in more than 90% of the accidents studied [1, 2]. Thus, most accidents and related injuries and deaths are the result of dangerous driving due to human factors [2, 3].

On the other hand, man, as a biological system, is under the influence of various rhythms of the external, in particular, the natural environment, which affects its physiological parameters [4, 5, 6]. An increase in blood pressure with an increase in the level of geomagnetic activity was estimated, and systolic and diastolic bp increased significantly on the first day of the geomagnetic storm [4, 6]. These effects were present regardless of gender and medication [4, 6, 7]. The average increase in systolic and diastolic blood pressure in the study group reached 9% [7, 11]. The percentage of people who reported subjective psychophysiological complaints was also significantly increased with increasing geomagnetic activity and the highest sensitivity was found in women with hypertension [7, 11]. Sensitivity to magnetic storms increases in patients with hypertension and increases significantly from moderate to severe hypertension [7, 8, 11]. The state of human habitat is dependent on solar activity due to variations in the parameters of the lower ionosphere, changing its resonant frequencies that correlate with brain rhythms: alpha, beta, gamma, delta and theta [8, 9]. The electrical conductivity of the human body reflects the biophysical state of man, and this can be used as an indicator of human response to perturbations of various origins. A strong relationship between conductivity, geomagnetic perturbations and atmospheric characteristics was found [9, 10]. Biochemical studies reveal inhibition of melatonin secreted by the pineal gland, possibly due to desynchronized biological rhythms, which links geomagnetic activity and human health [10, 11]. There are indications that calcium ions in cells may play a role in one or more mechanisms [10, 11].

Lunar rhythms have become one of the most studied issues in modern chronobiology. A number of obvious lunar influences on the animal world have been proven, but there is no solid evidence that human biology is regulated in any way by the moon [12, 13]. The belief that stars and planets can affect human health and behavior is not only seen in ordinary people [18], but a high proportion of health professionals continue to hold this belief: a survey of 325 people in New Orleans found that 140 individuals (43%) believe that the lunar phases affect the behavior of the individual [14]. In a study [15], the number of patients with injuries did not increase during the full month compared to other days of the menstrual cycle. Also, the relationship between the attack and the suicide attempt was not observed on the days of the full moon [15]. The full menstrual cycle phase did not cause a higher number of patients in a psychiatric hospital and was only 0.007% of the deviation [20], but there was a significant grouping of seizures during the full moon [21]. Another analysis showed that in non-epileptic seizures there was an increase in their number in the full moon, and in epileptic seizures – an increase

in the last quarter [16]. There was an increase in the number of patients during the full month of hospitalization for gastrointestinal bleeding, although the authors express the feasibility of further research [17]. The dependence of the state of the cardiovascular system on the four phases of the moon in men has been noted [19].

The influence of weekly rhythms is reflected in the change in human mood, which amounted to 40% of the variance in the sample of 74 students [22]. One subject rated his mood daily for 1,500 consecutive days. A series of mood swings demonstrated a clear and dominant 7-day period [23].

The aim of this study was to assess the human impact of geomagnetic storms, phases of the moon and days of the week on car accidents with injuries in Vinnytsia and the region, Ukraine.

Methods

Study design and setting

The study was conducted in the city of Vinnitsia and Vinnitsia region, Ukraine for the period 2015-2020. The data were obtained from the municipal administration "TMO Vinnytsia Regional Center for Emergency Medical Aid and Disaster Medicine". The original data structure, reflecting the date of the emergency call, diagnosis, situation, hospitalization, was transformed into a table with two columns: date and number of accidents. For the study, all days of the period February 2015 - December 2020 were taken into account.

Study population

Accidents involving drivers and passengers of cars, cyclists and pedestrians were selected for the study. Given that an ambulance was called before each accident, there were injuries ranging from mild to severe, as well as fatalities.

Ethical considerations

The study did not use data concerning personal information about the victims of the accident: name, surname, date of birth, place of residence and more.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed separately for the effects of days of the week, solar storms and phases of the moon. STATISTICA (Dell, USA) and MS Excel were used to automate the processing. The normality of the distribution of the original data was checked and not confirmed [24].

For the days of the week for each of the studied years, the number of accidents was determined separately for each of the days of the week. Given that the number of Mondays, Tuesdays, etc. in a year can be various, calculated average value of road accident on days of week. Next, we calculated the differences between the average values of accidents for each day of the week and determined the dynamics accordingly.

Regarding magnetic storms for each day of the studied years from open sources, the value of the Kp index was obtained [25, 26]. Scattering diagrams are constructed in order to visually determine the data distribution. Given the non-normal distribution of the input data, the Spearman correlation coefficient is calculated to determine the correlation.

From the full lunar cycle, 4 of its phases were chosen for consideration - observation points: new moon, first quarter, full moon and third quarter. Similarly to the research on the days of the week, the number of accidents for each phase of the lunar cycle was determined and averaged over the years. The duration of menstrual cycles, and, accordingly, its quarters vary within +1 day, so they were also averaged. The final result of the dependence of the number of accidents on the phases of the moon was obtained by averaging data for 6 years from 2015 to 2020.

Results

Influence of days of the week on the number of accidents

Table 1 presents the average number of accidents in the city of Vinnytsia and Vinnytsia region, Ukraine for 6 years of observation (2015-2020). The need for averaging, as mentioned above, is due to the different number of days of the week, such as Mondays, within a year. The average number of accidents in 2015 is lower than in other years, due to the availability of data obtained not from the beginning of the year, but from February. Graphs Figure 1 for better analysis are spaced by years, and for the latter, they are averaged. As you can see, the data does not have anomalous values, which allows us to speak about their adequacy.

Influence of magnetic storms on the number of accidents

The values of the studied parameters (the number of accidents and Kp) are quantitative values, so we can calculate the correlation coefficient. But first you need to do a visual analysis of the data, building scatter charts over the years. As can be seen from Fig. 2 points on the graphs are evenly distributed without separate accumulations or emissions.

Table 1 – The average number of accidents

Years	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Saturday	Sunday
2015	2.3	2.7	2.0	2.3	2.7	2.6	2.9
2016	2.8	3.0	3.1	3.1	3.6	3.2	2.9
2017	3.3	2.9	3.4	3.5	4.0	3.0	3.9
2018	3.1	3.1	2.8	3.3	3.7	3.2	2.9
2019	3.9	2.7	3.1	3.7	3.8	4.3	4.0
2020	3.1	2.9	3.2	3.4	3.9	38	3.0

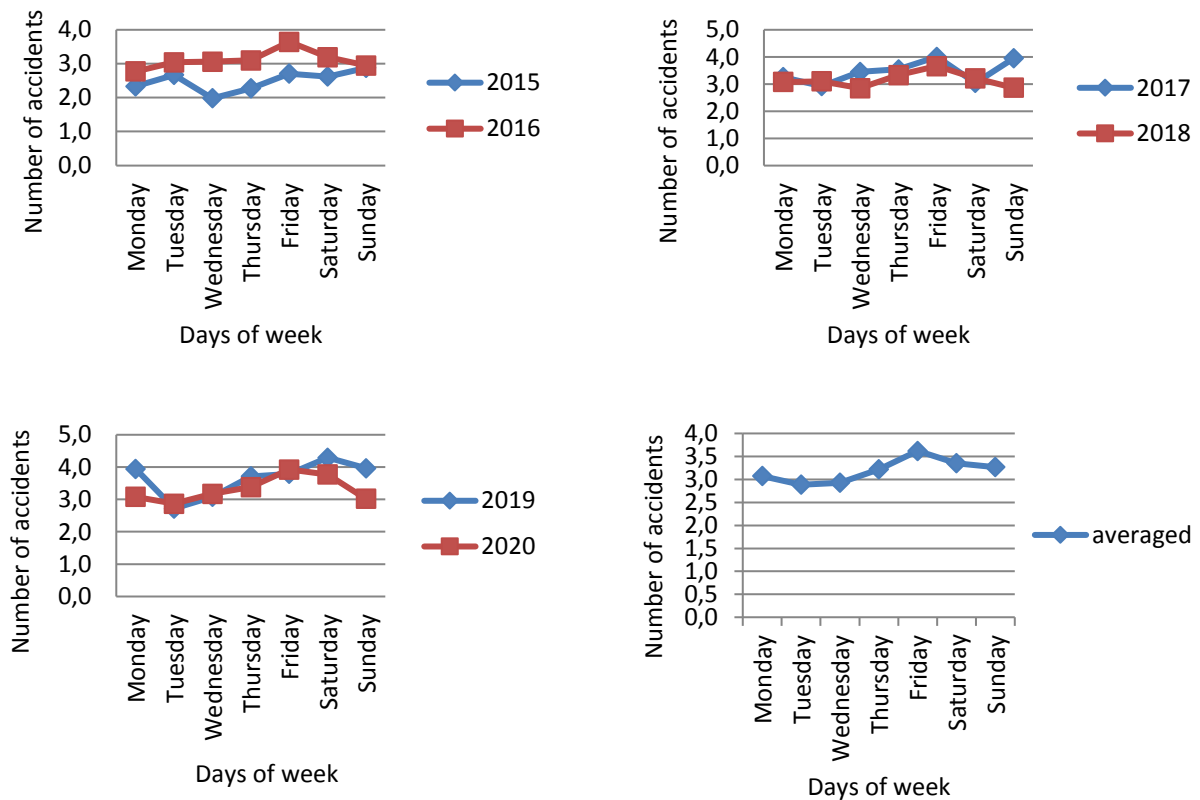


Figure 1 – Dependence of the average number of accidents on the days of the week in the context of 2015 – 2020

Table 2 – The value of the Spearman correlation coefficient

Years	r	p	Communication type
2015	0.031	<0.05	direct
2016	0.025	<0.05	direct
2017	0.076	<0.05	direct
2018	0.014	<0.05	direct
2019	-0.042	<0.05	inverse
2020	-0.086	<0.05	inverse

To calculate the correlation coefficient, it was taken into account that the data distribution is not normal. Spearman's correlation coefficient (Table 2) at a level statistical significance less than 0.05 showed that the relationship is, but weak. In addition, its type in the last two years (2019, 2020) becomes inverse.

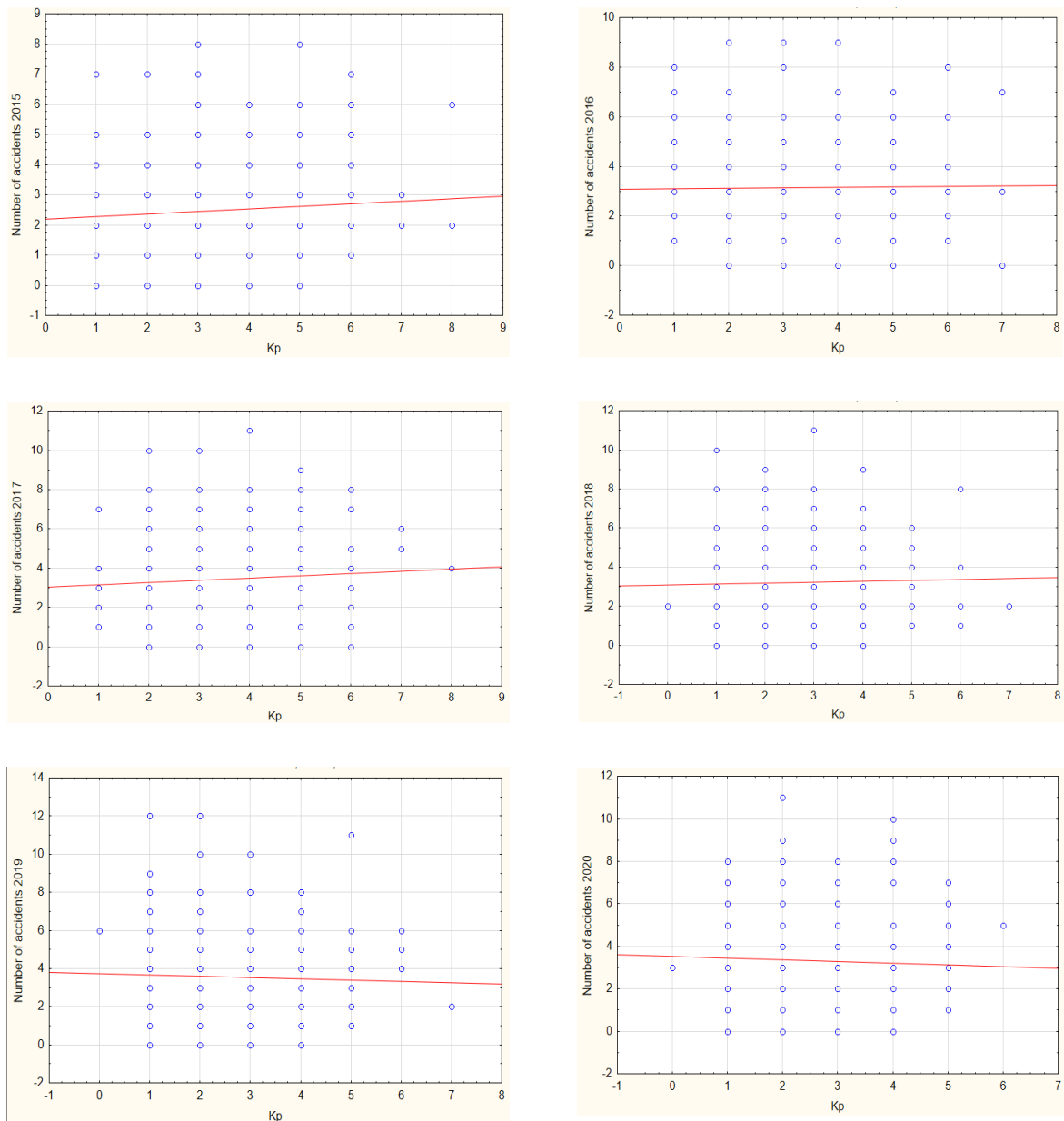
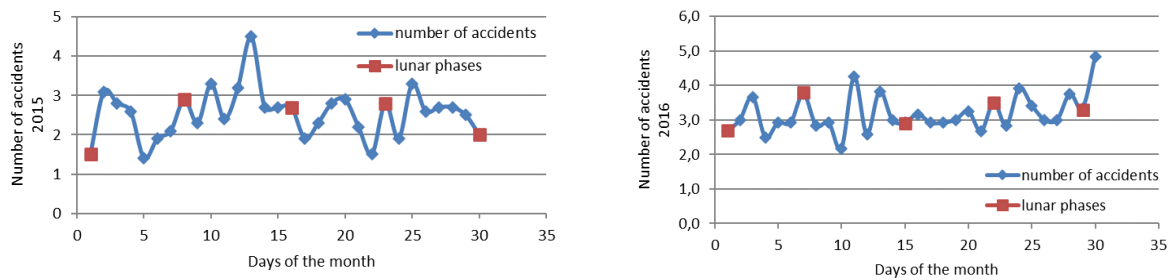


Figure 2 – Scattering diagrams of the average number of accidents from the Kp index of magnetic storms in the context of 2015 – 2020

Influence of lunar phases on the number of accidents

On the graphs of the number of accidents from the days of the month Figure 3 also shows the days of the lunar phases from left to right: new moon, first quarter, full moon and third quarter.



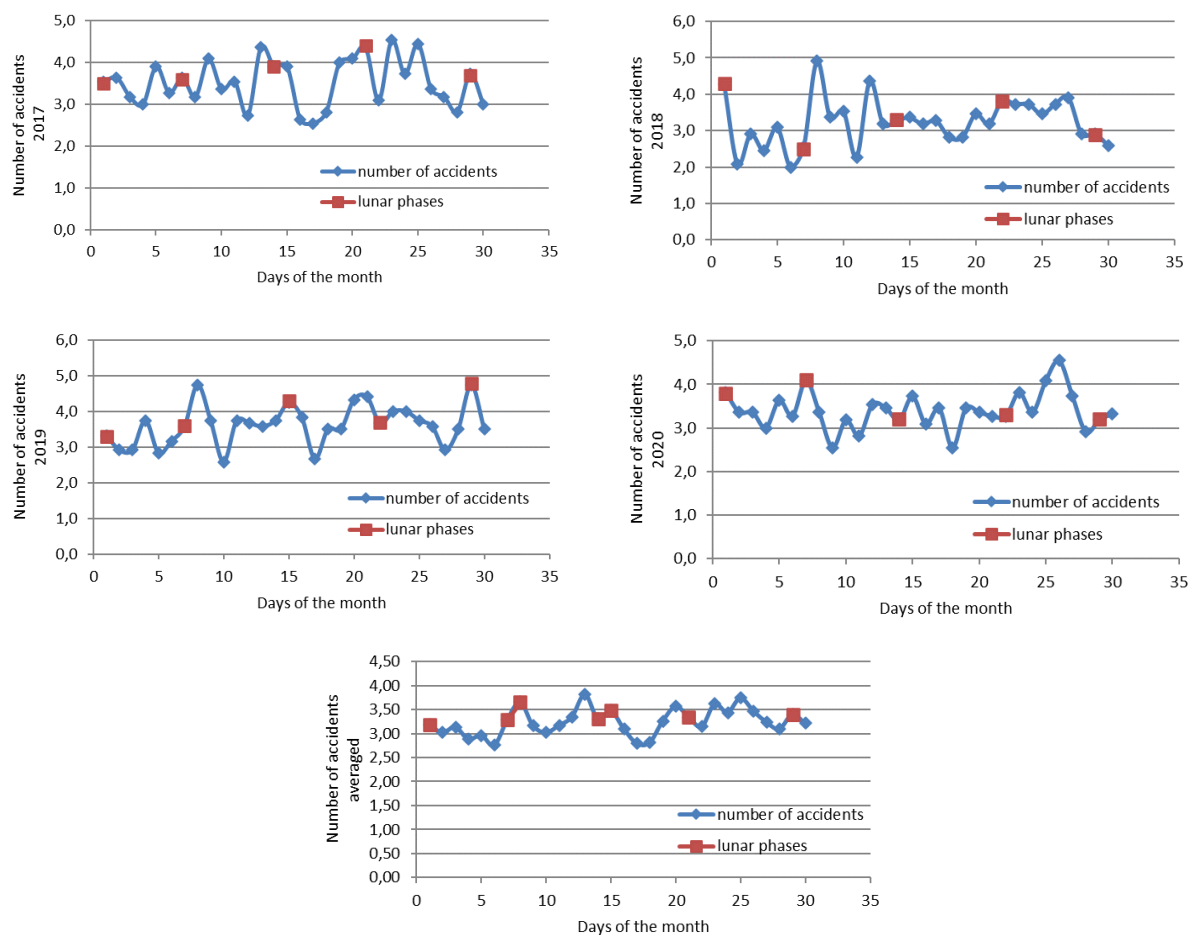


Figure 3 – Dependence of the average number of accidents on the lunar phases in the context of 2015 – 2020

The curves are quite variable, so the averaging of data over the years (the last graph in Figure 3) allowed to smooth out fluctuations and determine changes in the number of accidents relative to the lunar phases.

Discussion

The paper examines the impact of geomagnetic storms, phases of the moon and days of the week on car accidents with injuries in Vinnytsia and the region, Ukraine due to the human factor. The choice of these impacts is due to the lack of their direct effect on the technical condition of vehicles and road infrastructure.

As for the effect of days of the week on the number of accidents, the average graph (Figure 1) illustrates the increase in the number of accidents on Thursday and Friday. This nature of the curves can be explained by the desire to complete the work by the weekend, which leads to an increase in traffic. Moreover, this trend is observed in almost all years of observation. Over the last two years of observation, there has been a slight decrease in the number of accidents from Monday to Tuesday. This can be explained by the increase in traffic on Monday due to the rest of the weekend. The nature of the dependence of the number of accidents on the days of the week, of course, can not be explained by purely weekly mood swings [22,23]. There are also weekly rhythms associated with work and rest, which in turn affect mood.

Geomagnetic storms affect human physiological parameters, for example, by increasing blood pressure [4-8], especially in women with hypertension [5, 7]. Such parameters as brain rhythms [8, 9], electrical conductivity of the human body [9, 10], desynchronization of biological rhythms [10, 11] also undergo changes due to geomagnetic activity. It was logical to expect the impact of magnetic storms on the number of accidents. As a result of research, the depth of connection was weak (Table 2). This nature of the connection can be explained by the fact that drivers, as road users, are mostly middle-aged people who are weakly affected by magnetic storms. The change in the type of communication in the last two years (2019, 2020) requires additional research.

The question of the influence of lunar rhythms on human biology is quite controversial and is studied both at the level of faith of ordinary people and health professionals, and in applied research. There are studies that confirm the influence of the lunar phases on certain, including mental, diseases and cause their exacerbation. In our observation there is an increase in the number of accidents from the new moon to the first quarter of the lunar phase (the last graph in Figure 3). Although this dependence could have been more pronounced without

2018, in which the curve in this interval is inverse. Further from the first quarter to the third quarter inclusive, the dependence is not observed.

Conclusion

In this study, based on data from 2015 to 2020, the role of geomagnetic storms, lunar cycles and days of the week in car accidents with injuries to people in terms of their potential impact on road users was studied. The influence of these factors was proved. The impact of geomagnetic storms has been weak and even inverse in the last two years of the study. The lunar cycle was influential only in the period from the new moon to the first quarter of its phase. The days of the week had a negative effect on car accidents with injuries on Thursday and Friday, and the number of accidents decreased from Monday to Tuesday during the last two years of observation. The results of research can be used when planning road and walking trips to reduce the risk of injury as a result of an accident. Although the research was conducted on the basis of 6-year data, the reasons for the inversion of the effects of geomagnetic storms, as well as the reduction in the number of accidents from Monday to Tuesday in the last two years, should be further studied. Given that the analysis of impact factors was conducted within the city of Vinnytsia and Vinnytsia region, additional research is needed in other regions of Ukraine to determine the validity of the above results throughout the country.

Acknowledgements

The authors wish to thank municipal administration "TMO Vinnytsia Regional Center for Emergency Care and Medical Disasters" for their efforts in data collection.

References

- [1] J. R. Treat et al. "Tri-level study of the causes of traffic accidents" *at final report*, vol. 1, Bloomington, Ind, USA, 1979.
- [2] D. L. Hendricks, J. C. Fell, M. Freedman, "The relative frequency of unsafe driving acts in serious traffic crashes," *at final report*, Washington, DC, USA, 1999.
- [3] E. K. Adanu, S. Jones, "Effects of Human-Centered Factors on Crash Injury Severities" *Journal of advanced transportation*, vol. 1528, pp. 1-11, 2017. doi: 10.1155/2017/1208170.
- [4] S. Dimitrova, I. Stoilova, I. Cholakov, "Influence of local geomagnetic storms on arterial blood pressure," *Bioelectromagnetics*, vol. 25, no. 6, pp. 408–414, 2004.
- [5] A. A. Delyukov, I. G. Zakharov, V. V. Nikonov, O. F. Tyrnov, "Patterns and mechanisms of influence of magnetic storms on human well-being," *Kosm. nauka tehnol.*, no. 8, pp. 412-419, 2002. doi:10.15407/knit2002.02s.412.
- [6] J. N. Joselyn, "The Human Impact of Solar Flares and Magnetic Storms," *From the Sun: Auroras, Magnetic Storms, Solar Flares, Cosmic Rays*, vol. 50, pp. 67-72, 1998. doi:10.1029/SP050.
- [7] T. K. Breus, V. N. Binh, A. A. Petrukovich "Magnetic factor in solar-terrestrial relations and its impact on the human body: physical problems and prospects for research", *Physics-Uspekhi*, vol. 59, no. 5, pp. 502-511, 2016.
- [8] G. A. Mikhailova, Y. M. Mikhailov, "Possible biophysical mechanism of the effect of the solar activity on the human central nervous system," in *35th COSPAR Scientific Assembly*, Paris, France, 2004, p. 943.
- [9] E. Gavryuseva, N. Kroussanova, R. Simoniello, "Human state in connection with helio and geospheric perturbations," in *Proceedings of the Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference*, Vico Equense, Italy, 2002, pp. 543 – 546.
- [10] S. J. Palmer, M. J. Rycroft, M. Cermack, "Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface," *Surveys in Geophysics*, vol. 27, pp. 557–595, 2006.
- [11] S. Dimitrova, "Relationship between human physiological parameters and geomagnetic variations of solar origin," *Advances in space research*, vol. 37, no. 6, pp. 1251-1257, 2006. doi:10.1016/j.asr.2005.03.153.
- [12] R. G. Foster, T. Roenneberg, "Human responses to the geophysical daily, annual and lunar cycles," *Current Biology*, vol. 18, no. 9, pp. R784-R794, 2008. doi: 10.1016/j.cub.2008.07.003.
- [13] J. Muñoz-Delgado, A. M. Santillán-Doherty, R. Mondragón-Ceballos, H. G. Erkert, "Moon cycle effects on humans: myth or reality?," *Salud Mental*, vol. 23, no. 6, pp. 33-39, 2000.
- [14] G. Zanchin, "Macro and Microcosmos: Moon Influence on the Human Body," in *Proceedings of the Conference Earth-Moon Relationships*, Padova, Italy, 2001, pp. 453-461.
- [15] M. Zargar, A. Khaji, A. Kaviani, M. Karbakhsh, M. Yunesian, M. Abdollahi, "The full moon and admission to emergency rooms," *Indian journal of medical sciences*, vol. 58, no. 5, pp. 191-195, 2004.
- [16] S. R. Benbadis, J. Chang Hunter, W. Wang, "The influence of the full moon on seizure frequency: myth or reality?," *Epilepsy & Behavior*, vol. 5, no. 4, pp. 596-597, 2004.

- [17] E. M. Román, G. Soriano, M. Fuentes, M. L. Gálvez, C. Fernández, "The influence of the full moon on the number of admissions related to gastrointestinal bleeding," *International journal of nursing practice*, vol. 10, no. 6, pp. 292-296, 2004.
- [18] A. Iosif, B. Ballon, "Bad Moon Rising: the persistent belief in lunar connections to madness," *CMAJ*, vol. 173, no. 12, pp. 1498-1500, 2005.
- [19] U. Chakraborty, "A Study on some physiological parameters during different phases of synodic period of moon in male human subjects," in *PhD Thesis*, Midnapore, West Bengal, India, 2013. [Online]. Available: <http://inet.vidyasagar.ac.in:8080/jspui/handle/123456789/1099>. Accessed on: December 07, 2021.
- [20] J. J. Gorvin, M. S. Roberts, "Lunar Phases and Psychiatric Hospital Admissions," *Psychological Reports*, vol. 75, no. 3, pp. 1435-1440, 1994.
- [21] R. G. Foster, T. Roenneberg, "Human Responses to the Geophysical Daily, Annual and Lunar Cycles," *Current Biology*, vol. 18, no. 17, pp. R784-R794, 2008.
- [22] P. Polychronopoulos et al. "Lunar phases and seizure occurrence: Just an ancient legend?," *Neurology*, vol. 66, no. 9, pp. 1442-1443, 2006.
- [23] R. J. Larsen, M. Kasimatis, "Individual differences in entrainment of mood to the weekly calendar," *Journal of Personality and Social Psychology*, vol. 58, no. 1, pp. 164-171, 1990.
- [24] J. Dorland, N. Brinker, "Fluctuations in human mood (a preliminary study)," *Biological Rhythm Research*, no. 4, pp. 25-29, 1973.
- [25] E. Hermans, T. Brijs, T. Stiers, C. Offermans, "The impact of weather conditions on road safety investigated on an hourly basis," *TRB 85th Annual Meeting Compendium of Papers*, pp. 1-16, 2006, *Transportation Research Board*. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/1942/1365>. Accessed on: December 08, 2021.
- [26] Laboratory of x-ray astronomy of the sun. [Online]. Available: <https://tesis.lebedev.ru/en/>. Accessed on: May 10, 2021.
- [27] SpaceWeatherLive. [Online]. Available: <https://www.spaceweatherlive.com/en.html>. Accessed on: May 10, 2021.
- [28] I. Makarova, G. Yakupova, P. Buyvol, K. Shubenkova, K. Abesev, M. Drakaki "Improving road safety by affecting negative factors," in *VEHITS 2019 – Proceedings of the 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport System*, Creta, Greece, 2019, pp. 629-637.

Стаття надійшла: 28.01.2022

Відомості про авторів

Кулик Анатолій Ярославович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики.

Ревенок Віктор Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики.

Нікольський Олександр Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики.

Добровольська Катерина В'ячеславівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри біологічної фізики, медичної апаратури та інформатики.

А. Я. Кулик, В. І. Ревенок, О. І. Нікольський, К. В. Добровольська

ВПЛИВ ГЕОМАГНІТНИХ БУР, МІСЯЧНИХ ЦИКЛІВ ТА ДНІВ ТИЖНЯ НА АВТОМОБІЛЬНІ АВАРІЇ З ТРАВМУВАННЯМ ЛЮДЕЙ ЩОДО ЇХ ПОТЕНЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА УЧАСНИКІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ У МІСТІ ВІННИЦІ ТА ОБЛАСТІ, УКРАЇНА

Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова, Вінниця

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕОРІЯ КОДУВАННЯ

УДК 004.4'277.2.056.55

А. О. Азарова, І. О. Дьогтева, А. А. Шиян

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. У статті запропоновано систему підтримки прийняття рішень (СППР) щодо підвищення рівня інформаційної безпеки вітчизняних підприємств, яка уможливує індивідуальний підбір методів та засобів такої політики на основі експертних даних, а також з урахуванням побажань суб'єкта господарювання. Було визначено та обгрунтовано її структуру; здійснено програмну реалізацію такої СППР для адаптивного підбору методів та засобів політики інформаційної безпеки. Основними функціями СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки підприємства є: автентифікація користувачів, оцінювання незалежним експертом з інформаційної безпеки пріоритетності захисту від можливих або потенційних загроз; можливість користувачу самостійно обирати найбільш поширені для підприємства загрози щодо яких необхідно вжити специфічний захист; пропозиція користувачеві найбільш відповідних методів політики інформаційної безпеки з урахуванням усіх його побажань; динамічне оновлення даних із метою забезпечення спостереження за новітніми методами захисту. Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше розроблено систему підтримки прийняття рішень, що дозволяє засобами системного підходу та ER-моделювання суттєво підвищити рівень інформаційної безпеки підприємства, здійснюючи індивідуальний підбір методів та засобів політики інформаційної безпеки на підприємстві на основі побажань підприємця та експертних оцінок.

Ключові слова: інформаційна безпека підприємств, загрози інформаційній безпеці, політика інформаційної безпеки, система підтримки прийняття рішень, ER-моделювання.

Abstract. The article proposes a decision support system (DSS) to increase the level of information security of domestic enterprises, which allows individual selection of methods and tools of such a policy based on expert data, as well as taking into account the wishes of the business entity. Its structure was determined and substantiated; program implementation of such DSS for adaptive selection of methods and means of information security policy was carried out. The main functions of such DSS to increase the level of information security of the enterprise are: user authentication; assessment by an independent information security expert of the priority of protection against possible or potential threats; the ability of the user to choose the most common threats to the company for which it is necessary to take specific protection; offer the user the most appropriate methods of information security policy, taking into account all his wishes; dynamic data update to monitor the latest security methods. The scientific novelty of the obtained results is that it was developed for the first the DSS which allows to increase the level of information security of the enterprise by means of system technique and ER-modelling and to select individual methods and tools of information security policy of enterprise based on the wishes of the entrepreneur and expert assessments text.

Key words: information security of enterprises, threats to information security, information security policy, decision support system, ER-modelling.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-12-18>.

Вступ

Процеси глобалізації інформаційної сфери та цифрової трансформації, розвиток інформаційного суспільства, впровадження передових інформаційно-комунікаційних технологій, нових видів продукції та послуг формують новітні суспільні відносини у різних сферах життєдіяльності людини в межах суспільства, держави та світу. Вони породжують нові виклики і загрози у сфері інформаційної та кібернетичної безпеки на національному та міжнародному рівнях. Наразі, з розвитком інформаційного суспільства на порядку денному розвиток цифрової економіки [1], що передбачає наявність ринкових стимулів, мотивацій, попиту та необхідності використання цифрових технологій, продуктів і послуг секторами промисловості, бізнесу та суспільства для забезпечення, насамперед, їх конкурентоздатності та ефективності, реалізації зростання обсягів виробництва з метою збільшення прибутковості [2].

Нарощування масштабу і темпу цифрових трансформацій відбувається паралельно зі зростанням кількості та номенклатури кібератак. Особливо порушення інформаційної безпеки спостерігається на мікрорівні, а саме на рівні підприємств. Основні інтереси організацій на сьогодні значною мірою визначаються саме станом навколишнього інформаційного середовища. Цілеспрямовані або ненавмисні впливи на інформаційну сферу з боку зовнішніх або внутрішніх джерел можуть завдавати серйозної шкоди цим інтересам і становлять загрози та ризики для безпеки загалом. Саме тому інформаційна безпека є необхідною та невід'ємною умовою для правильного і безперервного функціонування підприємства.

Актуальність

Загалом проблематикою захисту інформації займаються провідні закордонні та вітчизняні науковці, серед яких слід відзначити Дж. Уілсона, Додонова О. Г., Карпінця В. В., Ланде Д. В., Лужецького В. А., Новікова О. М., Торокіна О. О., Хорєва О. О., Хорошка В. О., Шелеста М. Є., Яремчука Ю. Є. та ін.

Проблеми формування політики інформаційної безпеки (ПІБ) на підприємствах висвітлюються у роботах багатьох зарубіжних та українських вчених, таких як В. М. Богуш, О. К. Юдін, О. Л. Голубенко, Ленков С. В., Перегудов Д. А., Петров А. А., Соколов А. В. та ін [3-6]. У них обгрунтовано критерії оці-

нювання ризиків інформаційної безпеці підприємств залежно від категорій інформації, яка циркулює в них, пропонуються структури та ієрархії ПІБ, розглядаються внутрішні та зовнішні загрози, описуються випадки зловмисних дій і пропонуються можливі варіанти запобігання та санкцій проти них.

Не зважаючи на значний науковий доробок у цій царині знань, досить мало уваги приділяється саме індивідуальному підбору засобів та методів ПІБ суб'єктів господарювання різних галузей, форм власності та величини.

Необхідність адаптувати ПІБ під конкретне підприємство зумовлюється низкою чинників, серед яких потреба у доволі високій оплаті послуг безпеки, які надаються сторонніми виконавцями або внутрішніми спеціалістами; низький рівень компетентності пересічних працівників у сфері безпеки загалом та розумінні існуючих методів і підходів до формування ПІБ, зокрема; вразливості відомих методів, які лише в загальному відповідають задачам інформаційного захисту конкретних підприємств.

Застосування систем підтримки прийняття рішень уможливило ґрунтовний та об'єктивний аналіз сфери інформаційної безпеки для формування оптимальної політики захисту інформації на підприємстві. Таким чином, актуальним є розроблення відповідної адаптованої до вимог суб'єкта господарювання ПІБ з використанням сучасних програмних засобів, зокрема, СППР.

Мета

Метою статті є удосконалення ПІБ на підприємстві шляхом розроблення відповідної СППР, яка дозволяє здійснити індивідуально орієнтований підбір методів та засобів захисту на основі експертних даних, а також з урахуванням побажань суб'єкта господарювання (підприємця).

Задачі

1. Визначити структуру СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві.
2. Програмно реалізувати СППР для адаптивного підбору методів та засобів ПІБ на базі експертних даних, які враховують потреби підприємства шляхом вибору.

Структурне та організаційне моделювання СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві

У загальному вигляді вимоги до СППР для виявлення ознак загроз інформаційній безпеці підприємств та оцінювання їх рівня сформульовано, насамперед, у міжнародних стандартах ISO серій 9000, 14000, 27000 [7-9].

Стандарт ISO 27001 [10] формує вимоги у галузі інформаційної безпеки щодо створення, впровадження, підтримки та постійного вдосконалення системи управління інформаційною безпекою. У стандарті наголошується на стратегічності рішення організації щодо прийняття системи управління інформаційною безпекою та перераховуються фактори впливу на створення та впровадження такої системи: потреби та цілі організації; вимоги до безпеки; процеси, які протікають у межах організації; архітектура (розмір, структура) організації.

Стандарти [7-10] демонструють узгодженість між собою і ґрунтуються на процесному підході до побудови систем управління. Суть процесного підходу зводиться до опису функціонування системи як набору взаємозалежних неперервних дій.

В основу даних міжнародних стандартів покладено модель PDCA (цикл Шухарта-Демінга) – структуру життєвого циклу усіх процесів системи [11]. Сутність моделі зводиться до неперервного покращення процесів, що забезпечує ефективне керування функціонуванням на системній основі.

Тому до СППР для виявлення ознак загроз інформаційній безпеці підприємства та оцінювання їх рівня висуваються вимоги щодо відповідності серії міжнародних стандартів ISO, моделі PDCA [11] і процесному підходу [7-10].

Процес розроблення та реалізації СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві складається з таких послідовних етапів [12]: постановка задачі, формулювання вимог до створення проекту СППР, опис програмної реалізації та програмування модулів системи, тестування системи, підготовка інсталяційної версії і експлуатаційної документації, впровадження системи на технічних засобах замовника, супровід СППР (полягає, насамперед, у заключному виправленні помилок на етапі експлуатації системи, адаптаційному розширенні та модифікації функцій).

До складу СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві входять три головні компоненти: база даних (БД), база моделей та програмна підсистема, яка складається з трьох підсистем: системи управління базою даних, системи управління базою моделей і системи управління інтерфейсом між користувачем і комп'ютером.

До складу БД, які використовуються для аналізу і звернення до даних, належить мова опису даних (МОД) і мова маніпулювання даними (ММД) [13]. МОД дає можливість визначити структуру БД, де опис даних заданої проблемної області може виконуватися на кількох рівнях абстрагування, для яких характерна власна ММД, яка забезпечує доступ до даних та по суті реалізує запити.

СППР, що пропонується, має трирівневу систему: концептуальний (формується концептуальна схема із зазначенням взаємозв'язків між системами даних, які відповідають реально діючим залежностям

між факторами і параметрами проблемного середовища), логічний (взаємозв'язки, представлені у структурі записів БД) і фізичний рівень (розміщення структури записів на фізичних носіях інформації).

Концептуальну схему СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві представлено у вигляді ER-моделі, яка дозволяє описувати дані за допомогою узагальнених конструкцій блоків. У випадку СППР, що пропонується (рис. 1), маємо сутності користувача (керівник або відповідальна особа на підприємстві) та комплексу даних (БД для реалізації забезпечення інформаційної безпеки на підприємстві).

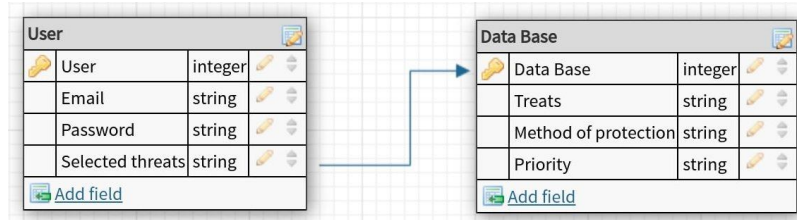


Рисунок 1 – ER-модель СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві

Сутності мають різні властивості (атрибути), які формують притаманні їм характеризуючий та функціональний пакети. Користувачу, крім персональної інформації, що використовується під час авторизації та автентифікації, надана можливість вибору з переліку загроз актуальних на даний момент часу. Комплекс даних відповідає методам захисту, обраним користувачем загрозам і містить сортуючий пріоритетний список (рис. 1).

Логічний рівень представлено блок-схемою алгоритму програмного продукту (рис. 2).

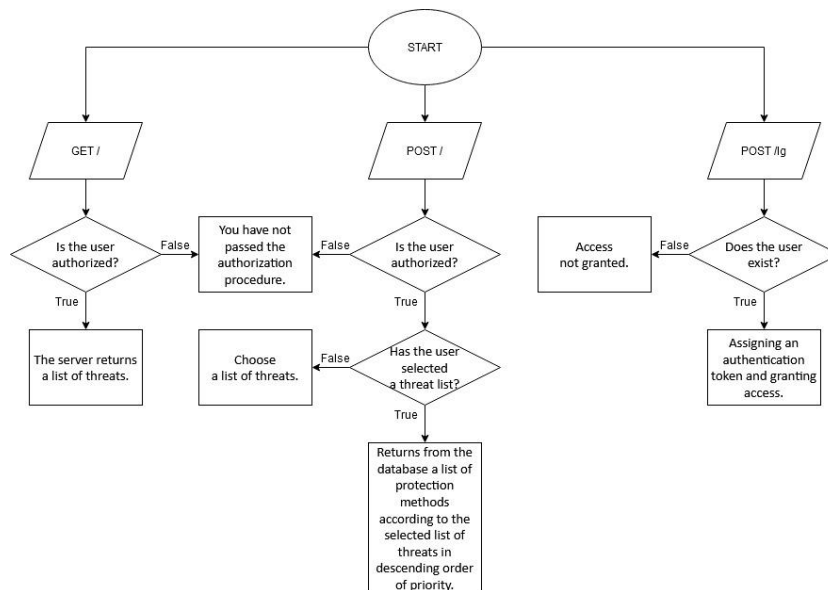


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму програмного продукту для СППР

СППР отримують інформацію з управлінських і операційних інформаційних систем. Дані, які акумульовані в БД, можуть використовуватися безпосередньо користувачем для розрахунків за допомогою математичних моделей.

Зв'язок кінцевих користувачів із БД відбувається за допомогою СУБД. Вона представлена як система програмного забезпечення, що містить засоби оброблення мовами БД. СУБД реалізує створення БД, відповідає за її цілісність, підтримку в активному стані, дає можливість маніпулювати даними, обробляти звернення до БД, які надходять від прикладних програм і кінцевих користувачів із застосуванням технології оброблення інформації. Загалом СУБД, що розробляється, забезпечує: формування комбінацій даних із різних джерел за допомогою процедур агрегування і фільтрації; швидке додавання або видалення джерела даних; побудову логічної структури даних у термінах користувача; використання і маніпуляцію неофіційними даними для експериментального оброблення альтернатив користувача; повну логічну незалежність даної БД від інших операційних БД [14], які функціонують на даному підприємстві.

Варто зауважити, що, порівняно зі звичайними підходами до реалізації БД, для вирішення деяких завдань щодо функцій та інструментів БД і СУБД у контексті розробленої СППР висувається ряд додаткових і спеціалізованих вимог.

Умовою використання СППР, що розробляється, є необхідність доступу інформації зі значно ширшого діапазону джерел, ніж це передбачено у звичайних інформаційних системах. Це пояснюється тим, що інформація отримується від зовнішнього середовища і внутрішніх джерел; крім того, звичайні, орієнтовані на бухгалтерський облік, дані. Тому, запропоновану СППР було доповнено нетрадиційними типами даних, зокрема, текстовою інформацією та ін.

Заслугує також на увагу особливість процесу «Пошуку і захоплення» даних у СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві. Процес пошуку, власне, як і сама СУБД, яка керує цим процесом, є досить гнучкими, щоб швидко обслуговувати доповнення і зміни відповідно до непередбачених запитів, які надходять від користувачів. Тому, для процесу «Пошуку і збільшення» даних у СППР, що розробляється, застосовуються програмні агенти.

Дані беруться з різноманітних джерел оперативних даних. Після їх переміщення відбираються лише суттєві дані, що є безперервними і точними. Потім дані завантажуються до реляційної таблиці, яка здатна підтримувати різноманітні види аналізу та запитів, і оптимізуються для тих таблиць, які найчастіше використовуватимуться. І, врешті-решт, дані зберігаються для подальшого використання у СППР.

Властивий СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві акцент на оброблення неструктурованих і слабоструктурованих задач, до яких і належить формування індивідуальної політики захисту на підприємстві (з урахування уподобань замовника та низки експертних оцінок), зумовлює деякі специфічні вимоги до цих елементів комп'ютерної системи, що пропонується у статті.

Перш за все, мова йде про необхідність виконувати значний обсяг операцій переструктурування даних. Тому, запропонована СППР має можливість завантаження і наступного оброблення даних із зовнішніх джерел, що вимагає широкого набору функцій для функціонування СУБД.

У СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки передбачено засіб, за допомогою якого користувач може налагоджувати базу даних відповідно до своїх особистих вимог. З огляду на це, використовуються процедури і команди гнучкого переструктурування схем і схемних підмножин СУБД. Зауважимо, що сучасні програмні засоби для управління даними і СУБД характеризуються відносною гнучкістю і простотою використання колективом користувачів. Проте, згадані засоби не можна пристосувати до конкретного користувача або до вирішення конкретного завдання з бажаною гнучкістю за умови малих витрат на такий процес.

Програмна реалізація СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві

Для програмування авторського засобу було обрано оптимальну мову, якою (для вирішення такої задачі) є PHP, та фреймворк Laravel. Серед аргументів на користь такого вибору, слід зазначити: можливість засобами PHP генерувати HTML-сторінки на боці веб-сервера; інтерпретування її веб-сервером у HTML-код, який передається клієнту, причому користувач не бачить PHP-код, що є перевагою з точки зору безпеки; можливість підключення до всіх баз даних, до яких існує драйвер, завдяки стандарту відкритого інтерфейсу зв'язку з базами даних (Open Database Connectivity Standard, ODBC); вбудовані бібліотеки для роботи з MySQL, PostgreSQL, mSQL, Oracle, dbm, Hyperware, Informix, InterBase, Sybase; технічні переваги: висока продуктивність, функціональність посилань, використовується метод динамічних аргументів тощо. Серед пріоритетних особливостей обраного PHP-фреймворка з відкритим кодом, призначеного для розроблення веб-додатків відповідно до шаблону model-view-controller (MVC), слід виділити: модульну систему пакування з виділеним менеджером залежностей Composer, різні способи для доступу до реляційних баз даних, утиліти, які допомагають у розгортанні додатків і технічного обслуговування.

Функціонування даного продукту початково передбачає автентифікацію користувачів. Використано модель користувача, що надається за замовчуванням обраним фреймворком, яка дозволяє: під час створення користувача заповнити інформацію щодо імені, електронної адреси, паролю входу, приховати інформацію щодо паролю та токени в результатах запитів до БД.

Для вибору пріоритетів захисту об'єктам, що можуть потрапити під вплив загроз, авторами статті використано функцію PROTECTED. Функція виконується лише в разі авторизації користувача.

Під час роботи даного веб-застосунок користувач (керівник або відповідальна особа на підприємстві) обирає загрози інформаційній безпеці, які вже було зафіксовано в попередніх періодах функціонування підприємства, або ті, які вважаються пріоритетними для захисту.

На рис. 3 наведено фрагмент програмного коду, що описує звернення СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки на підприємстві, до моделі загроз, яка функціонує в БД.

```

namespace App;

use Illuminate\Database\Eloquent\Model;

class Threat extends Model {
    public function event() {
        return $this->hasMany('App\Event', 'threat_id', 'id');
    }
    public function events() {
        return $this->belongsToMany('App\Event');
    }
}

```

Рисунок 3 – Фрагмент коду звернення до моделі загроз у системі веб-застосунку СППР

Паралельно працює база даних з експертним оцінюванням пріоритетності всіх загроз. Після вибору найнебезпечніших загроз, користувачеві наводяться поради щодо впровадження та використання певних методів ПІБ, які задовольняють потреби конкретного підприємства.

Нижче представлено фрагмент програмного коду, в якому здійснюється доступ до контролера потенційних загроз, суттєвих для підприємства, що дозволяє розробити раціональну ПІБ (рис. 4).

```

namespace App\Http\Controllers;
use App\Threat;
use Illuminate\Http\Request;
use Illuminate\Support\Facades\DB;

class ThreatController extends Controller {
    /**
     * @return \Illuminate\Http\Response
     */
    public function index() { }
    /**
     * @return \Illuminate\Http\Response
     */
    public function create() { }
    /**
     * @param \Illuminate\Http\Request $request
     * @return \Illuminate\Http\Response
     */
    public function store(Request $request) { }
    /**
     * @param \App\Threat $threat
     * @return \Illuminate\Http\Response
     */
    public function show(Threat $threat) { }
    /**
     * @param \App\Threat $threat
     * @return \Illuminate\Http\Response
     */
    public function edit(Threat $threat) { }
}

```

Рисунок 4 – Фрагмент коду доступу до контролера потенційних загроз у системі веб-застосунку СППР

У згенерованому контролері визначено низку методів для забезпечення динамічного функціонування. На рис. 5 продемонстровано процес оновлення після процедури запиту.

```

public function update(Request $request){
    $ids = $request->all();
    foreach ($ids as $key => $value) {
        $threat = Threat::find($key);
        $threat->priority = $value;
        $threat->save();
    }
    DB::table('event_threat')->delete();
    $threats = Threat::all();
    foreach ($threats as $threat) {
        $count_events = 9 - $threat->priority;
        $possible_events = $threat->event()->inRandomOrder()
            ->limit($count_events)->get()->pluck('id');
        $threat->events()->sync($possible_events);
    }
    return response()->json(['status' => 'OK'], 200);
}
/**
 * @param \App\Threat $threat
 * @return \Illuminate\Http\Response
 */
public function destroy(Threat $threat) { }
}

```

Рисунок 5 – Фрагмент коду процесу оновлення після процедури запиту в системі веб-застосунку СППР

Розроблену СППР було протестовано. Це дозволило довести, що вона уможливує спрощення процедури адекватного і об'єктивного вибору методів ПІБ керівником вітчизняного підприємства.

Висновки

Побудована СППР щодо підвищення рівня інформаційної безпеки підприємства має такі можливості: автентифікація користувачів; оцінювання незалежним експертом з інформаційної безпеки пріоритетності захисту від можливих або потенційних загроз; користувач може самостійно обирати поширені для підприємства загрози щодо яких необхідно вжити специфічний захист; надання переліку пропозицій користувачеві відповідних методів ПІБ з урахуванням усіх його побажань; динамічне оновлення даних із метою забезпечення спостереження за новітніми методами захисту.

Основний науковий результат полягає в тому, що вперше розроблено систему підтримки прийняття рішень, що дозволяє засобами системного підходу та ER-моделювання суттєво підвищити рівень інформаційної безпеки підприємства, здійснюючи індивідуальний підбір методів та засобів політики інформаційної безпеки на підприємстві на основі побажань підприємця та експертних оцінок.

Практичне значення результатів роботи полягає у розробленні програмного продукту, що дозволяє здійснювати індивідуальний підбір методів та засобів ПІБ на підприємстві на основі індивідуального вибору суб'єкта господарювання та застосування знань експертів.

Список літератури

- [1] Кабінет Міністрів України. (2021, бер. 03). *Розпорядж. Каб. Міністрів України від 03.03.2021 р. № 167-р, Про схвалення Концепції розвитку цифрових компетентностей та затвердження плану заходів з її реалізації*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-p#Text>.
 - [2] Кабінет Міністрів України. (2018, січ. 17). *Розпорядж. Каб. Міністрів України від 17.01.2018 р. № 67-р : станом на 17 верес. 2020 р, Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-p#Text>.
 - [3] В. М. Богуш, О. К. Юдін, *Інформаційна безпека держави*. Київ, Україна: "МК-Прес", 2005.
 - [4] О. Л. Голубенко, В. О. Хорошко, О. С. Петров, С. М. Головань, Ю. Є. Яремчук, *Політика інформаційної безпеки. Практикум : навч. посібник*. Луганськ, Україна: СНУ ім. В. Даля, 2010.
 - [5] С. В. Ленков, Д. А. Перегудов, В. А. Хорошко, *Методи и средства защиты информации. В 2-х томах. Том I. Несанкционированное получение информации*. Київ, Україна: Арий, 2008.
 - [6] С. В. Ленков, Д. А. Перегудов, В. А. Хорошко, *Методи и средства защиты информации. В 2-х томах. Том II. Информационная безопасность* Київ, Україна: Арий, 2008.
 - [7] *ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*. [Online]. Available: <https://www.iso.org/ru/standard/45481.html>. Accessed on: Jan. 4, 2021.
 - [8] *ISO/IEC 14001:2015 Environmental management systems – requirements with guidance for use*. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/60857.html>. Accessed on: Jan. 4, 2021.
 - [9] *ISO/IEC 27000:2018 Information technology – Security techniques – Information security management systems – Overview and vocabulary*. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/73906.html>. Accessed on: Jan. 4, 2021.
 - [10] *ISO/IEC 27001:2013 Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/54534.html>. Accessed on: Jan. 4, 2021.
 - [11] Б. А. Кормич, *Організаційно-правові основи політики інформаційної безпеки України: автореф. дис. ... д-ра юрид. наук : 12.00.07*. Харків, Україна, Національний університет внутрішніх справ, 2004.
 - [12] Г. М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк, *Експертні технології прийняття рішень: Монографія*. Київ, Україна: ТОВ «Маклаут». – 2008.
 - [13] В. Р. Кігель, *Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці: Монографія*. Київ, Україна: ЦУЛ, 2003.
 - [14] П. І. Бідюк, Л. О. Коршевніюк, *Проектування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник*. Київ, Україна: ННК „ІПСА” НТУУ „КПІ”, 2010.
- Стаття надійшла: 18.01.2022.

References

- [1] *Rozporyadzh. Kab. Ministriv Ukrayiny vid 03.03.2021 r. № 167-r, Pro skhvalennya Kontseptsyi rozvytku tsyfrovyykh kompetentnostey ta zatverdzhennya planu zakhodiv z yiyi realizatsiyi* [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 03.03.2021 № 167-r, On approval of the Concept of development of digital competencies and approval of the action plan for its implementation]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-r#Text> [in Ukrainian].

- [2] *Rozporyadzh. Kab. Ministriv Ukrainy vid 17.01.2018 r. № 67-r : stanom na 17 veres. 2020 r, Pro skhvalennya Kontseptsiyi rozvytku tsyfrovoyi ekonomiky ta suspil'stva Ukrainy na 2018-2020 roky ta zatverdzhennya planu zakhodiv shchodo yiyi realizatsiyi* [Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated January 17, 2018 № 67-r: as of September 17, 2020, On approval of the Concept of Development of the Digital Economy and Society of Ukraine for 2018-2020 and approval of the action plan for its implementation]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-r#Text> [in Ukrainian].
- [3] Bohush, V. M., Yudin, O. K. *Informatsiyna bezpeka derzhavy* [Information security of the state]. Kyiv, "MK-Pres" Publ., 2005. 432 p. [in Ukrainian].
- [4] Holubenko, O. L., Khoroshko, V. O., Petrov, O. S., Holovan', S. M., Yaremchuk, Yu. Ye. *Polityka informatsiynoi bezpeky* [Information security policy]. Luhansk, SNU im. V. Dalya Publ., 2010. 208 p. [in Ukrainian].
- [5] Lenkov S.V., Peregodov D.A., Khoroshko V.A. *Metody i sredstva zashchity informatsii. V 2-kh tomakh. Tom I. Nesanktsionirovannoe poluchenie informatsii* [Methods and means of information protection. In 2 volumes. Volume I. Unauthorized receipt of information]. Kyiv, Arii Publ., 2008. 464 p. [in Russian].
- [6] Lenkov S.V., Peregodov D.A., Khoroshko V.A. *Metody i sredstva zashchity informatsii. V 2-kh tomakh. Tom II. Informatsionnaya bezopasnost'* [Methods and means of information protection. In 2 volumes. Volume II. Information Security]. Kyiv, Arii Publ., 2008. 344 p. [in Russian].
- [7] *ISO 9000:2015 Quality management systems – Fundamentals and vocabulary*. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/45481.html> (accessed 04.01.2022).
- [8] *ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use*. Available at: <https://www.iso.org/standard/60857.html> (accessed 04.01.2022).
- [9] *ISO/IEC 27000:2018 Information technology – Security techniques – Information security management systems – Overview and vocabulary*. Available at: <https://www.iso.org/standard/73906.html> (accessed 04.01.2022).
- [10] *ISO/IEC 27001:2013 Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*. Available at: <https://www.iso.org/standard/54534.html> (accessed 01.12.2022).
- [11] Kormych, B. A. *Orhanizatsiyno-pravovi osnovy polityky informatsiynoi bezpeky Ukrainy: Avtoref. dys. ... d-ra yuryd. nauk* [Organizational and legal bases of information security policy of Ukraine. Avtoref. diss. ... doct. jurid. sci.]. Kharkiv, Natsional'nyy universytet vnutrishnikh sprav. Publ., 2004. 42 p. [in Ukrainian].
- [12] Hnatiyenko, H.M., Snytyuk V.Ye. *Ekspertni tekhnolohiyi pryynyattya rishen'* [Expert decision-making technologies]. Kyiv, TOV «Maklaut» Publ., 2008. 444 p. [in Ukrainian].
- [13] Kihel', V. R. *Metody i modeli pidtrymky pryynyattya rishen' u rynkoviy ekonomitsi* [Methods and models of decision support in a market economy]. Kyiv, TsUL Publ., 2003. 202 p. [in Ukrainian].
- [14] Bidyuk, P. I., Korshevnyuk, L. O. *Proektuvannya komp'yuternykh informatsiynykh system pidtrymky pryynyattya rishen'* [Design of computer information systems for decision support]. Kyiv, NNK „IPSA” NTUU „KPI” Publ., 2010. 340 p. [in Ukrainian].

Відомості про авторів

Азарова Анжеліка Олексіївна – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем.

Дьогтева Ірина Оксентіївна – асистент кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем.

Шиян Анатолій Антонович – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту та безпеки інформаційних систем.

A. O. Azarova, I. O. Dohtieva, A. A. Shyian

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR INCREASING THE LEVEL OF INFORMATION SECURITY OF THE ENTERPRISE

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 004.4

Т. А. Вакалюк, Р. В. Павлов, О. В. Чижмотря, О. Г. Чижмотря, Ю. І. Лисогор

ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ВЕБ-ДОДАТКУ ПРОГНОЗУВАННЯ КУРСУ КРИПТОВАЛЮТ

Державний університет «Житомирська політехніка», Житомир

Анотація. У статті розглянуто види криптовалют, наведено методи їх прогнозування. Проведено огляд програмних засобів прогнозування криптовалют. Обрано метод прогнозування криптовалют для поставленої задачі. Запропоновано та описано концептуальну модель веб-додатку, проведено декомпозицію концептуальної моделі веб-додатку в нотації IDEF0, а також декомпозиція концептуальної моделі веб-додатку в нотації IDEF3 та декомпозицію концептуальної моделі у нотації DFD. Наведена структурна схема вибору параметрів для прогнозування курсу криптовалюти (варіанти вибору користувача), та запропонована діаграма роботи веб-додатку прогнозування курсу криптовалют.

Ключові слова: криптовалюта, прогнозування, розробка, теоретичні аспекти.

Abstract. The article considers the types of cryptocurrencies, methods of their forecasting. A review of cryptocurrency forecasting software was conducted. The method of cryptocurrency forecasting for the task is chosen. The diagram of user choice is given, the structural, logical and physical models are described. The concentrative model of the web application is proposed and described, the conceptual model of the web application in IDEF0 notation is decomposed, as well as the decomposition of the conceptual model of the web application in IDEF3 notation and the decomposition of the conceptual model in DFD notation. The block diagram of the choice of parameters for forecasting the cryptocurrency rate (user choice options) is presented, and the diagram of the cryptocurrency forecasting web application is proposed.

Key words: cryptocurrency, forecasting, development, theoretical aspects.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-19-27>.

Вступ

ІТ-технології дуже стрімко розвиваються та все частіше набувають широкого вжитку та удосконалюють сфери нашого життя. Це не обходить і різні фінансові інститути. Чудовим поєднанням технологій та фінансів в сучасному світі є поняття криптовалют, які з кожним роком розвиваються все швидше. В деяких країнах, ті чи інші види криптовалют вже починають замінювати паперові гроші. Їх визнають на загальнодержавному рівні, встановлюють спеціальні термінали для роботи з даними валютами.

В сучасному світі фінансові установи прогресують за допомогою ІТ-технологій. Це дає відповідний фундамент до розвитку нових фінансових та економічних можливостей, інструментів та форм взаємодії людей між собою. Так, «з'явився аналог традиційних валют – криптовалюта та її найпоширеніша грошова одиниця біткоїн» [1].

Криптовалюта – «вид цифрових грошей, в якому використовуються розподілені мережі і публічно доступні журнали реєстрації угод, а ключові ідеї криптографії поєднані в них з грошовою системою заради можливості створити безпечно, анонімну та потенційно стабільну віртуальну валюту» [2].

Виділяють такі основні криптовалюти:

Bitcoin (BTC) – найвідоміша криптовалюта. Ринкова капіталізація становить понад 1.1 трлн. доларів, крім того, біткоїн є найдорожчою валютою з усіх існуючих на даний час. Біткоїн визнають на державному рівні в багатьох розвинених країнах, «встановлюються спеціальні термінали для роботи з валютою, які використовують для проведення набору операцій» [3].

Ethereum (ETH) – «криптовалюта, яка заснована розробником Віталіком Бутериним, на початку 2015 року. Ethereum використовує свій власний підхід та вихідний код, який став основою для інших, менш розповсюджених, криптовалют. На даний час Ethereum має капіталізацію близько 348 млрд. доларів. Головна відмінність від біткоїна полягає у тому, що Ethereum використовує спеціальні смарт-контракти» [4].

Litecoin (LTC) – криптовалюта, яка запущена в 2011 році, її головною перевагою є швидке підтвердження всіх видів транзакцій.

Актуальність

За останні роки науковці та ІТ-фахівці приділяють велику увагу дослідженням з прогнозування курсу криптовалют. Основною задачею дослідників є визначення системи критеріїв та показників, які чинять вплив на курсі, а також визначити та окреслити методи такого прогнозування.

Сословський В. Г., пропонує використовувати системний підхід у прогнозуванні криптовалют. Він визначає, що ринок криптовалют – «це система, яка впливає на розвиток інших суб'єктів економіки, як частина фінансової системи. Учений також зазначає те, що ринок криптовалют є відкритою, складною, стохастичною, динамічною та керованою системою, яка знаходиться наразі активно формується та розвивається. У цієї системи є суб'єкт і об'єкт керування, а розвиток системи на умовах децентралізації здійснюється сукупністю елементів, що утворюють суб'єкт керування у вигляді саморегульованої організації (СРО). Сукупність елементів, що забезпечують випуск та обіг криптовалют й користування ними, утворює об'єкт керування – власне і ринок криптовалют» [5].

Потапенко Б. П. ж пропонує прогнозування криптовалют за допомогою нейронних мереж. Штучні нейронні мережі (ШНМ) – «це математичні моделі, а також їх програмні або апаратні реалізації, які побудовані за принципом біологічних нейронних мереж – нервових кліток живого організму. Після розробки алгоритмів навчання, моделі використовуються в практичних цілях: прогнозування, розпізнавання образів, та ін» [6].

Американський науковець та фінансист Метт Кранц виділяє фундаментальний аналіз як один із методів прогнозування курсу криптовалют. Він зазначає, що це оцінка ризику інвестиції, спроба виміряти її цінність, вивчаючи економічні, фінансові та інші показники. Кінцевою метою фундаментального аналізу є висвітлення кількісного значення, що вказує на недооцінені чи переоцінені вартості ресурсу [7].

Також, IT-фахівці та вчені застосовують інші методи прогнозування курсу криптовалют. Ось, деякі з них:

- Методика аналізу і прогнозування валютного ринку [8], [9] включає в себе генерацію сигналів торгової системи (купити, продати, утримувати, закрити позицію). Для генерації та ідентифікації такого роду сигналів використовується аналіз перетину декількох експоненційних ковзних середніх з різними періодами усереднення. Критерієм відкриття позицій на купівлю чи продаж є емпірично знайдені порогові значення величини середньої кількості всіх поданих сигналів. Критерієм закриття позиції – рівень прибутку чи збитку, що вводиться експертом. Перевагою цієї методики є простота використання, а недоліком – деяка неточність сигналів опису ситуації на ринку, а також низька ефективність при бічному тренді.

- Марковські випадкові процеси та Ланцюги Маркова – частковий випадок випадкових процесів, що широко та ефективно застосовуються для створення імовірних за своїм родом моделей, які описують процеси функціонування певних систем технічного, екологічного та економічного характеру.

Випадковий процес $X(t)$ називають марковським [10], якщо за будь-якого можливого значення часу $t = t_1$ значення випадкової величини $x(t_1)$ не залежить від того, яких значень ця величина набувала для $t < t_1$, а це, в свою чергу, значить, що процес у момент часу $t = t_1$ не залежить від його поведінки в більш ранні моменти часу $t < t_1$. Основною властивістю ланцюгів Маркова є пам'ять про минулі переходи, тобто розподіл ймовірностей (i, j) характеризує ймовірність того, що котирування валюти прийме значення j , за умови, що після t кроків (наприклад, t годин) котирування рівна i [10].

Методика експоненціального згладжування – метод, який обчислює значення згладженого ряду шляхом оновлення значень, визначених на попередньому кроці на основі інформації з поточного кроку [11]. Інформація попереднього і поточного кроків береться з різними вагами, якими можна керувати. Простий, ефективний метод, але неточний при короткотривалому прогнозуванні і зовсім не підходить для використання на довготривалому проміжку часу. Переваги методу експоненційного згладжування: досить точні прогнози на середньострокові терміни; висока ефективність надходження нових даних для обробки; простота використання; проміжні результати доступні для користувача [11].

До недоліків цього методу можна віднести малу точність прогнозів для невеликих та довготривалих часових проміжків. Вартість віртуальних монет встановлюється ринком, тому чим більше попит на певну криптовалюту, тим вище буде її курс [11]. Попит же, в свою чергу, залежить від переваг, які пропонує відповідна криптовалюта. Попит формується на основі новин про нові розробки та досягнення в цій сфері. Популярність криптовалют, реклама та сприятливі новини також є ознакою швидкого зростання курсу певної криптовалюти. Так як курс криптовалют залежить виключно від попиту, то одним із методів прогнозування курсу є кількісна оцінка такого попиту та аналіз впливу попиту на курс криптовалют.

В підсумку зрозумілим є те що, дана тема є достатньо новою, тому тут є ще, що досліджувати. Зробивши аналіз усіх складових було зазначено, що вплив соціуму на курс криптовалют є суттєвим, але слабо проаналізованим математично.

Мета

Метою статті є описати теоретичні аспекти розробки веб-додатку прогнозування крипто-валют.

Задачі

1. Проаналізувати наявні програмні засоби прогнозування курсу криптовалют.
2. Проаналізувати існуючі методи та практики прогнозування курсів криптовалют.
3. Провести аналіз обраних методів прогнозування та вибрати декілька для побудови моделі.
4. На основі обраних методу розробити прогнозну модель.

Розв'язання задач

На сьогоднішній день існує чимало програмних засобів прогнозування курсу криптовалют, кожен з яких використовує різні методи прогнозування. Розглянемо деякі з них:

Walletinvestor – веб-додаток, який дає можливість вибору однієї конкретної криптовалюти, або ж спостерігати дані про всі наявні з них у вигляді зручної таблиці. Програму можна переглянути за посиланням <https://walletinvestor.com>.

Веб-додаток пропонує користувачу, окрім прогнозів на деякий період часу, поточний курс найпопулярніших криптовалют і усі попередні дані. Методи, які використовуються для прогнозів не розголошуються з причини комерційної таємниці.

NeuroShell – це повноцінний набір нейронних мереж, які створені та спеціально навчені для передбачення курсу котирувань валют. За допомогою зручного інтерфейсу людина з будь-яким досвідом у фінансовій сфері зможе використовувати цю програму. Також сильною стороною цієї програми є використання методів на основі генетичних алгоритмів. Сама ж торгова система може використовувати в своїх методах як індикатори, так і спрогнозовані дані, отримані за допомогою нейронних мереж. Процес побудови нейронних мереж досить простий, однак ключові етапи побудови залишається в таємниці. Основна архітектура, яка використовується – це багатосаровий перцептрон.

Belinvestor [12] – веб-орієнтована система, яка можна знайти за адресою <https://belinvestor.com/cryptocurrencies/>. Тут є прогнози на найближчі дати у форматі стрічки новин. Основним мінусом є те, що на сайті пости, які побули на сайті більше 3 місяців – видаляються, що не дає змоги подивитися більш старі прогнози, та оцінити їх точність. По новим прогнозам можна сказати, що вони складаються людьми зі значним досвідом та знаннями цієї сфери.

Ainet – програма для прогнозування курсів криптовалют на основі нейронних мереж. В якості вихідних даних виступає прямокутна матриця з повністю заповненими даними і матриця з тим же кількістю стовпців, але в якій відсутні певні дані. Програма намагається передбачити значення цих пропущених даних. Серед мінусів сервісу визначають те, що вона працює за методом «чорної скриньки», Це призводить до складнощів розуміння звичайним користувачем нейронних мереж, що використовуються для побудови прогнозів.

Для реалізації моделі, на основі якої будемо розроблювати веб-додаток для прогнозування курсу криптовалют необхідно описати вимоги до моделі та вхідні змінні, які використовуються для її побудови. Цілісна модель прогнозування криптовалют повинна відповідати таким вимогам: своєчасність, актуальність, адекватність, точність. В якості вхідних змінних будуть використовуватись дані про певну криптовалюту, а саме: найменування, поточний курс та часовий ряд курсу у минулому, часовий ряд кількості та типу (продаж / купівля) укладених угод, часовий ряд загальної суми угод в одиницях криптовалюти, часовий ряд максимумів та мінімумів об'єму угод. Вихідними змінними моделі є: курс певної криптовалюти у майбутньому (прогноз). Вхідними даними будуть слугувати курс певної криптовалюти в минулому за заданий період часу.

Згідно із зазначеними вище вимогами до моделі та вхідних даних, джерелом самих даних було обрано платформу Yahoo Finance, яка надає своєчасні, актуальні та точні дані не тільки щодо курсу криптовалют, а також щодо курсу акцій різних компаній.

Можна виділити 2 основні проблеми наявних методів:

1. Більшість із них не дають достатньо точний прогноз (такий, що більше 50%)

2. Наявні методики не досить добре оптимізовані саме під ринок криптовалют.

3. Огляду на зазначені вище проблеми доцільно було б обрати метод із застосуванням нейронних мереж, так як він є найбільш точним. Але є чимало видів нейронних мереж, які застосовуються для різних потреб. У випадку прогнозування курсів криптовалют найбільш вдалим варіантом буде застосування рекурентної нейронної мережі (англ. RNN).

Рекурентна нейронна мережа – це мережа, яка побудована за принципом багатосарового перцептрона, але кожен «нейрон» (блок, цикл) якої зберігає інформацію (запам'ятовує її) [13]. Можна виділити декілька факторів, чому саме ця нейронна мережа найбільш підходить для прогнозування курсів криптовалют, а саме:

1. Цей вид нейронних мереж дуже добре справляється з послідовностями різної довжини;
2. Підтримує потрібний порядок послідовності;
3. Слідкує за довгостроковими залежностями, а не просто скорочує вхідні дані;
4. Обмінюється параметрами по всій послідовності (аби повторно не вивчати речі)

На рис.1 та 2 зображена схема RNN. Що робить RNN, так це те, що вона переводить надані вхідні функції в машинозчитувані вектори. Потім система обробляє кожну з цієї послідовності векторів один за іншим, переходячи від самого першого вектора до наступного в послідовному порядку. Під час обробки система передає інформацію через приховане стан (стан пам'яті) на наступний крок цієї послідовності.

Як тільки прихований стан зібрав всю наявну інформацію в системі з попередніх кроків, він готовий перейти до наступного кроку і об'єднати цю інформацію з вхідними даними поточного кроку (X_t), щоб сформувані новий інформаційний вектор.

Існує декілька видів архітектур RNN, та для прогнозування курсу криптовалют найбільш підходить архітектура LSTM (архітектура з довгою короткочасною пам'ятю), тому що такого роду побудова RNN добре підходить для обробки або передбачення часових рядів в умовах, коли між подіями існують часові затримки невідомої тривалості. Блоки LSTM містять три або чотири «вентилі», які використовуються для керування плином інформації. Такі вентилі реалізують із застосуванням логістичної функції для обчис-

лення значень між 0 та 1. Для часткового дозволу або заборони плинину інформації до або з цієї пам'яті застосовується множення на це значення. Наприклад, «вхідний вентиль» керує мірою, до якої нове значення входить до пам'яті. «Забувальний вентиль» керує мірою, до якої значення залишається в пам'яті. А «вихідний вентиль» керує мірою, до якої значення в пам'яті використовується для обчислення активування виходу блоку.

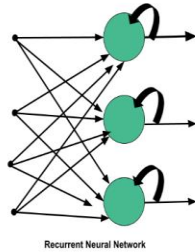


Рисунок 1 – Рекурентна нейронна мережа

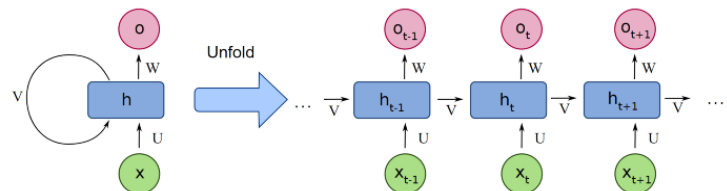


Рисунок 2 – Схема послідовності RNN

На рис. 3 зображена архітектура LSTM із вхідним, забувальним та вихідним вентилями

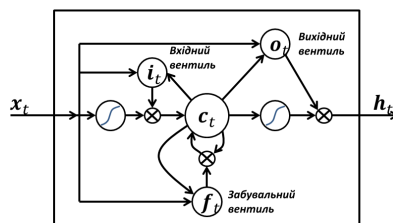


Рисунок 3 – Архітектура LSTM із трьома основними вентилями

В підсумку загальний алгоритм буде розділений на такі етапи:

1. Збір даних про певну криптовалюту з платформи Yahoo Finance, який включає в себе найменування криптовалюти, поточні та ціни криптовалюти за певний період в минулому.
2. Очищення даних від фонового шуму, порожніх даних та надання їм належного вигляду та форми для подальшої обробки нейроною мережою.
3. Подача очищеного та підготовленого набору даних на вхідний шар нейронної мережі типу RNN (LSTM).
4. Видача фінального прогнозу на заданий період часу в майбутньому.

Для забезпечення вищезазначених вимог та опису створеного методу було вирішено обрати моделі, показані на рис.4, як опис основних механізмів роботи програмного засобу.

Концептуальна модель, описана вище, має такі дані:

Вхідні дані: назва криптовалюти та період прогнозу на майбутнє

Механізми роботи поділений на дві основні частини:

1. API Yahoo Finance – надає запитані данні відносно обраної криптовалюти у заданому часовому діапазоні, на кшталт значення курсу [14].
2. Алгоритм прогнозування – є нейромережею типу RNN(LSTM) і є не просто програмною частиною, але самостійним модулем, так як перед реальним використанням її порібно навчити на відповідних фінансових даних [15], [16], після чого вони підключаються до програми в якості засобу обробки біржових даних для видачі прогнозу.



Рисунок 4 – Концептуальна модель веб-додатку

Вихідні дані: прогноз курсу вибраної криптовалюти, який надається у вигляді часового ряду на заданий вхідними даними інтервал, а графічним інтерфейсом програми відображається у вигляді графіку. Головні процеси, які виконуються при роботі програмного засобу можна побачити на рис. 5.

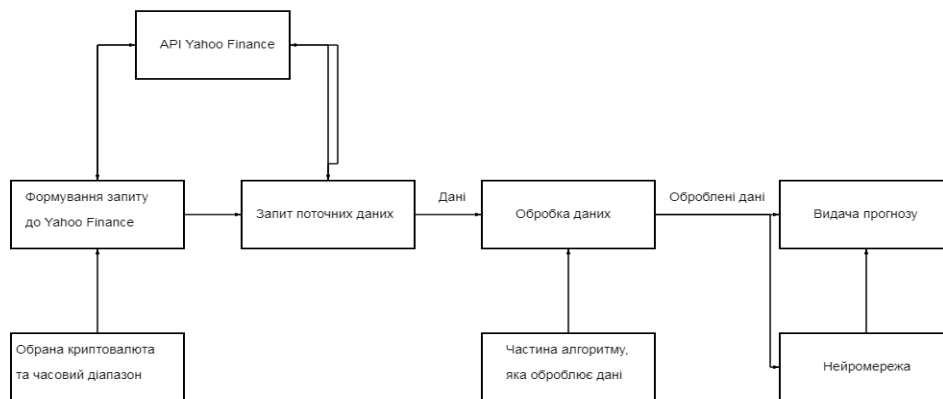


Рисунок 5 – Декомпозиція концептуальної моделі веб-додатку в нотації IDEF0

Концептуальна модель, представлена на рис. 5, має наступні структурні елементи:

Запит до Yahoo Finance – у цьому процесі створюється запит на основі наданих даних про назву криптовалюти та часовий діапазон прогнозу, після чого відправляється до API біржі.

Запит поточних даних – запит, який є початком основного циклу програми для підтримки видачі прогнозу в режимі реального часу – тобто режим програми, в якому дані автоматично оновлюються з певним інтервалом та виведенням інформації користувачу.

Обробка даних – процес очищення, підготовки та приведення, отриманих від платформи Yahoo Finance, фінансових даних до належного, для обробки їх нейромережою, вигляду.

Видача фінального прогнозу – оброблені попереднім етапом дані надходять до нейромережі типу RNN(LSTM) та видається фінальний прогноз.

Основні етапи роботи моделі: Формування запиту, Отримання даних, Обробка даних, Видача результату. Всі ці етапи відбуваються з даними, тому потрібно розглянути декомпозицію у нотації IDEF3, яку можна побачити на рис. 6.



Рисунок 6 – Декомпозиція концептуальної моделі веб-додатку в нотації IDEF3

Чітке визначення рамок, процесів і потоків даних в системі можна побачити на рис. 7 у декомпозиції концептуальної моделі в нотації DFD. Центральним процесом є «Прогнозування курсу криптовалюти». На вхід поступають обраний діапазон прогнозу та обрана криптовалюта. Виходом буде часовий ряд з прогнозом курсу криптовалюти, який буде виведений користувачу у вигляді графіку, на якому по осі X будуть дати, а по осі Y ціни вибраної криптовалюти. Якщо користувач обере прогноз на 1 день, то буде показано минулі ціни в тижневому діапазоні, якщо обере на 7 днів, то буде показано минулі ціни за 2 тижні, якщо обере прогноз на 1 місяць, то буде показано минулі ціни за 2 місяці.

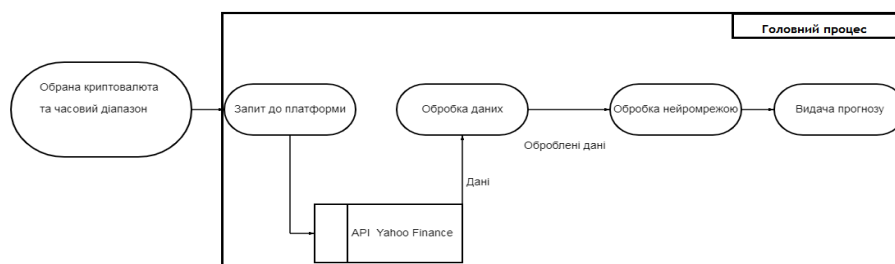


Рисунок 7 – Декомпозиція концептуальної моделі у нотації DFD.

Сховищами даних виступають:

– API Yahoo Finance – основні джерела даних, які надають доступ по запиту до статистики поточних та минулих значень курсу вибраної криптовалюти.

– Пам'ять програми – зберігає лише одну порцію конвертованих даних отриманих від етапу їх обробки.

Також на діаграмі зображено дочірні процеси, які відображають потоки даних між ними, а саме:

– Складання запиту – відповідно до заданих користувачем параметрів складається запит за допомогою відповідної бібліотеки.

– Обробка даних – отримані дані проходять процедуру очистки, форматування та підготовлюються для подальшої обробки нейромережою.

– Обробка нейронною мережою– оброблені дані подаються на входи нейромережі, після чого видається прогноз (часовий ряд) на заданий користувачем період часу.

Основні функціональні вимоги, що ставляться до серверної та клієнтської частин веб-додатку, наведено в табл. 1 та 2. Для визначення коректності вимог необхідно встановити чи не суперечать вони одна одній та чи не перекриваються між собою. Матриці залежності вимог до програмного засобу прогнозування курсу криптовалют наведені в табл. 3 та 4.

Таблиця 1 – Функціональні вимоги серверної частини, що ставляться до системи

Кодовий номер	Вимога
A1	Можливість отримання форми з назвою криптовалюти та часовим діапазоном
A2	Можливість створення запиту для API до певної криптовалютної біржі
A3	Можливість прийому відповіді на запит у форматі CSV
A4	Можливість парсингу даних з CSV формату в об'єкти
A5	Можливість обробки даних, їх очищення та підготовки їх для обробки нейромережою
A6	Можливість видачі нейромережою вихідних даних прогнозів у єдиному вигляді, по екземпляру з кожного обробника
A7	Можливість обробки екземплярів прогнозів ШНМ для генерації єдиного прогнозу

Таблиця 2 – Функціональні вимоги клієнтської частини, що ставляться до системи

Кодовий номер	Вимога
A8	Можливість задання назви криптовалюти та часового проміжку для отримання прогнозу
A9	Можливість задання бажаного вигляду прогнозу: стовпчиковою діаграмою, таблицею чи графіком

Таблиця 3 – Матриця залежності до серверної частини веб-додатку

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
A1	X	X	X	X	X	X	X
A2		X	X	X	X	X	X
A3			X	X	X	X	X
A4				X	X	X	X
A5					X	X	X
A6						X	X
A7							X

Таблиця 4 – Таблиця залежності клієнтської частини веб-додатку

	A8	A9
A8	X	X
A9	X	X

Як видно з матриць залежності, які наведені у табл. 3 та 4 вимог жодних протиріч або накладань

вимог немає. Для демонстрації структури та можливостей моделі використано універсальну мову моделювання (Unified Modeling Language, UML).

Таким чином, можливості відображаються діаграмою можливих варіантів вибору користувачем вхідних параметрів для веб-додатку, яку можна побачити на рис. 7. Нею визначаються загальні межі і контекст веб-додатку прогнозування курсу криптовалют, формулюються загальні вимоги до функціональної поведінки програмного засобу. В підсумку створюються потрібні передумови для подальшого його представлення логічною і фізичною моделями.

Оскільки веб-додаток прогнозування курсу криптовалют ставить на меті дати можливість користувачеві вибирати назву криптовалюти та часовий діапазон прогнозу, а також отримувати результат у одній з трьох можливих форм відображення: графіку, стовпчиковій діаграмі чи таблиці – у програмному засобі єдиним учасником системи є користувач (див. рис. 7).

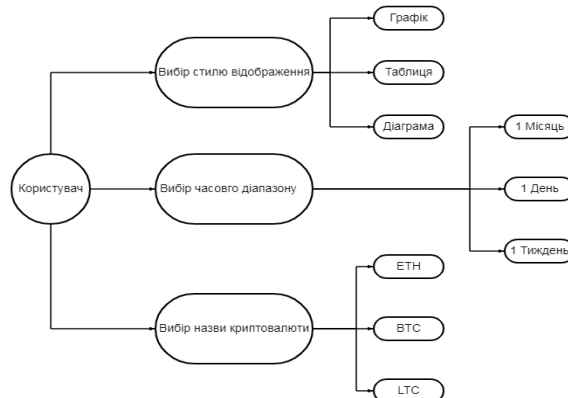


Рисунок 7 – Структурна схема вибору параметрів для прогнозування курсу криптовалюти (варіанти вибору користувача)

Логічна модель даних та веб-додатку виражена незалежно від реалізуючих програмний засіб технологій, для надання відомостей про основні програмні сутності, у нашому випадку об'єктно-орієнтованої моделі – це класи та функції(методи). Для реалізації програмного засобу потрібно було розбити дані, які ми можемо дістати з криптовалютної біржі на самодостатні одиниці, а також видалити зайві дані і в підсумку з них можна скласти відповідний часовий ряд, який буде використаний для прогнозування курсу вибраної криптовалюти.

Також слід було обрати конкретну криптовалютну біржу, оскільки API кожної з них відрізняється. У разі відмови серверу одного з постачальників даних, а також для поєднання отриманих даних для заповнення пробілів інформації, які можливі через утаєння або просто відсутність деяких критеріїв на певній біржі. Тому було обрано 2 криптовалютні біржі для збору фінансових даних обраної криптовалюти.

Створимо діаграму діяльності, яка демонструє конкретну логічну послідовність основного робочого циклу програми (див. рис. 8).

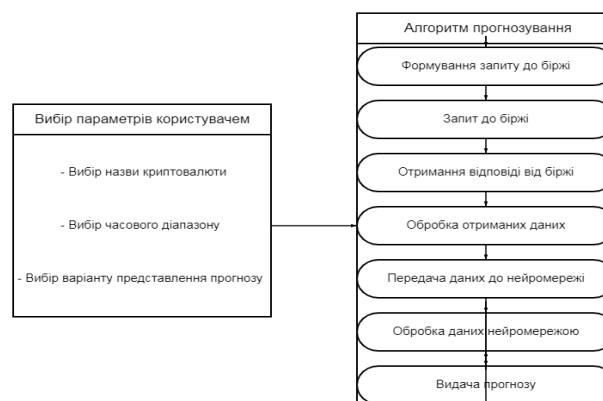


Рисунок 8 – Діаграма роботи веб-додатку прогнозування курсу криптовалюти

Висновки

Було проведено аналіз актуальності задачі прогнозування курсу криптовалют, яка підтвердила високу популярність з боку користувачів криптовалют, та трейдерів. Розглянуто наявні методи для вирішення задач прогнозування курсу валют та криптовалют, які сьогодні використовують трейдери та спеціалізовані програми для аналізу ринку; проведено їх детальний аналіз щодо зручності, часозатрат, типу даних та ефективності прогнозу. Запропонований оптимізований метод прогнозування і розглянуто структурну модель веб-додатку прогнозування курсу криптовалют. Запропоновано модель веб-додатку прогнозування курсу криптовалют з описом діаграми варіантів параметризації веб-додатку.

Список літератури

- [1] Що таке Bitcoin і криптовалюта? // Bitcoin Security. 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://bits.media/chto-takoebitcoin>. Дата звернення: 15.12.2021.
- [2] Що таке «криптовалюта»? // Insider.pro. 2014. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://insider.pro/ru/article/112>. Дата звернення: 15.12.2021.
- [3] Доступно про криптовалюту: що таке Bitcoin і як його «майнити». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://m.znaj.ua/techno/dostupno-pro-kryptovalyuty-shotake-bitcoin-i-yak-jogo-majnyty> Дата звернення: 15.12.2021
- [4] Криптовалюта Ethereum ETH. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mining-cryptocurrency.ru/ethereum-eth>. Дата звернення: 15.12.2021
- [5] Сословський В.Г., Косовський І. О. «Криптовалюта як система інвестиційних проєктів», *Вісник Університету банківської справи*, 1, 103-109, 2017.
- [6] Прогнозування мережевого трафіку в системах безпеки з використанням нейронних мереж [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/8D3679F0-B42E-4867-9620-827A7DD7ED1C.pdf>. Дата звернення: 15.12.2021
- [7] RapidApi Alpha-Vantage. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rapidapi.com/alphavantage/api/alpha-vantage/> Дата звернення: 15.12.2021
- [8] Gautam Vora. «Cryptocurrencies: Are Disruptive Financial Innovations Here?», *Modern Economy*, 06, 816-832, 2015. doi: 10.4236/me.2015.67077
- [9] Mak D.K. *Science of Financial Market Trading*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2003. 260p.
- [10] Smith S. «How Cryptocurrencies Are Changing What CPAs Need to Know about Fraud Prevention», *Theoretical Economics Letters*, 8, 3252-3266, 2018. doi: 10.4236/tel.2018.814201.
- [11] Sontakke, K.A. and Ghaisas, A. «Cryptocurrencies: A Developing Asset Class», *International Journal of Business Insights & Transformation*, 10, 10-17, 2017.
- [12] Belinvestor. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://belinvestor.com/cryptocurrencies/>. Дата звернення: 15.12.2021.
- [13] Ivan Nunes da Silva, Danilo Hernane Spatti, Rogerio Andrade Flauzino, Luisa Helena Bartocci Liboni, Silas Franco dos Reis Alves. *Artificial Neural Networks: A Practical Course*, Springer. 2017. 307 p.
- [14] Yahoo Finance. [Електронний ресурс]. Режим доступу: finance.yahoo.com/cryptocurrencies/ Дата звернення: 15.12.2021
- [15] Лубенець І. Огляд цифрових криптовалют / Блог експертів про фінанси, 2014. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.prostoblog.com.ua/lichnye/byudzheth/obzor_tsifrovyyh_kriptovalyut. Дата звернення: 15.12.2021
- [16] Harwick C. «Cryptocurrency and the Problem of Intermediation», *Independent Review*, 20, 569-588, 2016.

Стаття надійшла: 15.01.2022.

References

- [1] Shcho take Bitcoin i kryptovaliuta? [What is Bitcoin and cryptocurrency?] // Bitcoin Security. 2015. [Online]. Available: <http://bits.media/chto-takoebitcoin>. Accessed on: 15.12.2021 [in Ukrainian].
- [2] Shcho take «kryptovaliuta»? [What is a «cryptocurrency»?] // Insider.pro. 2014. [Online]. Available: <https://insider.pro/ru/article/112>. Accessed on: 15.12.2021 [in Ukrainian].
- [3] Dostupno pro kryptovaliuty: shcho take Bitcoin i yak yoho «mainyty». [Available about cryptocurrencies: what is Bitcoin and how to «mine» it]. [Online]. Available: <https://m.znaj.ua/techno/dostupno-pro-kryptovalyuty-shotake-bitcoin-i-yak-jogo-majnyty> Accessed on: 15.12.2021 [in Ukrainian].
- [4] Kryptovaliuta Ethereum ETH. [Online]. Available: <https://mining-cryptocurrency.ru/ethereum-eth> Accessed on: 15.12.2021 [in Ukrainian].
- [5] Soslovskiy V.H., Kosovskiy I. O. (2017) «Kryptovaliuta yak systema investytsiinykh proektiv» [Cryptocurrency as a system of investment projects], *Visnyk Universytetu bankivskoi spravy [Bulletin of the University of Banking]*, 1, 103-109 [in Ukrainian].

- [6] Prohnozuvannia merezhevoho trafiku v systemakh bezpeky z vykorystanniam neironnykh merezh [Forecasting network traffic in security systems using neural networks]. [Online]. Available: <http://inmad.vntu.edu.ua/portal/static/8D3679F0-B42E-4867-9620-827A7DD7ED1C.pdf>. Accessed on: 15.12.2021 [in Ukrainian].
- [7] RapidApi Alpha-Vantage. [Online]. Available: <https://rapidapi.com/alphavantage/api/alpha-vantage/> Accessed on: 15.12.2021.
- [8] Gautam Vora (2015). «Cryptocurrencies: Are Disruptive Financial Innovations Here?», *Modern Economy*, 06, 816-832. doi: 10.4236/me.2015.67077.
- [9] Mak D.K. (2003) *Science of Financial Market Trading*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 260p.
- [10] Smith S. (2018) «How Cryptocurrencies Are Changing What CPAs Need to Know about Fraud Prevention», *Theoretical Economics Letters*, 8, 3252-3266, doi: 10.4236/tel.2018.814201.
- [11] Sontakke, K.A. and Ghaisas, A. (2017) «Cryptocurrencies: A Developing Asset Class», *International Journal of Business Insights & Transformation*, 10, 10-17.
- [12] Belinvestor. [Online]. Available: <https://belinvestor.com/cryptocurrencies/1> Accessed on: 15.12.2021.
- [13] Ivan Nunes da Silva, Danilo Hernane Spatti, Rogerio Andrade Flauzino, Luisa Helena Bartocci Liboni, Silas Franco dos Reis Alves (2017) *Artificial Neural Networks: A Practical Course*, Springer, 307 p.
- [14] Yahoo Finance. [Online]. Available: <https://finance.yahoo.com/cryptocurrencies/> Accessed on: 15.12.2021.
- [15] Lubenets I. Ohliad tsyfrovyykh kryptovaliut / Bloh ekspertiv pro finansy [Digital Cryptocurrency Review / Finance Experts Blog], 2014. [Online]. Available: http://www.prostoblog.com.ua/lichnye/byudzhet/obzor_tsifrovyyh_k_riptovalyut Accessed on: 15.12.2021 [in Ukrainian].
- [16] Harwick C. (2016) «Cryptocurrency and the Problem of Intermediation», *Independent Review*, 20, 569-588.

Відомості про авторів

Вакалюк Тетяна Анатоліївна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення.

Павлов Роман Володимирович – здобувач Державного університету «Житомирська політехніка».

Чижмотря Олексій Володимирович – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення.

Чижмотря Олена Геннадіївна – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення.

Лисогор Юрій Іванович – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення.

T. A. Vakaliuk, R. V. Pavlov, O. V. Chyzhmotria, O. H. Chyzhmotria,
Yu. I. Lysogor

THEORETICAL ASPECTS OF DEVELOPING A WEB APPLICATION FOR CRYPTOCURRENCY EXCHANGE FORECASTING

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr

УДК 004.9

K. Zub, P. Zhezhnych

AN OVERVIEW OF THE CURRENT PROGRESS OF THE HEI'S SUPPORT SYSTEMS FROM THE ENTRANTS' PERSPECTIVES

Lviv Polytechnic National University, Lviv

Abstract. One of the strategically important processes of the higher education institution activity is the enrollment campaign. In the information and knowledge society, the effectiveness of its implementation depends on many factors, one of which is the use of information technology. Therefore, the purpose of this paper is to examine current researches and determine the existing trends aims to support the decision-making of HEI's and major from entrants perspective. This literature review uses Scopus and Web of Science databases and Google Scholar web search engine. Major findings include three lines of research that generate contributions on this topic: predicting the success of admission, recommendation of the major or education institution, and investigation of factors influencing the entrant's choice. The review indicates that the most common is the use of data mining to solve researches tasks. The results of this study allow us to identify key points that are critical at the initial stage of solving decision support issues and to detect the main future directions of research.

Key words: entrants, higher educational institution (HEI), major, decision support, literature review.

Анотація. Одним із стратегічно важливих процесів діяльності вищого навчального закладу є вступна кампанія. В суспільстві інформації та знань ефективність його реалізації залежить від багатьох факторів, одним із яких є використання інформаційних технологій. Тому, метою цієї роботи є вивчення поточних досліджень та визначення їх тенденцій, спрямованих на підтримку прийняття рішень щодо закладу вищої освіти та спеціальності з точки зору абітурієнтів. У цьому літературному огляді використано наукометричні бази даних Scopus та Web of Science, а також пошукову систему Google Scholar. Основні висновки полягають у виділенні трьох напрямів досліджень, які створюють внесок у цій темі: прогнозування успішності вступу, рекомендація спеціальності або навчального закладу та дослідження факторів, що впливають на вибір абітурієнта. Огляд свідчить, що найпоширенішим є використання добування та аналізу даних для вирішення завдань досліджень. Результати цього дослідження дозволяють визначити ключові моменти, які є критичними на початковому етапі вирішення задач підтримки прийняття рішень, та виявити основні майбутні напрямки досліджень.

Ключові слова: вступники, заклад вищої освіти (ЗВО), спеціальність, підтримка прийняття рішень, огляд літератури.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-28-36>.

Introduction

Information technology (IT) has become an essential part of education institution activity and certainly their competitive advantage. IT has to be an enabler for various efforts of managers to enhance the quality, effectiveness, and accountability of higher education institution (HEI). All implemented technologies must meet the strategic goals such as improving competitive ranking, improving brand image, improving quality of learning and teaching, increasing student satisfaction, increasing revenues, expanding student base, improving quality of service, etc. In addition to its essential role, it is necessary to provide sustainability and continuous improvement processes. Therefore, the implementation of technology requires a detailed analysis of existing modern methods and tools capable of solving current problems facing HEIs

This study examines the application of IT in the scope enrollment campaign to a HEI. Admission into HEI is a complex decision-making task that is more than just passing tests and admission requirements. The way the student chooses the HEI to take admission and alternately the HEI selects, a student to admit has a significant impact on both sides' success [1], [2]. The need to support the decision-making of HEI entrants is currently due to several objective reasons, including:

- increasing the amount of information coming from different educational institutions and generated at the level of government (some criteria for admitting students with many details, including educational institutions; a large number of educational institutions and educational offers); besides, it could also occur data unavailability and its evaluation problems;
- a complication of the tasks facing the entrant (annual change of admission rules and their difference in different institutions);
- the need to take into account a large number of interrelated factors and rapidly changing requirements (factors that affect the popularity of a particular specialty and lead to unpredictable competition for a place among entrants, etc.);
- the desire of applicants to get rid of the uncertainty associated with the inability to assess their chances of admission clearly;
- the importance of the consequences of decisions made (decision could negatively affect both the student and his self-realization - student success, employment, and ranking of the university).

Because of the influence of the factors mentioned above, decisions on admission to a particular major could be made intuitively and be unsuccessful. In addition, since making the right decisions is of utmost importance for entrants and HEIs, there is a need to use methods and techniques that reduce the applicant's risk of making the wrong decision. Such technologies should summarize, analyze information, adapt to changes, and make decisions at the user's request.

A lot of existing research towards supporting decision-making on a course or program selection is designed for existing students. Today universities have flexible curricula that offer a wide range of elective courses. Therefore, the student often cannot choose the appropriate course for his/her curriculum [3]. In this context, HEI usually employs guidance counselors to help students determine steps to make their educational experience personally relevant and valuable. However, even in those cases, recognizing, planning, and applying approaches for academic success do not always yield a good outcome [4]–[7]. In addition, there is a lot of research on decision-making towards practical major selection, but they aim to support HEIs managers. When used for student enrollment, prediction primarily aids understanding for enrollment trend analysis and could influence future strategy and resource decisions [8]–[10]. However, there is no consolidated overview of the systems and technologies that support decision-making exactly from the entrant's perspective. Therefore, in this study, we aim to describe current trends and specific approaches that support decision-making for HEIs applicants

This paper aims to answer the research question:

1. What are the main concepts of modern research that applies to information systems and technologies of HEIs entrants decision support process.
2. What current methods, techniques, and approaches are used in previous studies to solve the tasks.
3. What are the important factors that are critical at the initial stage of building information systems for the support of HEIs entrants`.

Backgrounds

The enrollment process to HEI varies widely in different countries and sometimes in education institutions. However, in any case, the entrant has to choose an educational institution and major apply to. Each HEI sets its own requirements, deadlines, and restrictions that must be met by applicants.

The government in different countries and the HEIs pay a lot of attention to the admission process itself. In many cases, entrants involve a possibility to use apply to university online. This kind of system includes all stages, including payment. They are easy to use and must be paid for. Katholieke Universiteit Leuven in Belgium (www.kuleuven.be), École Polytechnique Fédérale de Lausanne in Switzerland (www.epfl.ch), University of Groningen in Netherlands (www.rug.nl), University of Oslo in Norway (www.uio.no) have its web portal for applications and admission. Because of the peculiarity of the organization of the educational process of a country, for example, in the UK, there is a Certified Bachelor's Degree Program and Universities and Colleges Admissions Service, UCAS (www.ucas.com).

Guided by various factors, entrants choose the educational institution and major for admission. Given the difficulty, a natural solution is to apply to a large number of universities. However, a large number of applications occurs high investment of time and energy. In some countries, applications are pay. In some, such as Ukraine, the number of applications that can be submitted to HEIs is limited. The University of Edinburgh (www.ed.ac.uk), Oxford (www.ox.ac.uk), Cambridge (www.cam.ac.uk), and London Universities have introduced online consultations conducted to coordinate candidates in the rational choice of course of study or college for entrants. However, the disadvantage is the impact of the human factor. Therefore, there is a necessity to implement an approach that allows applicants to make knowledgeable decisions by assessing their chances of admission.

One of the most effective computer-based information systems are decision support systems (DSS), that by collecting and analyzing large amounts of relevant information in the educational domain focuses on providing appropriate support to improve decision quality. DSS emerged in the early '70s of the last century due to the development of management information systems and are a category of IT that includes any tools that accurately predict the effects of possible decisions. In most cases, this means providing decision-makers with meaningful information that is relevant to a given decision. Due to the current pace of development of IT, DSS is constantly improving in increasing the level of intellectualization and is increasingly used in education. Various modern approaches and methods are used in DSS development today, including expert assessments, neural networks, optimization methods, regression analysis, etc. In addition, DSS can be used to select solutions unstructured and poorly structured tasks, including those with many criteria. This makes it possible to implement DSS at different levels of management of the educational institution, particularly during the enrollment campaign. However, given the wide range of possible approaches to building a system, developers are constantly faced with finding the most effective in each task. As well there is an increasing number of research toward the impact of recommender systems in education domains [11]. Nowadays, the recommender system is more reliable in various areas by applying algorithms concentrating on user-centric and real-time relevance feedback. It provides a solid and accurate result of recommendation [12]. The output of a recommender system is usually a list of prioritized content. In contrast, the production of a decision-making support system attempts to reach a single conclusion with an accurate confidence level.

Search strategy

We conducted a review of research using Scopus (<https://www.scopus.com>) and Web of Science (<https://www.webofscience.com>) online literature database, and Google Scholar web search engine. This study

present the PRISMA scheme, which demonstrates the identification and screening of potentially acceptable studies, and determines the number of studies included in the analysis. The workflow diagram for the systematic identification of scientific literature is shown in Figure 1. Search terms included different combinations of keywords related to "university", "higher educational institutions", "college", "enrolment", "admission", "prediction", "decision-making", "decision support", "decision support systems", "major" joined by operators "OR" and "AND" and different word endings. Search queries were used including the above term for retrieval of primary studies. The search was performed in January 2022. It was targeted to retrieve recent studies from the last five years. The identification process was made using such a database queries and its modification:

- Scopus: TITLE ((hei OR univer* OR colleg*) AND (support OR decision OR prediction OR "decision-making") AND (enroll* OR admiss* OR entrant*)) - 98 results
- WoC - (TI=((hei OR univer* OR colleg*) AND (support OR decision OR prediction OR "decision-making") AND (enroll* OR admiss* OR entrant*))) - 81 results

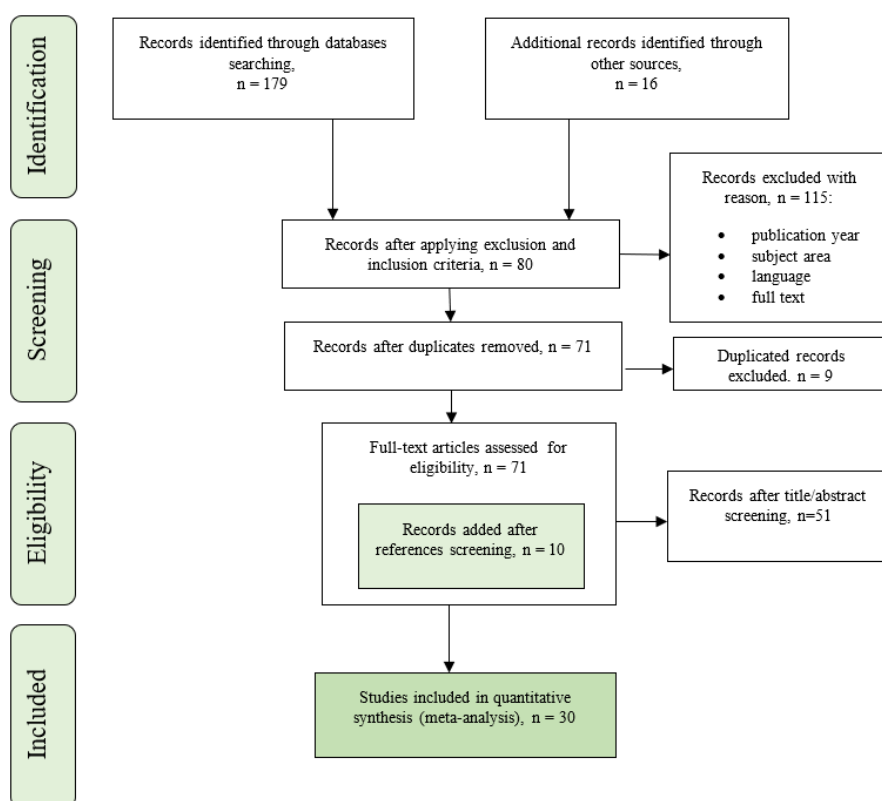


Figure1 – PRISMA workflow for systematic identification of scientific literature

Identified documents were screened in accordance with a set of inclusion and exclusion criteria. Inclusion criteria means that: articles should apply to technologies, systems or methods designed to support HEIs entrants decision making; published in English; published between January 2022 and January 2017; full text available. Exclusion criteria: repeated articles; the study is not available on the web. To apply these criteria in addition to search query we use databases filter tools.

The resulting set allowed us to identify the main studies to which the majority refers. Literature references and related documents based on references (proposed by the system on the documents page) that meet the criteria we also included to results set. To get the set of eligible studies we applied additional inclusion-exclusion criteria. The analysis of full-text studies allowed us to reject works not related to the desired context that were selected.

Data extraction and results

In this work, 30 studies meeting the inclusion criteria were analyzed. Data extraction and its analysis according to current research trends is provided in this section. We group selected studies based on main tasks mentioned by authors of reviewed studies that aimed to support decision making exactly from students' perspective. It should be noted that a significant part of the considered works focused on approaches to assist universities in admissions decision-making or predicting future students' academic performance. Such research plays an essential role in the management and helps the administration reform the marketing models for the institution's overall development.

The main goals identified in studies considered in this paper can be grouped into several concept: predicting the success of admission, recommendation of the major or education institution defining factors influencing the choice of entrant. A few research combine several other goals like defining the number of students ready to join the college, elucidating the predictors that affect the individuals' preparations for university entrance exams, etc. [13].

Major concepts identified: assessment admission chances

This section aims to emphasize and analyze the existing methods for predicting students' admission to a particular university. We will describe some of them in more detail.

S. Sridhar and other authors proposed a stacked ensemble model built to define probabilities to enroll in HEI [14]. The study includes different factors associated with the entrant, particularly their research and industry experience etc. An advantage, in this case, is that the authors assessed several ML algorithms, including other deep learning methods. As the proposed model easily outperforms all other models and provides high accuracy. The authors recommended using the most extensive dataset and Natural Language Processing methods to evaluate the essays and letters as new details regarding the applicants to increase the prediction accuracy.

In another study, researchers deployed the gradient boosting regressor model considering a student's academic successes and university rating. They proposed the probability of admission to that university as an output result [16].

Using different types of artificial intelligence (AI) algorithms, other authors proposed Graduate Admissions Prediction framework [19]. Besides that, a user interface to interact with scholars to see the result was proposed. But from the proposed work users are able to identify chances to get a seat without possibility to get a list of universities in which they can obtain admission.

M. A. Khan, M. Dixit and A. Dixit emphasize the need to save entrants' time and increase their chances of admission to particular graduate programs [20]. They have pitted various ML algorithms against each other to get the best of them. Formed clusters of similar applicants was labeled if they are a correct fit for admission.

Researchers in another study highlighted a task that the entrants do not always clearly understand to which education institution they might get admission to, so they could spend a lot of money and time [21]. Therefore, authors proposed a model that provides the future student with information about their chances to enter the particular university. To make the program available to users, authors developed GUI.

Major concepts identified: recommendation systems

Recommendation system, presented in overviewed study as usual, presents like a subclass of information filtering system, which builds a rating list of objects that the prospective student may prefer. This kind of system is considered an essential tool that can predict and give recommendations, intended to meet users' interests and expectations and solve information overload about HEIs and their majors. User's profile data (set of preferences and interests) and all possible datasets are used to provide recommendation's process results. According to the research objectives (goals) of recent studies, they usually are divided in certain groups such as: choosing programs/majors, selecting courses, long-term academic planning. Therefore, some of the studies we have considered are recommendation systems, several of which we will consider in more detail.

One of paper presents a Personalized Career-path Recommender System (PCRS) based on fuzzy intelligence of N-layered architecture. It uses students' academic achievement, personality type, and extra-curricular skills [37]. The main objective of PCRS is to simulate admission expert roles and support future engineering students to make the best decision. The advantage of the system is a scalable design with the possibility to be extended in the future to consider other academic majors of HEI.

The objective of other work is to assess students and, at the same time to help lead the student to the relevant major [31]. Question Answering (QA) technique was used to analyze textual data (questions) and find the correct answer. The proposed framework includes three modules: data mapping module, rules extraction module and QA module. Authors defined two main challenges: data availability and system validation to check if future students' performance goes in line with the system recommendations.

Other authors propose an Intelligent Decision Support System designed using Fuzzy Expert System [32]. A cluster-based preferences technique is performed to obtain the student's favored majors, applying distance measurement. Results showed that 66% were intensely pleased with the system, and 54% were pleased with suggested majors. However, the accuracy and performance of such a system have not been verified enough.

A part of search results includes research that has been done in the field of Educational data mining (EDM). They are based on data generated by various educational systems that are integrated into the educational process. Most of the developed methods and models are intended to investigate the profiles and behaviors of students or entrants and, accordingly, to predict their success. Only a small part of those studies use educational data to contribute to applicants' effective decision making. Unlike most studies, which address the issue of predicting students' achievement at one stage of their study, some study aims to assist students in their decisions throughout their study years. At enrollment, this work predicts a student's GPA in different majors using enrollment data such as high school average, placement test results, and IELTS score [35]. Researchers

emphasize that discovering knowledge from the academic profile of successful graduate applicants and applying it properly for providing or achieving guidelines could be beneficial for the prospective graduate applicants.

Major concepts identified: factors influencing the choice of entrant

Another direction is determining and analyzing affecting factors for the admission to HEI and its results. The central purpose of those research works is to analyze enrollment patterns in HEI and the factors affecting these patterns to enhance the overall performance of the education area [39]–[41]. Authors have discovered knowledge from previous year successful applicants' academic profile with aim to use this data for prospective graduate applicants. Tuition fees, location, institution ranking, institution facilities, employment opportunities, and social media application thus could have a significant relationship with decision-making results. The obtained key factors that are analyzed for various case studies provide a set of trends that influence enrollments. So the results of the influence of external or internal factors on entrant's decision-making can also be used in the development of DSS.

Analysis of researches` methods and techniques

Most of those studies that aim predicting the success of admission or recommendation of the major or education institution bases on data mining. Table 1 presents distribution of studies by task.

Table 1 – Distribution of studies by task

Main Task	Main Research Results
Classification	<ul style="list-style-type: none"> • predictive model that determine the chances of a student getting accepted by a college [13], university [18]; •classified value whether a student can be admitted by his or her target university or not [25]; •defined variables that have high impact on entrants decision making [13], [14]; •variables pattern which can predict the future happenings on (re-)entering university [38]; •recommendations in the selection of departments.
Prediction	<ul style="list-style-type: none"> • prediction of the chances of admit of a student to a particular college or university program [14], [16], [19]–[22], [30]; •college admission score prediction [15]; •best regression models for prediction of graduate admissions [17]; •recognizing and targeting the universities which are best suitable for their profile and prediction of the future applicant's university chance of admission [32]; •prediction the probability of getting fund[12].
Clustering	<ul style="list-style-type: none"> •cluster similar universities [18], factors affecting the trend of enrollments [34], [39].

The tasks that were set, the researchers explained the ultimate goal, such as: saving entrants` time and money (each application is paid), avoiding their unsuccessful future study performance, avoiding early exclusion and exclusion in general, increasing satisfaction with the chosen field of study, increasing the level of employment. To extrapolate patterns and new knowledge from the data that researchers have collected, different data mining techniques were used (Figure 2).

The considered studies were provided according to the needs of the first-year entrants [13], [21]–[23], [27], [29], re-admission [38], masters level [12], [16], [17], [25], [33], [40], postgraduate students [14], [18]–[20], [28], [32], [36], for students who apply for the admissions of abroad universities [25].

The researchers used data sets that contained:

- past enrollment data: for example, past data of college-wise allotment based [13], data present on Edulix (<https://www.edulix.com>) [14], [18], [29];
- previous year entrants dataset from similarly graduate programs [12], [17], [20], [21], [30], [39];
- survey results: [22], [34], [38], [41];
- students data: the dataset of graduated students' [16], academic data of successful students who have already got an opportunity to study [28], [29], the academic background information of previous undergraduate students and the application results of their target universities [25], some personal and academic information of a particular student [36];
 - universities advisers [25];
 - current user data [19], [27], [29], [31], [33].

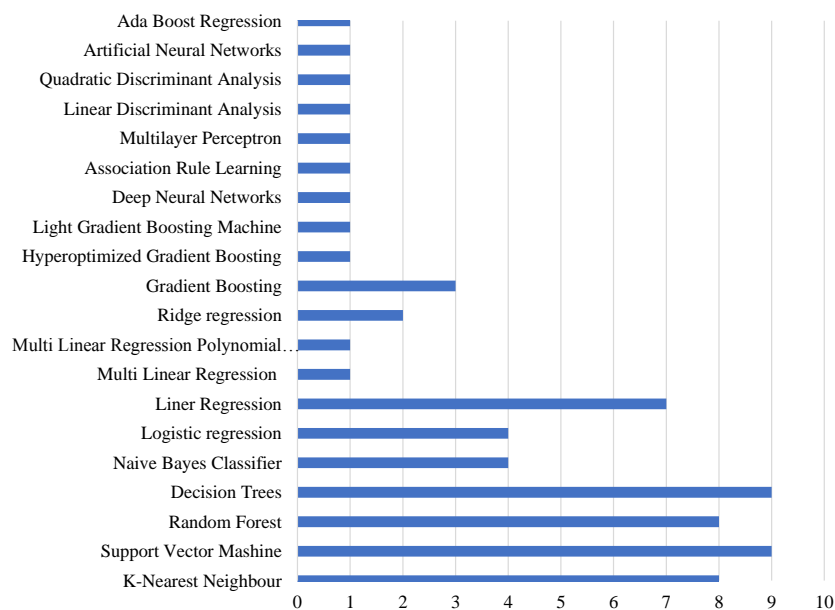


Figure 2 – Distribution of studies by methods

Discussion and future research

Current research highlights that choosing HEI and specific majors is a complex and challenging process with long-term consequences. Future students usually choose HEI and majors considering the advices of their tutors, family and their entrance exam results [38]. Some online resources support these matters, but they could be not precise enough and do not examine all the affecting results data. Furthermore, some existing experts offices could make entrants spend much time and money, without a guarantee of giving fully true information. As a result, many students spend months and years of preparation focusing on things that, unfortunately, will not improve their chances of getting into the desired institution [20]. Due to unconscious choice, the chosen program is often not as expected, which causes low motivation during the study process [19], [38]. To make a appropriate decision, a student needs an expert opinion, time, and effort. So the need to create a system that would help entrants make effective choices is obvious.

In this study, we define three main research concept in order to support HEIs entrants, such as predicting the success of admission, recommendation of the major or education institution and investigation factors influencing the choice of entrant.

Because of high competition in applying to HEI and the payment of every application, entrants in most cases choose a few of HEI only. Therefore, it could be helpful to entrants to use a prediction system to determine their possibilities of becoming a student of particular HEI based on their educational achievements. This prediction system could help entrants reduce the list of possible HEI or majors and determine their chances of getting into the desired HEI. Therefore, researches in overviewed studies emphasize the usefulness of university admission prediction systems to determine their chances of acceptance to a specific HEI. From the latest studies, it is obvious that using historical, current, and continuance data relationships from an educational context is really useful in terms of providing prediction in the HEIs admission process. Most papers evaluate these models to select the best effective model with the highest accuracy rate and the least error.

A large part of the studies proposes a solution to implement the most accurate method to recommend major considering entrants' preference, skills, and abilities. Also, because of the appearance of flexible curriculum policies, many HEI proposes a broader list of courses and majors. So entrants have to make the best use of available information to make more informed decisions. This contributed to the emergence of a particular research direction investigating information systems called Academic Advising System (AAS). This kind of software solution could provide support and motivation to the student's study plan building process, and assisting in the achievement of their educational goal. This, in turn, could increase the effectiveness of the HEI managers' strategy and, accordingly education process in general. Mostly these are recommendation systems. However, AAS requires dealing with a significant decision space, many factors influencing the choice, and many constraints (e.g., course prerequisites, maximum credit hour load, course priorities, etc.). However, AAS requires a significant decision range, many factors influencing the choice, and many restrictions (e.g., course prerequisites, maximum credit hour load, course priorities, etc.).

However, existing studies have some disadvantages:

- insufficiently dedicated to the Graphical User Interface, there are only in a few studies [19], [21], [27], [28], [33];

- in most cases there is no comparison with other machine learning methods;
- insufficient factors are taken into account that may affect the outcome of the system;
- some uncontrollable factors such as significant political and economic changes are not put into our consideration. Family financial conditions and parental education levels will affect student admissions, but it could be impossible to obtain these data in some cases. Therefore, most studies ignore them;
- all works concern a specific country, HEI and even the level of education. DSS is in essence such that it can be very specific, focused only on a certain type of problem. Hence, in each of the studies we see a focus on a specific country, institution, and the direction and level of education.

The results of the analysis of existing research show that the implementation of methods and techniques of machine learning give high accuracy results when used to support applicants. The obtained results are quite accurate and allow the implemented research methods in the construction of the system, which assess the chances of entry and recommend the most appropriate areas for users. However, in addition, there may be other tasks included in the system. We assume that the effectiveness of support for entrants can be increased by combining in one system the functionality of predicting the success of entry and the offer of an alternative of specialty for the user.

We assume that future research should be directed towards data collection and preprocessing. Discovering the hidden knowledge from those students' academic records and applying it properly for decision-making will be very much helpful. Other data sources can be past enrollment data, survey results, user profile data (set of preferences and interests). In addition, it is necessary to explore a variety of independent traits that will affect the outcome of prediction and recommendation. Since the limited number of indicators considered in the calculations has a negative impact on the results, there is a need for further research of the target audience, taking into account the behavior of the modern generation; determining the interests of the university, trends, and current state of the market for educational services, the economy of the country as a whole.

Searching for a set of the most effective data methods and models to solve the problem of forecasting the success of the application by the applicant. It is needed to use different methods, individually and in combination, which could show a sufficiently high accuracy to assess the applicant's chances of admission to the most appropriate HEI. Given the objectives and results showing the developed methods, it is important to determine the most effective in every specific task.

Conclusion

We conducted a systematic literature review and identified relevant research concepts that aim to support entrants' choice of HEI or major for obtaining an educational level. We found that current researches consider enrollment at different levels - the first year, re-enrollment, and master's level. The considered researches concerned different HEI, majors and even countries. Nevertheless, all the studies summaries that the presence of a decision support system will positively affect both the life trajectory of the future student and the activities of the HEI.

The majority of studies used the ML methods and techniques to solve decision-support research dilemmas through technology. This study allows us to assume that the more effective solution could be the implementation of system that provide predicting the success of entry and the offer of an alternative choice of specialty for the user. The results of this study allow us to identify key points that are critical at the initial stage of building IT solution to solve this task.

Reference

- [1] A. Towers, N. Towers, «Re-evaluating the postgraduate students' course selection decision making process in the digital era», *Stud. High. Educ.*, vol. 45, no. 6, p. 1133–1148, 2020, doi: 10.1080/03075079.2018.1545757.
- [2] P. Zhezhnych, O. Berezko, K. Zub, and I. Demydov, «Analysis of Features and Abilities of Online Systems and Tools Meeting Information Needs of HEIs' Entrants», *Proceedings of the 2nd International Workshop on Control, Optimisation and Analytical Processing of Social Networks*, vol. 2616, 76–85, Lviv, Ukraine.
- [3] P.-C. Chang, C.-H. Lin, and M.-H. Chen, «A Hybrid Course Recommendation System by Integrating Collaborative Filtering and Artificial Immune Systems», *Algorithms*, vol. 9, no. 3, p. 47, 2016, doi: 10.3390/a9030047.
- [4] Abiyoga, A. Wicaksana, and N. M. S. Iswari, «Decision Support System for Choosing an Elective Course Using Naive Bayes Classifier», *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing*, vol. 850, p. 97–110, 2020 doi: 10.1007/978-3-030-26428-4_7.
- [5] E. Daniati, «Decision Support Systems to Determining Programme for Students Using DBSCAN And Naive Bayes: Case Study: Engineering Faculty Of Universitas Nusantara PGRI Kediri» in 2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIIIT), Yogyakarta, Indonesia, p. 238–243, 2019, doi: 10.1109/ICAIIIT.2019.8834474.

- [6] O. Iatrellis, A. Kameas, and P. Fitsilis, «Academic Advising Systems: A Systematic Literature Review of Empirical Evidence», *Educ. Sci.*, vol. 7, no. 4, 2017, p. 90, doi: 10.3390/educsci7040090.
- [7] M. H. Mohamed and H. M. Waguih, «A proposed academic advisor model based on data mining classification techniques», *Int. J. Adv. Comput. Res.*, vol. 8, no. 36, 2018, pp. 129–136, doi: 10.19101/IJACR.2018.836003.
- [8] D. Cruz, A. Basallo, M. III, B. Aguilar, J. Calvo, C. Arroyo, J. Delima, A. Jhone «Higher Education Institution (HEI) Enrollment Forecasting Using Data Mining Technique», *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 2, 2020, pp. 2060–2064, doi: 10.30534/ijatcse/2020/179922020.
- [9] L. Du and Q. Li, «A Data-Driven Approach to High-Volume Recruitment: Application to Student Admission», *Manuf. Serv. Oper. Manag.*, vol. 22, no. 5, 2020, pp. 942–957, doi: 10.1287/msom.2019.0779.
- [10] A. Slim, «Predicting Student Enrollment Based on Student and College Characteristics», in *International Conference on Educational Data Mining (EDM)*, 11th, Raleigh, NC, Jul 16-20, 2018
- [11] A. C. Rivera, M. Tapia-Leon, and S. Lujan-Mora, «Recommendation Systems in Education: A Systematic Mapping Study», in *Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018)*, vol. 721, 2018, pp. 937–947. doi: 10.1007/978-3-319-73450-7_89.
- [12] S. Yazdipour and N. Taherian, «Data Driven Decision Support to Fund Graduate Studies in Abroad Universities», in *International Conference on Machine Learning and Data Science (MLDS)*, Noida, pp. 44–50, 2017, doi: 10.1109/MLDS.2017.17.
- [13] D. J. Devarapalli, «Classification Method to Predict Chances of Students' Admission in a Particular College», in *Proceedings of International Conference on Recent Trends in Machine Learning, IoT, Smart Cities and Applications*, vol. 1245, pp. 225–238, 2017, doi: 10.1007/978-981-15-7234-0_19.
- [14] S. Sridhar, S. Mootha, and S. Kolagati, «A University Admission Prediction System using Stacked Ensemble Learning», *Advanced Computing and Communication Technologies for High Performance Applications (ACCTHPA)*, Cochin, India, pp. 162–167, 2020, doi: 10.1109/ACCTHPA49271.2020.9213205.
- [15] C. Li, Z. Ma, H. Zhang, and Y. Liu, «The Prediction Model For College Admission Score Based On Support Vector Machine», *ICIC Express Letters, Part B: Applications An International Journal of Research and Surveys*, vol. 8, 2017, pp. 889–893.
- [16] N. Chakrabarty, S. Chowdhury, and S. Rana, «A Statistical Approach to Graduate Admissions' Chance Prediction», *Innovations in Computer Science and Engineering*, vol. 103, 2020, pp. 333–340. doi: 10.1007/978-981-15-2043-3_38.
- [17] M. S. Acharya, A. Armaan, i A. S. Antony, «A Comparison of Regression Models for Prediction of Graduate Admissions», in *International Conference on Computational Intelligence in Data Science (ICCIDS)*, pp. 1–5, 2019 doi: 10.1109/ICCIDS.2019.8862140.
- [18] N. Gupta, A. Sawhney, and D. Roth, «Will I Get in? Modeling the Graduate Admission Process for American Universities», *IEEE 16th International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, Barcelona, Spain, 2016, pp. 631–638. doi: 10.1109/ICDMW.2016.0095.
- [19] S. Singhal i A. Sharma, «Prediction of Admission Process for Gradational Studies using AI Algorithm», *Eur. J. Mol. Clin. Med.*, vol. 7, no. 4, c. 116–120, 2020.
- [20] M. A. Khan, M. Dixit, and A. Dixit, «Demystifying and Anticipating Graduate School Admissions using Machine Learning Algorithms», *IEEE 9th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)*, Gwalior, India, 2020, pp. 19–25. doi: 10.1109/CSNT48778.2020.9115788.
- [21] Chithra, «Prediction for University Admission using Machine Learning», *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 4922–4926, 2020, doi: 10.35940/ijrte.F9043.038620.
- [22] Md. Protikuzzaman, M. Kanti, M. Kumar, and B. Chandra, «Predicting Undergraduate Admission: A Case Study in Bangabandhu Sheikh Mujibur Rahman Science and Technology University, Bangladesh», *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 11, no. 12, 2020, doi: 10.14569/IJACSA.2020.0111217.
- [23] P. Nandal, «Deep Learning in diverse Computing and Network Applications Student Admission Predictor using Deep Learning», in *Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC)*, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3562976.
- [24] A. Panchal and R. Nair, «College Recommendation System using Data Mining and Natural Language Processing», *International Journal of Engineering Science and Computing*, 2018.
- [25] B. Wu, Z. Ke, M. Fu, and Y. Xia, «SOUA: Towards Intelligent Recommendation for Applying for Overseas Universities», in *International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems (ICICAS)*, Chongqing, China, 2019, pp. 124–128. doi: 10.1109/ICICAS48597.2019.00033.
- [26] A. AlGhamdi, A. Barsheed, H. AlMshjary, and H. AlGhamdi, «A Machine Learning Approach for Graduate Admission Prediction», in *Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Image, Video and Signal Processing*, Singapore, 2020, pp. 155–158. doi: 10.1145/3388818.3393716.

- [27] D. M. Khairina, F. Ramadhani, S. Maharani, and H. R. Hatta, «Department recommendations for prospective students Vocational High School of information technology with Naïve Bayes method», in *2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, 2015, pp. 92–96. doi: 10.1109/ICITACEE.2015.7437777.
- [28] M. Hasan, S. Ahmed, D. Md. Abdullah, and Md. S. Rahman, «Graduate school recommender system: Assisting admission seekers to apply for graduate studies in appropriate graduate schools», in *5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, Bangladesh, 2016, pp. 502–507. doi: 10.1109/ICIEV.2016.7760053.
- [29] A. Baskota and Y.-K. Ng, «A Graduate School Recommendation System Using the Multi-Class Support Vector Machine and KNN Approaches», in *IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI)*, Salt Lake City, UT, 2018, pp. 277–284. doi: 10.1109/IRI.2018.00050.
- [30] S. Aarthi, M. Sarvathanayan, and B. P. Kumar, «Post-Graduate College Admission Recommender Using Data Analytics», *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 6, 2019.
- [31] W. A. Elnozahy, G. A. El Khayat, L. Cheniti-Belcadhi, and B. Said, «Question Answering System to Support University Students' Orientation, Recruitment and Retention», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 164, pp. 56–63, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.12.154.
- [32] S. Alghamdi, N. Alzhrani, and H. Algethami, «Fuzzy-Based Recommendation System for University Major Selection», in *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Computational Intelligence*, Vienna, Austria, 2019, pp. 317–324. doi: 10.5220/0008071803170324.
- [33] V. Sharma, T. Trehan, R. Chanana, and S. Dawn, «StudieMe: College Recommendation System», in *3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)*, Noida, India, 2019, pp. 227–232. doi: 10.1109/RDCAPE47089.2019.8979030.
- [34] Subba Reddy, Y., Govindarajulu P., «College Recommender system using student' preferences/voting: A system development with empirical study». *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 18, no. 1, 2018
- [35] D. J. Dhanashri, «College Recommendation System For Admission», *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 5, no. 3, pp. 1269–1272, 2018.
- [36] S. Ahmed, A. S. Md. L. Hoque, M. Hasan, R. Tasmin, D. Md. Abdullah, and A. Tabassum, «Discovering knowledge regarding academic profile of students pursuing graduate studies in world's top universities», in *2016 International Workshop on Computational Intelligence (IWCI)*, Dhaka, Bangladesh, 2016, pp. 120–125. doi: 10.1109/IWCI.2016.7860351.
- [37] M. Qamhieh, H. Sammaneh, and M. N. Demaidi, «PCRS: Personalized Career-Path Recommender System for Engineering Students», *IEEE Access*, vol. 8, pp. 214039–214049, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3040338.
- [38] T. Park i C. Kim, «Predicting the Variables That Determine University (Re-)Entrance as a Career Development Using Support Vector Machines with Recursive Feature Elimination: The Case of South Korea», *Sustainability*, vol. 12, no. 18, p. 7365, 2020, doi: 10.3390/su12187365.
- [39] R. Ahlawat, S. Sahay, S. Sabitha, and A. Bansal, «Analysis of factors affecting enrollment pattern in Indian universities using k-means clustering», in *2016 International Conference on Information Technology (InCITe) - The Next Generation IT Summit on the Theme - Internet of Things: Connect your Worlds*, Noida, 2016, pp. 321–326. doi: 10.1109/INCITE.2016.7857639.
- [40] M. Farid Shamsudin, A. Mohd Ali, R. Ab Wahid, and Z. Saidun, «Factors Influence Undergraduate Students' Decision Making To Enroll And Social Media Application As An External Factor», *Humanit. Soc. Sci. Rev.*, vol. 7, no. 1, pp. 126–136, 2019, doi: 10.18510/hssr.2019.7116.
- [41] H. I. Patel, «Assessment of Affecting Factors for Higher Education Admission Process», *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 1, pp. 63–67, 2019, doi: 10.35940/ijeat.A1042.109119.

Стаття надійшла: 28.01.2022.

Authors information

Зуб Христина Вігаліївна – аспірант кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності.

Жежнич Павло Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності.

Х. В. Зуб, П. І. Жежнич

ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ АБІТУРІЄНТІВ ЗАКЛАДІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

УДК 004.67+519.725

Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, М. А. Очкуров

ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ ОДИНИЧНОГО КОДУВАННЯ ДЛЯ ПРИБОРІВ КЕРУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Спосіб кодування числової інформації відіграє значну роль при синтезі пристрою керування в процесі кодування його станів. Це пов'язано не тільки зі складністю комбінаційної частини пристроїв керування, але й з необхідністю контролювати їх завадостійкість. У більшості випадків контролездатність кодових комбінацій досягається за рахунок введення додаткових (контрольних) бітів, тобто за рахунок збільшення розмірності кодів та введення засобів формування контрольних бітів. Разом з тим, існують способи кодування, які мають «вбудовану» у структуру кодів здатність до завадостійкості. До таких кодів належить один з різновидів одиничних кодів, а саме одиничний позиційний (маркувальний) код. В даній статті розглядається властивість завадостійкості одиничного позиційного коду з орієнтацією до застосування для кодування станів пристрою керування на базі R-автомата. Збільшення бітів такого коду та специфічний спосіб формування сусідніх кодових комбінацій забезпечують таку його властивість, як еквідистантність. А це, у свою чергу, дозволяє організувати прості комбінаційні схеми вузлів виявлення та виправлення помилки типу «гонитви» сигналів. У статті наведено узагальнену схему для функціонального контролю завадостійкого спрацювання пристрою керування із застосуванням одиничного позиційного кодування його станів. Також показано функціональні схеми вузлів виявлення та виправлення помилки та їх зв'язки із зсувним регістром, який є запам'ятовуючою частиною пристрою керування на базі R-автомата.

Ключові слова: завадостійкість, одиничне кодування, пристрій керування, R-автомат.

Abstract. The method of encoding numerical information plays a significant role in the synthesis of the control device in the process of encoding its states. This is due not only to the complexity of the combination of control devices, but also to the need to control their noise stability. In most cases, the controllability of code combinations is achieved by introducing additional (control) bits, i.e. by increasing the dimension of codes and the introduction of means of generating control bits. However, there are coding methods that have a "built-in" in the structure of codes the ability to noise stability. Such codes include one of the types of unit codes, namely the unit position (marking) code. This article considers the property of noise stability of a unit position code with an orientation to the applying the control device based on the R-automaton for coding its states. Increasing the bits of such code and a specific way of forming neighboring code combinations provide such a property as equidistance. And this, in turn, allows you to organize simple combinational schemes of nodes for detection and correction of errors such as "race" signals. Also, the functional schemes for error detection and correction units and their connection to the shift register, which is a storage part of the control device based on the R-automaton, are shown.

Key words: noise stability, unit encoding, control device, R-automaton.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-37-42>.

Вступ

Кодування числової інформації – це один із важливих факторів забезпечення головних характеристик обчислювальних засобів, таких як швидкодія, завадостійкість, вартість, надійність, контролездатність [1–3]. Особлива увага під час практичного застосування кодованих числових даних приділяється їх завадостійкості, що забезпечує достовірність передавання та зберігання значних обсягів інформації [4, 5], а також безпомилковість спрацювання технічних засобів, зокрема пристроїв керування [6–8]. У статті [8] при цьому слушно визначено практичну задачу завадостійкого кодування – це висока ефективність виявлення помилок при незначній надлишковості кодових комбінацій.

Актуальність тематики

У літературі [1-3, 9, 10] визначено базові фактори, що впливають на ефективність кодування числових даних:

- показник складності алгоритмів перетворення в процесі прийому, обробки та передачі даних;
- показник можливості візуалізації результатів обробки, зручної для людини;
- показник складності подання чисел в залежності від системи елементів, що використовуються;
- показник складності та швидкодії обчислювальних засобів під час виконання машинних операцій над числами;
- показник завадостійкості та контролездатності кодових комбінацій, що впливає на ефективність виконання операцій над ними.

Мета роботи

Метою роботи є застосування властивості завадостійкості різновиду одиничних кодів (одиничного позиційного коду) для забезпечення контролездатності пристроїв керування.

Постановка задачі

Особливо гостро необхідність не тільки виявлення, але й виправлення помилок у кодових комбінаціях існує в процесі спрацювання пристроїв керування. Це пов'язано з виникненням так званої «гонитви» сигналів (signal race) [11,12], що призводить до збою і навіть до припинення роботи пристрою керування та системи взагалі. Тому актуальною є задача розробки засобів, що забезпечують виявлення фактів «го-

нитви» сигналів в процесі спрацювання пристроїв керування з одночасним усуненням їх помилкових станів.

У роботі [13] наведено узагальнену схему для функціонального контролю (рис. 1) за виявленням та виправленням помилок у кодовій комбінації, зокрема у кодах Фібоначчі. Схема містить інформаційний регістр, вміст якого підлягає контролю, контрольний регістр, який виявляє помилку з усуненням її причини в інформаційному регістрі, та логічну схему «причина» і логічну схему «наслідок». Виправлений код знімається з виходу інформаційного регістра, а сигнал «помилка» – з відповідного виходу контрольного регістра. Принцип функціонального контролю в цьому випадку полягає в тому, що у контрольному регістрі формується сигнал «помилка» тоді, коли у ньому з'являється принаймні одна одиниця [13].

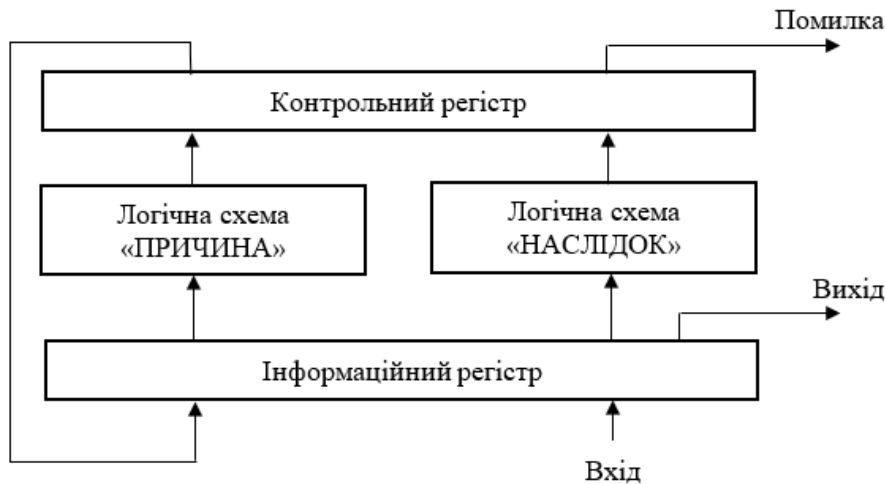


Рисунок 1 – Узагальнена схема для функціонального контролю [13]

В даній роботі цей підхід до виявлення та виправлення помилок у кодовій комбінації взято за зразок для прикладу з одиничним кодуванням інформації у пристрої керування.

Властивості одиничного позиційного кодування

Одиничний позиційний (маркувальний) код V [14] можна подати як множину (послідовність) кодів слів $\bar{\alpha}_i$ вигляду [15]:

$$\begin{aligned} \bar{\alpha}_1 &= (100 \dots 0), \\ \bar{\alpha}_2 &= (010 \dots 0), \\ &\dots \\ \bar{\alpha}_m &= (000 \dots 1), \end{aligned} \quad (1)$$

де кількість розрядів кожного кодового слова $\bar{\alpha}_i$ дорівнює m , а кожне наступне слово у послідовності формується в процесі зсуву одиничного маркера на один розряд у бік старших розрядів [16].

У статтях [17,18] розглянуто такі властивості цього коду, як теоретична контролездатність та контролездатність за модифікованою перевіркою матрицею, еквідистантність, надлишковість та інші. Результати дослідження показали, що цей код належить до нелінійних кодів і має надлишковість інформаційних розрядів (позицій). Остання ознака свідчить про підвищення рівня його реальної контролездатності у порівнянні з теоретичною [19].

Отже, одиничний позиційний код вигляду (1) є еквідистантним кодом, оскільки відстань Хеммінга між будь-якими двома його кодовими словами $\bar{\alpha}_i$, де $i = 1, \dots, m$, дорівнює $d(V) = 2$.

Крім того, особливістю еквідистантних кодів є не тільки рівність всіх попарних відстаней $d(V)$, але й представлення їх парним числом [15].

Разом з тим, з теорії кодування відомо, що код V виявляє t помилок тоді і тільки тоді, якщо відстань Хеммінга між двома його кодовими словами $\bar{\alpha}_i$ не менша, ніж $(t+1)$ [15, 20]. Отже, одиничний позиційний код (1) може виявити $t = 1$ помилок, тобто одиночні помилки. Це свідчить про природну контролездатність цього коду. Така можливість може бути реалізована при кодуванні станів пристроїв керування.

Еквідистантне кодування станів пристрою керування

Найбільш прийнятним пристроєм керування для використання розглянутого одиничного позиційного коду (1) є мікропрограмний автомат (МПА) на базі R-автомата (RA) [21, 22]. В цьому випадку запам'ятовуюча частина МПА реалізується на зсувному регістрі (R) на відміну від відомих МПА на пара-

лельних регістрах (ТА) і на лічильниках (СТА) [23]. Методику синтезу МПА на RA у загальному вигляді та на конкретних прикладах застосування розглянуто у статтях [24-26].

На рис. 2 наведено узагальнену функціональну схему запам'ятовуючої частини МПА, реалізованої як RA, що містить зсувний регістр RG і два логічні вузли: вузол виявлення помилки і вузол виправлення помилки.

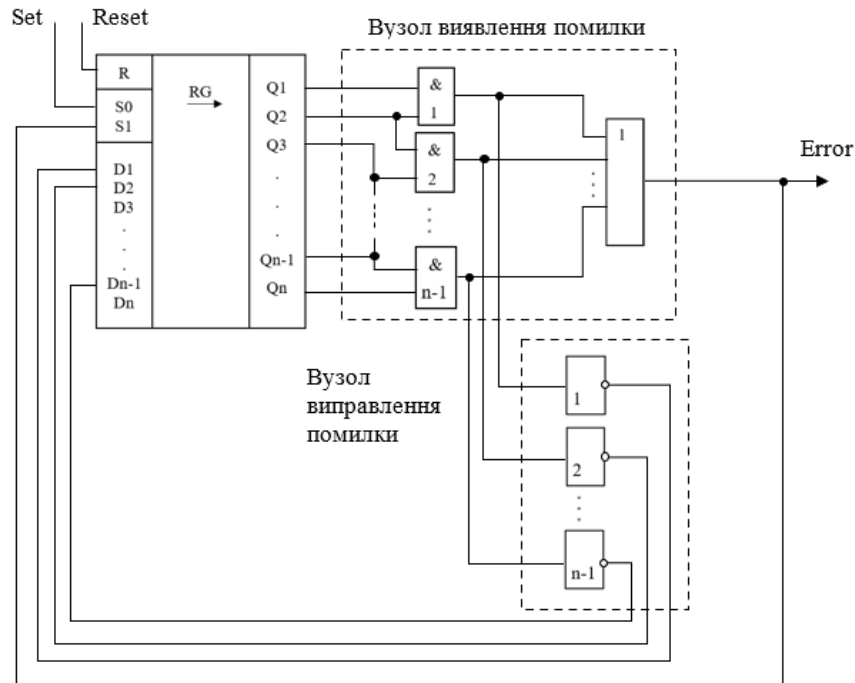


Рисунок 2 – Узагальнена функціональна схема запам'ятовуючої частини МПА

Незначна складність логічної схеми обох вузлів обумовлена, в першу чергу, еквідистантністю одиничного позиційного коду, а також формуванням послідовності кодових слів вигляду (1) на зсувному регістрі RG. Отже, поява збою (помилки) в результаті «гонитви» сигналів можлива в цьому випадку тільки у вигляді появи двох сусідніх одиничних бітів. Такі випадки виявляються у будь-якому логічному двовхідному елементі І вузла виявлення помилки (рис. 2), входи яких з'єднані з виходами сусідніх розрядів зсувного регістра RG. Кількість таких елементів І дорівнює $n - 1$, де n – кількість розрядів зсувного регістра RG. В результаті на виході цього вузла формується одиничний сигнал Error.

Такий підхід до виявлення помилки у спрацюванні зсувного регістра RG дає можливість її виправити саме для випадку появи двох сусідніх одиничних бітів. Враховуючи те, що зсув у зсувному регістрі RG можливий тільки в бік його старших розрядів, збій у його спрацюванні може бути викликаний затримкою в обнуленні молодшого з двох спрацьованих розрядів. Для примусового обнулення молодшого з двох розрядів задіяно відповідний інвертор у вузлі виправлення помилки.

Враховуючи те, що режим паралельного запису у зсувному регістрі RG встановлюється за наявності на його входах S0, S1 вибору режиму обох високих сигналів, то доцільно використати одиничний сигнал помилки Error для входу S1, оскільки на вхід S0 подається одиничний сигнал з настановного входу Set (рис. 2). Звичайний режим зсуву при спрацюванні зсувного регістра RG забезпечується комбінацією сигналів на входах S0, S1 а– високий, низький відповідно [27]. Вхід Reset використовується для скиду регістра RG у нульовий стан. Таким чином реалізується завадостійкість одиничного позиційного кодування станів у пристрої керування конкретного типу RA.

Порівнюючи структуру, наведену на рис.2, з представленою на рис. 1 узагальненою схемою для функціонального контролю, можна зобразити запропоновану структуру у вигляді, поданому на рис. 3. З рис. 3 видно, що надлишковість та еквідистантність одиничного позиційного коду дозволяють відмовитись від використання контрольного регістра, а сформований сигнал помилки Error використати не тільки як певну ознаку, але й як керуючий сигнал для виправлення збою у кодовій комбінації в інформаційному (зсувному) регістрі. Це підкреслює високу практичну контролездатність одиничного позиційного (маркувального) коду.



Рисунок 3 – Схема для функціонального контролю одиничного позиційного кодування

Висновки

Запропоновано функціональні схеми вузлів виявлення та виправлення помилки у складі запам'ятовувальної частини пристрою керування на зсувному регістрі, які зорієнтовано на опрацювання кодових комбінацій з використанням одиничного позиційного (маркувального) коду.

Це дозволяє, враховуючи надлишковість та еквідистантність такого коду, спростити функціональні схеми вузлів, а також використати сформований сигнал помилки як керуючий сигнал для виправлення помилки у кодовій комбінації.

Таким чином забезпечується процес усунення «гонитви» сигналів у спрацюванні пристрою керування через специфічність подання сусідніх кодових комбінацій одиничного позиційного коду, що свідчить про високу контролездатність використання такого коду для кодування станів пристроїв керування на базі R-автомата.

Список літератури

- [1] М. П. Матвієнко, В. П. Розен, *Комп'ютерна схемотехніка : навчальний посібник*. Київ, Україна: Видавництво Ліра-К, 2016, 192 с.
- [2] О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, Я. М. Клятченко, В. П. Тарасенко, *Комп'ютерна схемотехніка : підручник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2018, 230 с.
- [3] Ю. П. Жураковський, В. П. Полторака, *Теорія інформації та кодування*. Київ, Україна: Вища школа, 2001, 255 с.
- [4] W. Stallings, *Data and computer communications*, New Jersey, USA: Pearson Education, Inc., 2007, 890 p.
- [5] S. S. Adams, *Introduction to Algebraic Coding Theory*, 2008, 67 p. [Online]. Available: <http://mirmillion.free.fr/root/Efrei/L'3/SJSU/Coding%20Theory%20Theory/eccbook2007-2.pdf>.
- [6] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, *Повнофункціональна побітова потокова арифметика зі зменшеними витратами обладнання : монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2013, 200 с.
- [7] F. J. MacWilliams, N. J. A. Sloane, *The Theory of Error-correcting Codes*, New York, USA: North Holland Publishing Co., 1977, 762 p.
- [8] О. Д. Азаров, О. І. Черняк, В. В. Туйчев, "Векторний метод локалізації помилок підвищеної ефективності", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 2, с. 60–67. 2021.
- [9] В. А. Лужецький, О. А. Хіясат, "Кодуючі та декодуєчі пристрої r-кодів Фібоначчі, що виправляють помилки", *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, №2, с. 25–29. 1999.
- [10] T. Kasami, T. Sugita, T. Fujiwara, *Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error-Correcting Codes*, vol. 1255, pp. 197, 1997.
- [11] A. Neubauer, J. Freudenberger, V. Kuhn, *Coding Theory: Algorithms, Architectures and Applications*, Chichester, England: Wiley-Interscience, 2007, 352 p.
- [12] В. І. Жабін, І. А. Жуков, І. А. Клименко, В. В. Ткаченко, *Прикладна теорія цифрових автоматів*. К., Україна: Книжкове вид-во НАУ, 2007, 364 с.
- [13] В. А. Лужецький, *Високонадійні математичні Фібоначчі-процесори: монографія*. Вінниця, Україна: «УНІВЕРСУМ - Вінниця», 2000, 248 с.
- [14] С. В. Свечников, В. П. Кожемяко, Л. И. Тимченко, *Квазиимпульсно-потенциальные оптоэлектронные элементы и устройства логико-временного типа*. Киев, Украина: Наукова думка, 1987, 256 с.
- [15] В. К. Леонтьев, *Теория кодирования*. М., РФ: Знание, 1977, 64 с.

- [16] Т. Б. Мартинюк, М. О. Зайцев, М. В. Микитюк, "Особливості аналого-цифрового перетворення в логіко-часовому базисі", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 1, с. 80–85, 2021.
- [17] Т. Б. Мартинюк, Мохамед Салем Нассер, В. В. Власійчук, О. М. Наконечний, "Аналіз можливостей одиничного кодування числової інформації", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2 (10), с. 39–44, 2005.
- [18] В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, В. В. Дмитрук, В. В. Власійчук, "Класифікація одиничних кодів", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1 (11), с. 36–42, 2006.
- [19] E. R. Berlekamp, *Algebraic Coding Theory*, New York, USA: McGraw-Hill, pp. 415–416, 1968.
- [20] Т. Б. Мартинюк, О. В. Войцеховська, О. С. Городецька, "Еквідистантність та одиничні коди", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1, с. 13–16, 2021.
- [21] В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, К. В. Кожем'яко, "Синтез устроювання управління на R-автоматі", *Управляющие системы и машины*, № 1/2, с. 22–25, 1995.
- [22] Т. Б. Мартинюк, "Особенности синтеза микропрограммных R-автоматов", *Управляющие системы и машины*, № 3, с. 22–26, 1998.
- [23] Ю. А. Бузунов, И. Г. Буренков, Н. Н. Шипилов, "Микропрограммные автоматы на параллельно-последовательных структурах", *Управляющие системы и машины*, № 2, с. 26–29, 1982.
- [24] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, Н. В. Фофанова, "Два варіанти синтезу мікропрограмних R-автоматів", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 4, с. 47–53, 1998.
- [25] Т. Б. Мартинюк, Л. В. Крупельницький, М. В. Микитюк, М. О. Зайцев, "Особливості блока керування для кореляційної обробки зображень", *Вісник ВПІ*, № 1, с. 91–96, 2022.
- [26] В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, Н. В. Фофанова, В. В. Дмитрук, "Порівняльний аналіз варіантів синтезу мікропрограмних автоматів", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1 (9), с. 225–233, 2005.
- [27] В. И. Зубчук, В. П. Сигорский, А. Н. Шкуро, *Справочник по цифровой схемотехнике*. Киев, Украина: Техника, 1990, 448 с.

Стаття надійшла: 22.01.2022.

References

- [1] M. P. Matviienko, V. P. Rozen, *Kompiuterna skhemotekhnika : navchalnyi posibnyk*. Kyiv, Ukraina: Vydavnytstvo Lira-K, 2016, 192 s. [in Ukrainian].
- [2] O. D. Azarov, V. A. Harnaha, Ya. M. Kliatchenko, V. P. Tarasenko, *Kompiuterna skhemotekhnika : pidruchnyk*. Vinnytsia, Ukraina : VNTU, 2018, 230 s. [in Ukrainian].
- [3] Ju. P. Zhurakovsk'ij, V. P. Poltorak, *Teoriya informacii ta koduvannja*. Kiiv, Ukraïna: Vishha shkola, 2001, 255 s. [in Ukrainian].
- [4] W. Stallings, *Data and computer communications*, New Jersey, USA: Pearson Education, Inc., 2007, 890 p.
- [5] S. S. Adams, *Introduction to Algebraic Coding Theory*, 2008, 67 p. [Online]. Available: <http://mirmillion.free.fr/root/Efrei/L3/SJSU/Coding%20Theory/eccbook2007-2.pdf>.
- [6] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, *Povnofunktsionalna pobitova potokova aryfmetyka zi zmenshenymy vytratamy obladnannia : monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina : VNTU, 2013, 200 s. [in Ukrainian].
- [7] F. J. MacWilliams, N. J. A. Sloane, *The Theory of Error-correcting Codes*, New York, USA : North Holland Publishing Co., 1977, 762 p.
- [8] O. D. Azarov, O. I. Cherniak, V. V. Tuichev, "Vektornyi metod lokalizatsii pomylok pidvyshchenoï efektyvnosti", *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*, № 2, s. 60–67, 2021 [in Ukrainian].
- [9] V. A. Luzhetskyyi, O. A. Khiiasat, "Koduiuchi ta dekoduiuchi prystroi r-kodiv Fibonachchi, shcho vypravliaiut pomylyky", *Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti*, №2, с. 25–29, 1999 [in Ukrainian].
- [10] T. Kasami, T. Sugita, T. Fujiwara, *Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error-Correcting Codes*, vol. 1255, pp. 197, 1997.
- [11] A. Neubauer, J. Freudenberger, V. Kuhn, *Coding Theory: Algorithms, Architectures and Applications*, Chichester, England : Wiley-Interscience, 2007, 352 p.
- [12] V. I. Zhabin, I. A. Zhukov, I. A. Klymenko, V. V. Tkachenko, *Prykladna teoriia tsyfrovyykh avtomativ*. K., Ukraina: Knyzhkove vyd-vo NAU, 2007, 364 s. [in Ukrainian].
- [13] V. A. Luzhetskyyi, *Vysokonadiini matematychni Fibonachchi-protseory: monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: «UNIVERSUM - Vinnytsia», 2000, 247 s. [in Ukrainian].
- [14] S. V. Svechnikov, V. P. Kozhemjako, L. I. Timchenko, *Kvaziimpul'sno-potencial'nye optojelektroonnye jelementy i ustrojstva logiko-vremennogo tipa*. Kiev, Ukraina: Naukova dumka, 1987, 256 s. [in Russian].
- [15] V. K. Leont'ev, *Teoriya kodirovaniya*. M., RF: Znanie, 1977, 64 s. [in Russian].

- [16] T. B. Martyniuk, M. O. Zaitsev, M. V. Mykytiuk, "Osoblyvosti analoho-tsyfrovoho peretvorennia v lohiko-chasovomu bazysi", *Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia*, № 1, s. 80–85, 2021 [in Ukrainian].
- [17] T. B. Martyniuk, Mokhamed Salem Nasser, V. V. Vlasichuk, O. M. Nakonechnyi, "Analiz mozhlyvosti odynychnoho koduvannia chyslovoi informatsii", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 2 (10), s. 39–44, 2005 [in Ukrainian].
- [18] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, V. V. Dmytruk, V. V. Vlasichuk, "Klasyfikatsiia odynychnykh kodiv", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 1 (11), s. 36–42, 2006 [in Ukrainian].
- [19] E. R. Berlekamp, *Algebraic Coding Theory*, New York, USA: McGraw-Hill, pp. 415-416, 1968.
- [20] T. B. Martyniuk, O. V. Voitsekhovska, O. S. Horodetska, "Ekvidystantnist ta odynichni kody", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 1, s. 13–16, 2021 [in Ukrainian].
- [21] V. P. Kozhemjako, T. B. Martynjuk, K. V. Kozhemjako, "Sintez ustrojstva upravlenija na R-avtomate", *Upravljajushhie sistemy i mashiny*, № 1/2, s. 22–25, 1995 [in Russian].
- [22] T. B. Martynjuk, "Osobennosti sinteza mikroprogrammnyh R-avtomatov", *Upravljajushhie sistemy i mashiny*, № 3, s. 22-26, 1998 [in Ukrainian].
- [23] Ju. A. Buzunov, I. G. Burenkov, N. N. Shipilov, "Mikroprogrammnye avtomaty na parallel'no-posledovatel'nyh strukturah", *Upravljajushhie sistemy i mashiny*, № 2, s. 26–29, 1982 [in Russian].
- [24] T. B. Martyniuk, A. V. Kozhemiako, N. V. Fofanova, "Dva varianty syntezu mikroprohramnykh R-avtomativ", *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*, № 4, s. 47–53, 1998 [in Ukrainian].
- [25] T. B. Martyniuk, L. V. Krupelnytskyi, M. V. Mykytiuk, M. O. Zaitsev, "Osoblyvosti bloka keruvannia dlia koreliatsiinoi obrobky zobrazhen", *Visnyk VPI*, № 1, s. 91–96, 2022, [in Ukrainian].
- [26] V. P. Kozhemiako, T. B. Martyniuk, N. V. Fofanova, V. V. Dmytruk, "Porivnialnyi analiz variantiv syntezu mikroprohramnykh avtomativ", *Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii*, № 1 (9), s. 225–233, 2005 [in Ukrainian].
- [27] V. I. Zubchuk, V. P. Sigorskij, A. N. Shkuro, *Spravochnik po cifrovoj shemotehnikе*. Kiev, Ukraina: Tjehnika, 1990, 448 s. [in Russian].

Відомості про авторів

Мартинюк Тетяна Борисівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки.

Войцеховська Олена Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки.

Очкуров Микола Андрійович – старший викладач кафедри обчислювальної техніки.

T. B. Martyniuk, O. V. Voytsekhovska, M. A. Ochukrov

NOISE STABILITY OF UNIT ENCODING FOR CONTROL DEVICES

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

УДК 004.4

Y. A. Palamarchuk

METHODS OF BUILDING MICROSERVICE ARCHITECTURE OF E-LEARNING SYSTEMS

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

Abstract. The basic principles of organization of microservice architectures (MSA), their parameters, functioning and application in electronic learning systems (ELS) are considered. A comparative analysis of MSA construction options, their components and methods was done. A complex method of building e-learning systems based on MSA is proposed. The microservice architecture of the electronic educational system of Vinnytsia National Technical University JetIQ has been developed and implemented. The expediency of using a domain organization for individual subsystems of ELS is substantiated.

Keywords: e-learning system, distance learning, microservice architecture, domain architecture, exchange protocol.

Анотація. Розглянуто основні принципи організації мікросервісних архітектур (МСА), їх параметрів, функціонування та можливості застосування у електронних навчальних системах (ЕНС). Проведений порівняльний аналіз варіантів побудови МСА, їх компонентів та методів. Запропоновано комплексний метод побудови електронних навчальних систем на основі МСА. Розроблено і реалізовано мікросервісну архітектуру електронної навчальної системи Вінницького національного технічного університету JetIQ. Обґрунтовано доцільність використання доменної організації для окремих підсистем ЕНС.

Ключові слова: електронна навчальна система, дистанційне навчання, мікросервісна архітектура, доменна архітектура, протокол обміну.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-43-54>.

Introduction

The use of e-learning systems (ELS) allows to solve a number of important problems. The main one is the possibility of organizing distance learning (DL). DL provides ample opportunities to organize this process without geographical and temporal reference of participants (students and teachers), to organize asynchronous learning.

Depending on the set educational tasks, its architecture and software decisions are formed. These tasks also determine the technical characteristics and requirements for their structure, data types, logic of operation, computer and network requirements, etc. [1,2].

Most of the existing ENS have a monolithic architecture [3-14]. This limits their ability to make software changes or enhance functionality without rebuilding the ENS kernel. The consequence of this is the problem of scaling up and efficient use of cloud technologies and, in particular, the creation of geographically distributed architectures. However, such systems can be scaled only horizontally. It involves the use of more powerful machines, or the use of additional servers to maintain the same core system.

Emergencies with a monolithic core do not allow to increase their noise immunity by separating individual high-load subsystems.

The aim of the study is to develop a comprehensive methodology for building scalable and noise-tolerant ELS based on microservice architectures.

Features of application of monolithic and MSA architectures in ELS

ELS parameters are determined not only by the functionality and software tools embedded in them, but also by the architecture. Most ELS s with a relatively developed core use monolithic structures. This gives them a number of advantages and good dynamics of development and support.

An alternative to monolithic systems is the decomposition of the entire ELS into separate microservices and thus the creation of a service-oriented architecture (SOA) with distributed resources, where the exchange of information between its components is carried out according to certain network protocols.

MSA provides a number of advantages, namely:

- Ease of implementation of microservices. Their programs have relatively small program code and they are easy to maintain and manage.
- Scalability and flexibility. Microservices can be implemented in different programming languages, which makes it possible to optimize their implementation.
- Independence of operation provides an opportunity to increase the reliability of the MSA as a whole.
- High quality of individual MSA components. They are easy to develop and test, reminiscent of the UNIX philosophy [15].
- Focus on business functionality. This means that microservices can be used in several contexts, in more than one business process [16].
- Flexibility in system load balancing. MSA provides the ability to manage the load of its microservices and their individual scaling.

Restrictions on the use of microservice architecture

1. Organization of interaction of microservices in the whole system. It correlates with the number of processes involved. MSA has many more interoperable parts than monolithic architectures. This requires additional effort in planning, automation, control, monitoring, testing and deployment.

2. Costs. Microservices require the use of a larger total amount of memory than in a monolithic architecture, due to the need to organize isolated environments, as well as the cost of organizing communications between them (interfaces, protocols, communication channels, etc.) .

3. Security issues. Microservices require security solutions due to the availability of inter-service communication over computer networks.

4. Decrease in productivity in comparison with monolithic systems. The reason is the occurrence of additional delays in the exchange of data between microservices. Therefore, it needs to solve problems with the correct design of queues, asynchronous processing and balancing.

5. Problems of inconsistency. Unlike monolithic systems, in MSA errors when updating individual microservices can lead to a violation of desynchronization.

Microservice Architecture

Consider the construction of MSA. In essence, a microservice is a process, function, or set of functions that accepts incoming requests and performs certain actions. Interaction of microservices with the environment takes place through API (Application Programming Interface) and computer networks. Microservices are structured in tiers. The number of their purposes is determined by the architecture of the entire system. The most common are:

- Front-End - Client Application, Static Content
- Back-End - API Gateway, Experience Microservices, Domain Microservices
- Data & Integration - Data Stores, Integration Interfaces / Connectors

Logical tiers

Client program

In the case of web-based ELS, the client is a web browser or mobile application. The client (web browser) interacts with Backend to render the UI and call the API (fig. 1,2).

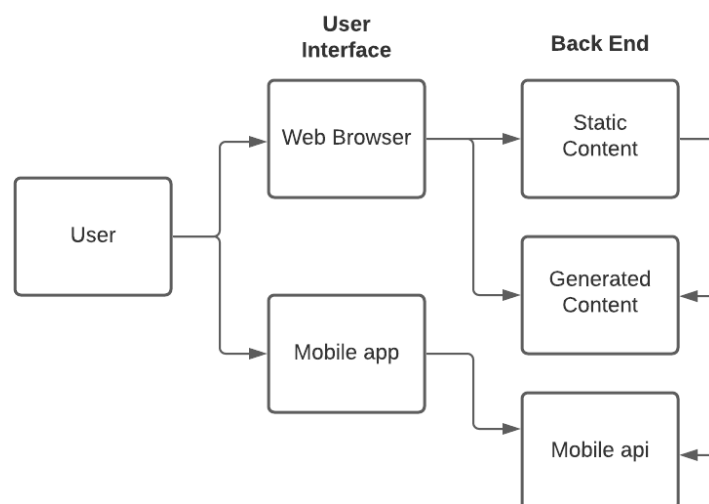


Figure 1 – General scheme of client-server architecture

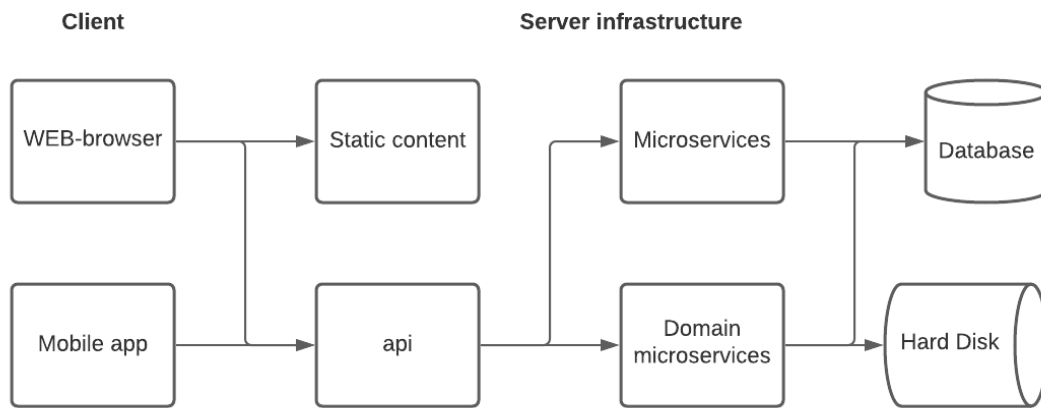


Figure 2 – Client-server architecture with static and dynamic content

For efficient operation, the responsibility for static components (UI) and logical components is usually divided. The latter also have problems with access control, caching and server-side rendering.

Gateway API

In ELS API Gateway represents a single point of access to Experience APIs (client modules). API Gateway is an important component of system management (API Management). This service sends requests backend service and is responsible for the following functionality:

- Access control
- Security Policies
- Request handling
- Caching
- Upstream / Downstream data transfer
- Rate limiting
- Throttling
- Analytics

Experience microservices

In ELS with a developed ecosystem, the number of microservices can be quite large, and it is important to maintain guaranteed control over them. In this case, tiered structuring is used. For ELS, the top tier is the Experience tier, which houses the micro-services of the web API, mobile-API and API of other external systems.

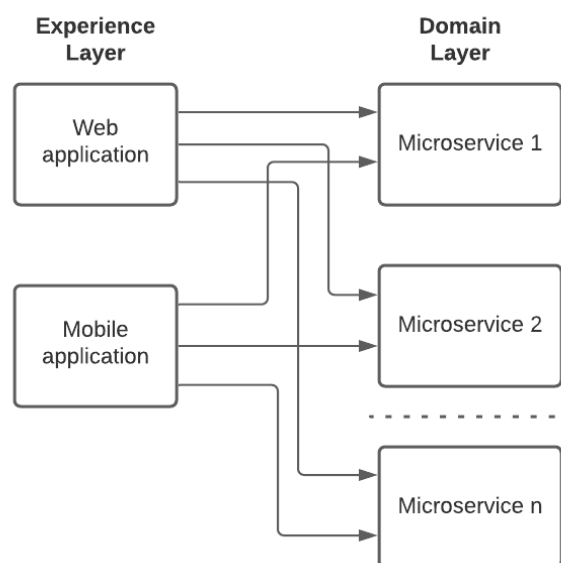


Figure 3 – Experience Layer

They focus on client interfaces and data using the low-level granular APIs available to them on the system. Thus, different products for web and mobile clients (Experience Layer) can use different sets of Experience-API, represented by independent microservices on the API gateway.

Domain microservices

Domain microservices in ELS are used to implement the appropriate functionality, such as authentication subsystems, business logic, storage and access to training materials, testing, etc. Individual subsystems can be represented by several microservices. Domain microservices organize granular APIs next to the experience tier. If experience services are focused on users and products, then domain microservices are responsible for the data and resources under their control. They provide the ability to create different experience services that can reuse the domain logic available to them.

Databases

Databases in ELS are a well-developed structure. But access to them is usually provided only to one microservice. All other microservices have access to the database only through the database owner microservice API. This approach allows you to maintain the consistency and structure of the database. In addition, it allows the use of the most appropriate types of databases for specific ELS purposes. For example, one microservice may use a normalized SQL database and another a NoSQL database. It is assumed that one microservice can operate multiple databases simultaneously (Fig. 4).

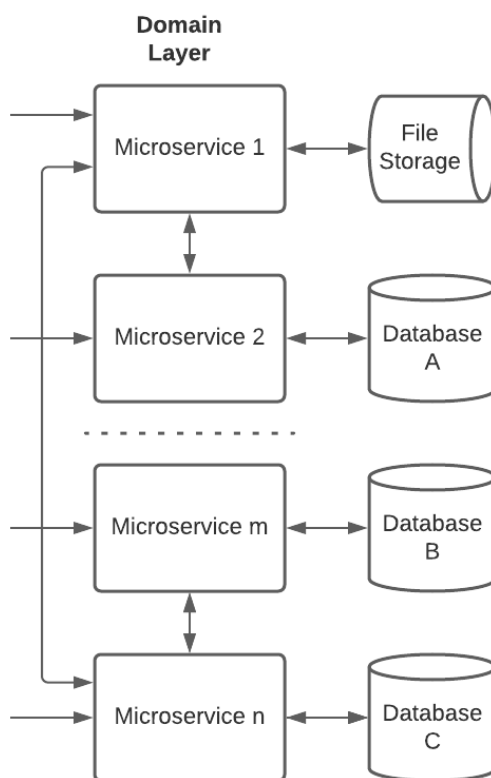


Figure 4 – Database Domain Layer

Integration interfaces and connectors

The MSA ELS can use an integration tier with microservice connectors to access other subsystems and third-party APIs.

Interservice communication

Microservices must process requests and provide the possibility of interaction according to the interprocess communication protocol. The interaction of microservices during the execution of requests should not affect their availability during the execution of requests. The solution is asynchronous messaging in MSA. The main types of inter-service communication of MSA components can be represented by two types: synchronous and asynchronous. Depending on requirements, the following variants are actual:

- synchronous blocking
- synchronous non blocking

- asynchronous blocking
 - asynchronous non blocking
- Their implementation is presented as follows:
- request / asynchronous response - exchange queries with pending response
 - publish / asynchronous response - publishing a request to recipients waiting for answers
 - request / response - exchange queries with pending immediate response
 - notifications - send a message without waiting for a response.
 - publish / subscribe - publishing a message to recipients

Interaction of components in MSA

The implementation of inter-service communication is also based on the use of certain architectural solutions and network protocols, both high and low level.

The basic protocols for the implementation of high-level API of inter-service communications are the architecture REST [17-19] with HTTP and GraphQL.

REST-approach involves the management of a particular system service resources of other components of the system. When performing requests, the microservice operates with different instances of this component, for example, changing its properties and parameters or relaying them for further processing to other microservices.

The HTTP specification [20--22] contains a number of features that cover most of the needs for the implementation of cross-server communication based on REST. Thus, the HTTP protocol has methods GET, POST and PUT, which already allow to fully implement the interaction in the system. Typically, MSA data formats for inter-component exchange depend on the protocols and specific requirements. It can be used in both simple plain text forms and various representation forms, such as JSON, XML, etc. GraphQL provides an API implementation approach where microservices can define the structure of the required data in their queries and thus prevent the transmission of redundant information. GraphQL also provides the ability to build multifunctional APIs that optimize the MSA infrastructure.

Fault tolerance

Fault tolerance in MSA is determined by parameters such as Latency. It means delays in data exchange and Exceptions (exception handling):

- Timeout - to guarantee response time
- Retrytime - to automate retries in case of network degradation
- Circuit Breaker - to control in case of cascading errors
- Deadline- to control long requests that depend on many services
- Rate Limiter- to control load according to SLA (Service Layer) Agreement)

Data consistency

For data consistency MSA may be a serious problem because its database can have a structure distributed between microservices and can have multiple data sources. The latter involves the use of distributed transaction management mechanisms. Implementing, maintaining, and maintaining distributed transaction processing systems can be quite complex. Also, the use of existing solutions limits such projects to supported technologies.

Therefore, for microservices it is necessary to use transactions in the event-driven approach (Event-Driven Architecture) with two logical entities: messages and events [23-25].

Messages are part of systems based on message brokers. In such systems, messages are sent and queued. At a certain point in time, the consumer receives the message and executes the content without feedback from the source of the message on the principle of "fire and forget". The message format can be arbitrary (text, numbers, JSON, XML, etc.), which simplifies coordination between individual agents.

Events, in turn, have logically complete contextual information and a clearly defined structure of the resulting data. Event bus is used for their management (processing, storage, streaming) [23-25]. Events can be stored up to a specific time for event replay or audit.

Implementation of event-oriented MSA models

The SAGA pattern [25-27] can be used to ensure global data consistency using a sequence of local transactions. Its essence is based on the principle that the microservice publishes an event for each transaction, and the next transaction is initiated based on the results of the event. This can be done in two different ways, depending on the success or failure of the transaction. This approach involves maintaining data consistency between microservices, managing errors, establishing consistency, and coordinating transactions between them.

Choreography

It is assumed that each microservice performs a transaction and generates a message that similarly triggers transactions in subsequent microservices. In the event of an error in any link in such a chain, all previous transactions are canceled (Fig. 5, Fig. 6). Thus the consistency is maintained but the productivity of the system becomes low [27].

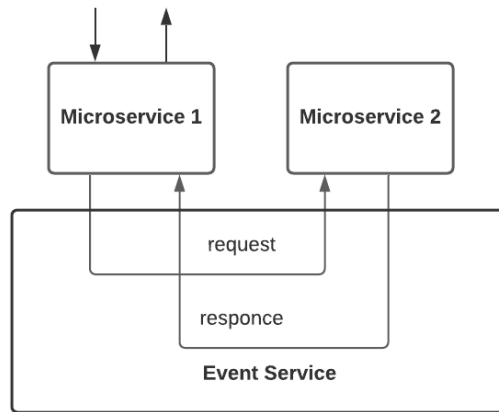


Figure 5 – Transaction scheme

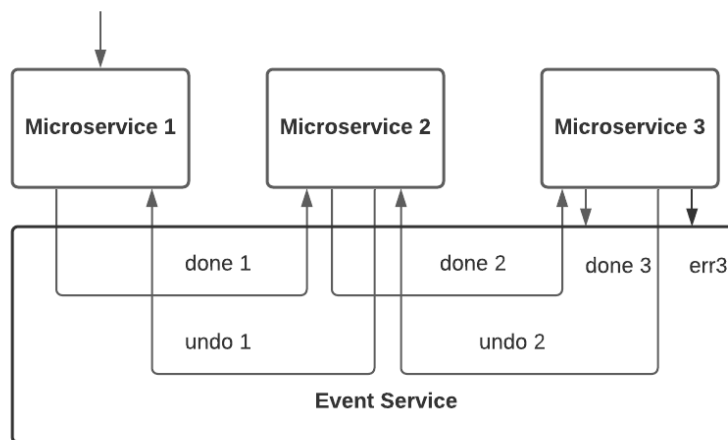


Figure 6 – Multiservice transaction scheme

Orchestration

In this case, an agent is used that sequentially initiates transactions with each microservice [27]. As in the case of choreography, the occurrence of an error with any microservice cancels all previous transactions. Orchestration can be used to search for events in their list in the event source. Each time the state of the system changes, a new one is added to the list of events, which is essentially atomic. Due to this, the orchestrator reproduces the current state of the essence, reproducing events (Fig. 7). In MSAs, which have a large number of events, to optimize the load, the system must periodically store the current state of the entities (Event Sourcing), which allows it to quickly restore their desired state.

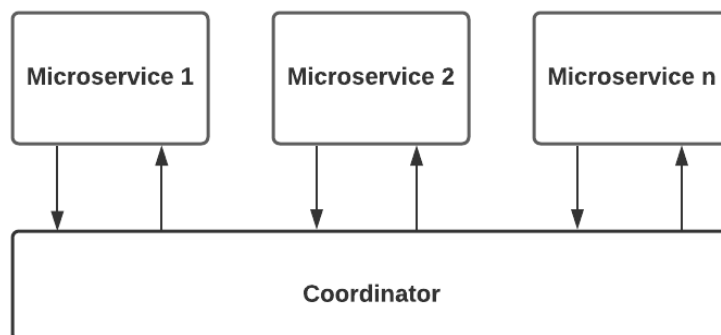


Figure 7 – Orchestration scheme

The advantage of the SAGA pattern is that the application is allowed to maintain data consistency between microservices without the use of distributed transactions, although the construction model becomes much more complex than for monolithic systems.

CQRS pattern

Command Query Responsibility Segregation (CQRS) allows MSA to take advantage of read and write pattern sharing. In the MSA, this may be the implementation of requests that receive data from multiple microservices. The purpose of using CQRS is also to maintain consistency of data and information about the state of the system. CQRS provides the ability to skip all claims checks in the current system, which improves its performance. CQRS simplifies the organization of the system by addressing its state and changing its state separately. The system must update the event replica of the domain to which the data belongs.

Advantages of CQRS:

- Ability to support many denormalized scalable datasets
- Separation of problems of obtaining status and implementation of teams
- The need to organize architecture for all sources of events

Disadvantages:

- Difficulty of implementation
- Delays replication

Pattern ESP

For ELS, Event Streaming Processing (ESP) technology is effective for operational analysis of participants' activities, the results of current data, such as knowledge testing, etc.

ESP - applies an event streaming architecture to ensure that software components run in real time without communication and scaling. It includes the processing and visualization of events, their storage, processing of event streams or data in order to identify the necessary information. Search and processing use methods that are characteristic of streaming systems such as event correlation, event hierarchy, causality, analysis of component events and time series.

For ELS, ESP technology is effective for operational analysis of participants' activities, the results of current data, such as knowledge testing, etc.

ELS infrastructure

ELS are in the stage of permanent development in the course of their life cycle. Their complex MSA requires the use of a scalable and high-availability microservice solution. Maintenance and development of such systems with a large number of microservices is a very complicated and complex task that requires not only the implementation of the necessary functionality, speed and stability, but also scalability. From this point of view, ELS must have an appropriate optimized architecture (Fig. 8).

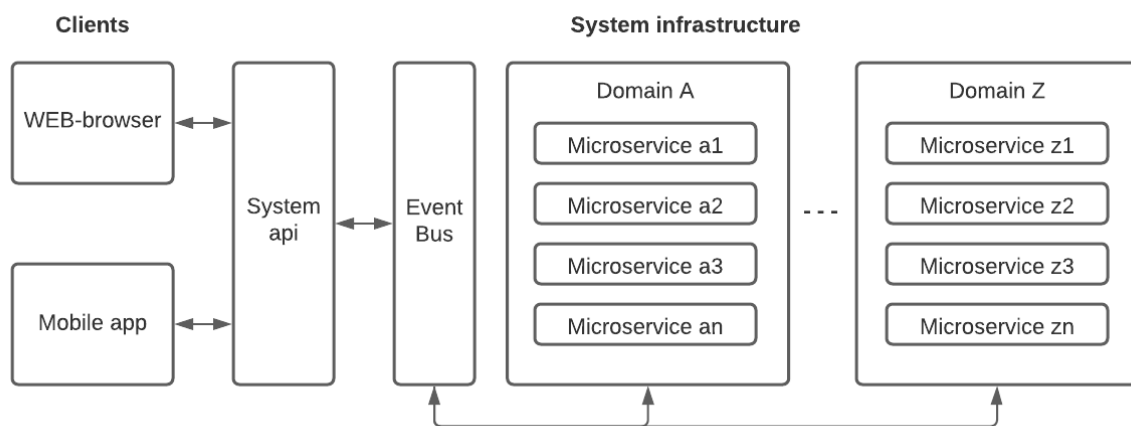


Figure 8 – Event-driven domain-based decoupling

One way to optimize is to use a domain-oriented architecture based on grouping microservices by functional domains (context). In such systems, domains interact through the event bus. Within each domain (context), services can interact with each other either through an API or through their own event bus. The subsystems built in this way are smaller and get better parameters of controllability and autonomy.

Organization of microservice architecture in ELS

The ELS microservice architecture depends on the organization of business processes, functionality, load balancing on system components, building databases, security requirements, reliability requirements and other parameters.

Given that ELS are multi-user systems, the requirements for their reliability are one of the most important tasks. From this point of view, the defragmentation of the monolithic ELS core into individual microservices that are able to perform their tasks autonomously is a rational solution. In addition, this approach can significantly increase the level of safety by isolating processes, as well as increase the load capacity through balancing and scaling.

When organizing the general architecture, separate groups of microservices should be combined into domains according to the functional contours of ELS, such as the student's domain, the teacher's domain, the dean's office domain, etc. Individual microservices can perform common functions between individual domains, such as the authentication module and the learning resources module between teachers and students.

In Fig.9 presents one of the options for building a student contour domain based on WEB-technologies. WEB-browsers and mobile applications are communication agents here. The HTTP protocol can be used for their communications in combination with data packing methods such as JSON, XML [28], etc.

The System API module provides authentication of client parts and the necessary interface for their interaction with the server part of the system, as well as data scheduling via Bus Event between domains and microservices of the system.

The Training materials domain provides teachers and students with access to resources of the streaming type (audio / video) and file type (text, hypertext, images, files...).

The Communications domain operates text and file exchange subsystems such as chats, forums, and social networks. The peculiarity of building its internal API is that domain resources can be represented by internal and external resources.

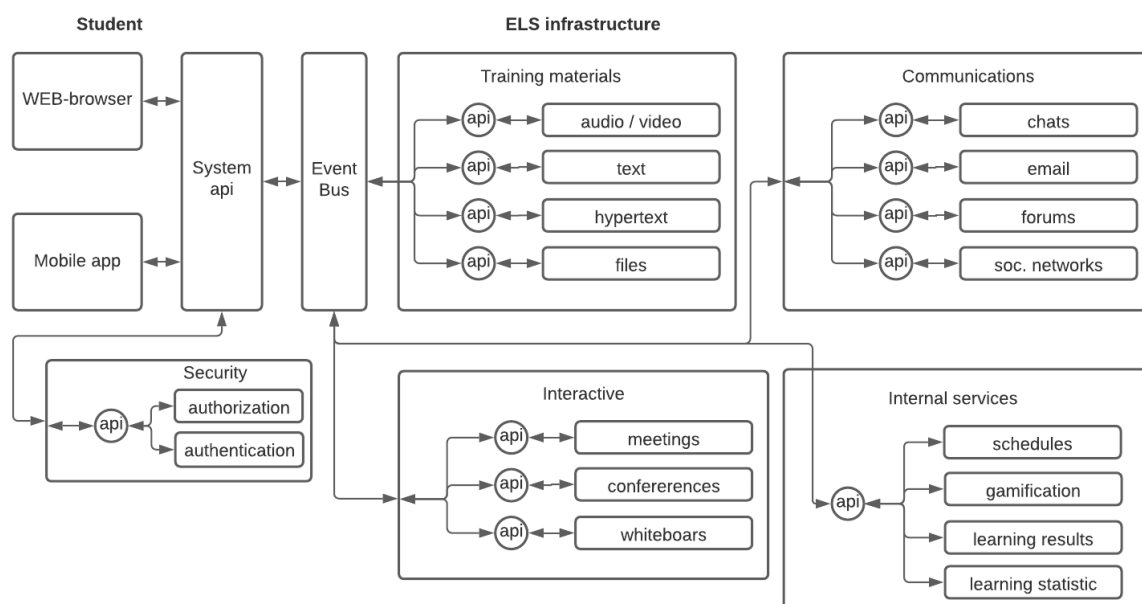


Figure 9 – MSA domain of ELS student's contour

Therefore, in addition to data exchange support functions, such API can also provide system authentication in external services. The interactive communications domain supports streaming services such as audio and video chats, video conferencing, broadcasts, whiteboards, and more. The Internal services domain operates data processing products mainly from the entire ELS database. Figure 10 shows the MSA domain contour of the teaching part of ELS. It has components in common with the student part (WEB-interface, authentication and authorization subsystems), but differs in the presence of specific services for this task, namely:

- Personal repository of the teacher, which is designed to collect and use data on educational, scientific and other materials of the teacher.
- An institutional repository that presents official school files and has an API for interacting with teachers' personal repositories.
- Educational materials management subsystem.

- Student performance journals
- Document management subsystem (ELS), which is used to support the learning process of students, analysis of the effectiveness of their use by students.
- CV, teacher's portfolio, content for personal pages and teachers' sites.
- Archives of documents and educational materials



Figure 10 – MSA domain of ELS teacher's contour

Figure 11 presents the MSA domain of the ELS deanery contour.

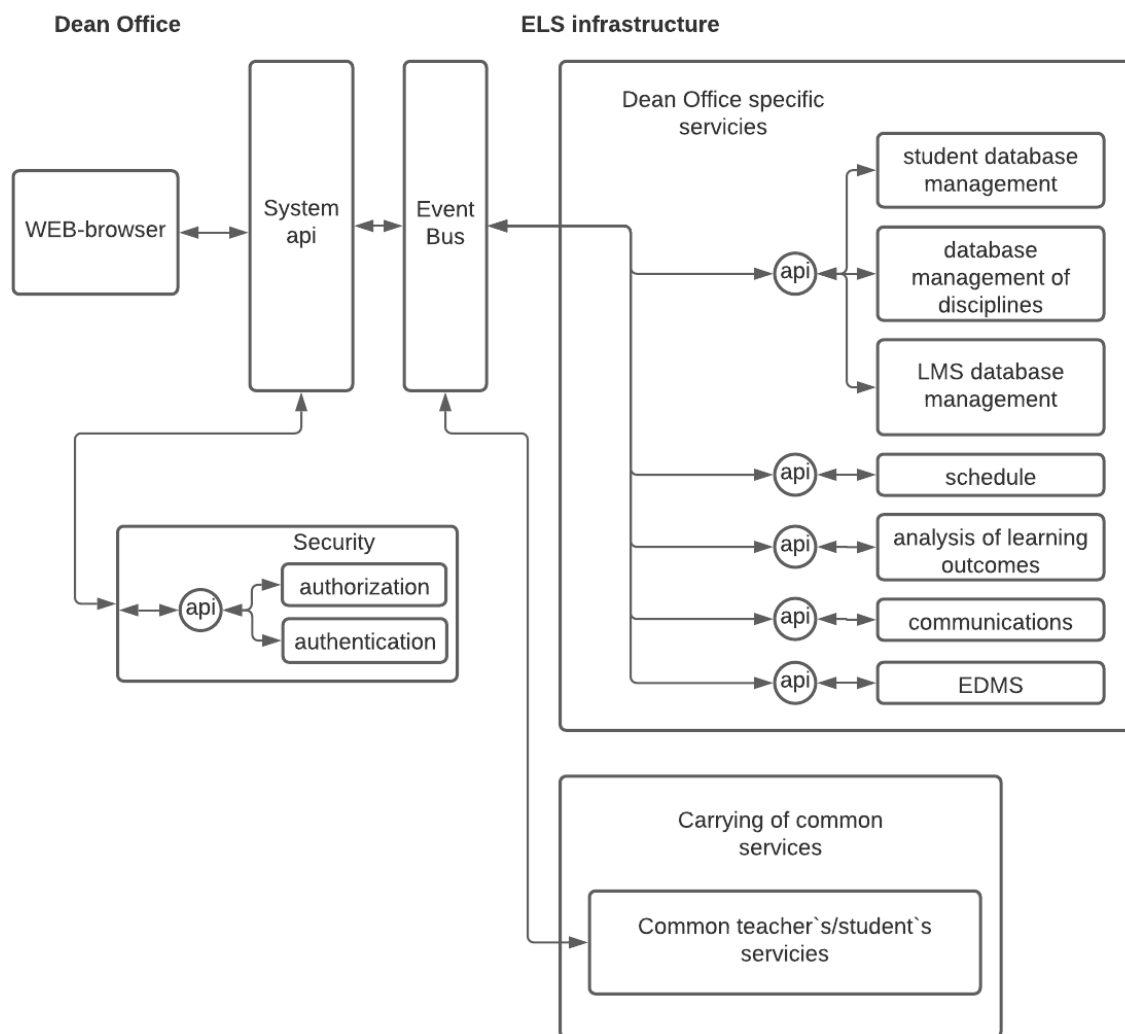


Figure 11 – MSA domain of ELS deanery contour

Results

The proposed ELS architecture and principles of construction are implemented in the support system of the educational process JetIQ at Vinnytsia National Technical University [29-34]. The main part of JetIQ subsystems, clusters and microservices is located on virtual machines and containers on university servers. The project's microservices are implemented on LAMP-technologies using MySQL relational databases. Some microservices are located in the Google Cloud Platform cloud services.

Data exchange between microservices is based on RESTful Web API [19]. Data exchange formats - JSON [28], XML, HTML [20,22]. The orchestration of the system is based on LXC technology [35,36].

By 2021 the system has the following parameters (Table 1).

Table 1 – Results of MSA JetIQ implementation

Category	Parameter	Value
Users	Students	11,348
	Student groups	2,483
	Staff	1,708
Training and scientific resources	Course Materials	18,765
	Publications	32,194
	Navigators of educational resources	4,972

	Electronic tests	4,499
	Obtained answers to the question of electronic tests	4,463,799
E-dean	Lists of exams	40,809
	Scores	378,728
Electronic timetable	Lessons	49,830
Repositories (publications)	Science	31,682
	Documentary	2,498
	Personal docs.	71,441
Mobile applications (users)	JetIQ Student	3,706
	JetIQ Teacher	164

During operation from 2016 to 2021, a comparison of the monolithic prototype JetIQ and its microservice version was conducted. There has been a significant increase in the stability and reactivity of the MSA version due to load balancing and balancing between its subsystems. The microservice architecture has also increased the level of security by isolating microservices and using a multi-level authentication system.

Conclusions

The paper analyzes the aspects and technologies of using microservice architecture in e-learning systems. It is shown that MSA architecture allows to increase the reliability and stability of functioning due to relative autonomy of its separate microservice components. ELS microservice architecture has high scalability, including through the use of cloud technologies. The complexity of such systems is maintaining the state, synchronization and consistency of data.

References

- [1] Goce Armenski, Marjan Gusev, "ARCHITECTURE of Modern e-learning Systems", *The 6th International Conference for Informatics and Information Technology*, pp. 38-42, 2008. [Online]. Available: <http://ciit.finki.ukim.mk/data/papers/6CiiT/6CiiT-09.pdf>.
- [2] Blinco K., Mason J., McLean N., Wilson S. (2004), Trends and issues in e-learning infrastructure development, A White Paper for alt-i-lab 2004 Prepared on behalf of DEST (Australia) and JISC-CETIS (UK).
- [3] Moodle. [Online]. Available: <https://moodle.org>.
- [4] Elektronna sistema upravlinnia VNZ "Sokrat". [Online]. Available: <https://socrates.vsau.org>.
- [5] Elektronna sistema upravlinnia VNZ "JetIQ". [Online]. Available: <https://jetiq.vntu.edu.ua>.
- [6] OPENedX. [Online]. Available: <https://open.edx.org>.
- [7] edX. [Online]. Available: <https://edx.org>.
- [8] Canvas. [Online]. Available: <https://www.instructure.com>.
- [9] Prometheus [Online]. Available: <https://prometheus.org.ua>.
- [10] Liang, P.-H., Yang, J.-M.: Virtual Personalized Learning Environment (VPLE) on the Cloud. In: Gong, Z., Luo, X., Chen, J., Lei, J., Wang, F.L. (eds.) WISM 2011, Part II. LNCS, vol. 6988, pp. 403–411. Springer, Heidelberg (2011).
- [11] Coursera. [Online]. Available: <https://coursera.org>.
- [12] Udemy. [Online]. Available: <https://udemy.com>.
- [13] Cisco Networking Academy. [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/m/en_sg/sec-offerings/index.html.
- [14] Adobe Captivate Prime LMS. [Online]. Available: <https://www.adobe.com/ua/products/captivateprime/prime-rfi.html>.
- [15] Unix philosophy. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Unix_philosophy.
- [16] Patterns of Enterprise Application Architecture. With David Rice, Matthew Foemmel, Edward Hieatt, Robert Mee, and Randy Stafford. Addison-Wesley. ISBN 0-321-12742-0.
- [17] Fielding, Roy Thomas (2000). "Chapter 5: Representational State Transfer (REST)". *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures (Ph.D.)*. University of California, Irvine. [Online]. Available: <https://www.webcitation.org/67gOwyTek?url=http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>.
- [18] Erl, Thomas; Carlyle, Benjamin; Pautasso, Cesare; Balasubramanian, Raj (2012). "5.1". *SOA with REST: Principles, Patterns & Constraints for Building Enterprise Solutions with REST*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall. ISBN 978-0-13-701251-0.
- [19] Richardson, Leonard; Amundsen, Mike (2013), *RESTful Web APIs*, O'Reilly Media, ISBN 978-1-449-35806-8.
- [20] Hypertext Transfer Protocol – HTTP/1.1. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc2616>.

- [21] Berners-Lee, Hendler, and Lassila, 2001; Markoff, 2006; Jensen, 2007.
- [22] Fielding, Roy (June 2014). "Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Semantics and Content, Section 4". IETF. Internet Engineering Task Force (IETF). RFC 7231. Retrieved 2018-02-14.
- [23] Apache Kafka. [Online]. Available: <https://kafka.apache.org>.
- [24] RabbitMQ. [Online]. Available: <https://www.rabbitmq.com>.
- [25] Redux-Saga. [Online]. Available: <https://redux-saga.js.org>.
- [26] Pattern SAGA. [Online]. Available: <https://microservices.io/patterns/data/saga.html>.
- [27] SAGA Pattern. [Online]. Available: <https://docs.aws.amazon.com/prescriptive-guidance/latest/modernization-data-persistence/saga-pattern.html>.
- [28] Java XML and JSON: Document Processing for Java SE. Jeff Friesen. Apress; 2nd ed. edition (January 11, 2019), ISBN 1484243293, 546 pages.
- [29] Y. Palamarchuk., O. Kovalenko, "Optimization of electronic test parameters in learning management systems", CEUR Workshop Proceedings, v. 2762, pp. 98 – 109. 2020 2nd International Workshop on Information-Communication Technologies and Embedded Systems, ICTES 2020, Virtual, Mykolaiv, 12 November 2020, null, 165503.
- [30] O. V. Bisikalo, Y. A. Palamarchuk, O. O. Kovalenko, "Results of implementation of the pilot project of management system for learning and concomitance of the educational, methodological and scientific activities "JetIQ", *Materialy 9-yi naukovo-praktychnoi konferentsii, m. Lviv, 21-23 lystopada 2017 r.* – Lviv : Vydavnytstvo Naukovoho tovarystva im. Shevchenka, 2017, s. 73-77.
- [31] Oleg Bisikalo, Olena Kovalenko, Yevgen Palamarchuk, "Models of Behavior of Agents in the Learning Management System", *Materialy XIV-oi Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Komp'uterni nauky ta informatsiini tekhnologii (CSIT -2019)".* Lviv, Ukraine, 2019, tom 3, s. 222-227.
- [32] Kovalenko Olena, Palamarchuk Yevhen, "Kontury systemy upravlinnia navchanniam: tradytsiine, zmishane ta dystantsiine navchannia", «INTERNET-OSVITA-NAUKA-2020», *XII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia ION-2020, 26-29 travnia.* Vinnytsia, Ukraine: VNTU 2020, s. 230-231.
- [33] Yevhen Palamarchuk, Olena Kovalenko, "Algorithms of blended learning in IT education", *XIII International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Informational Technologies (CSIT), 11-14 September.* Lviv, Ukraine, 2018, pp. 382-386.
- [34] Senthil Kumaran S., *Practical LXC and LXD: Linux Containers for Virtualization and Orchestration.* Apress, 2017, 159 c.
- [35] Konstantin Ivanov, *Containerization with LXC.* Packt Publishing, 2017, 352 c.
- Стаття надійшла: 25.12.2021.

Відомості про автора

Паламарчук Євген Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та інтелектуальних інформаційних технологій.

Є. А. Паламарчук

МЕТОДИ ПОБУДОВИ МІКРОСЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

УДК 004.95

О. Н. Романюк¹, М. С. Курінний¹, О. В. Романюк¹, С. В. Котлик², А. В. Снігур¹

АНТИАЛІАЙЗИНГ ЗОБРАЖЕННЯ ТРАЄКТОРІЇ ГІПЕРБОЛИ

¹Вінницький національний технічний університет, Вінниця²Одеська національна академія харчових технологій, Одеса

Анотація. На сучасному етапі розвитку комп'ютерної графіки особлива увага приділяється підвищенню реалістичності синтезованих зображень. Одним з факторів, що суттєво впливають на реалістичність зображення, є ефект аліаїзingu, який спричинений недостатньою роздільною здатністю пристроїв відображення та проявляється у вигляді чітко виражених „зубців” на краях графічних об'єктів.

Розглянуто особливості формування крокових пристроїв для різних ділянок формування траєкторії гіперболи. Отримано рекурентні вирази для обчислення оцінювальної функції, знак якої визначає тип елементарного переміщення. Запропоновано алгоритм визначення координат точок траєкторії гіперболи. Запропонований алгоритм не містить „довгих” операцій, що забезпечує його високу швидкодію та простоту апаратної реалізації.

Розглянуто особливості формування траєкторії гіперболи з крахуванням інтенсивностей точок фону та переднього плану.

Розроблений метод може бути використаний в системах високореалістичної комп'ютерної графіки, системах автоматизованого проектування.

Ключові слова: антиаліаїзingu, згладження, крайовий антиаліаїзingu, інтенсивність кольору, гіпербола, крокова траєкторія, оцінювальна функція.

Abstract. At the present stage of development of computer graphics, special attention is paid to improving the realism of synthesized images. One of the factors that significantly affects the realism of the image is the aliasing effect, which is caused by insufficient resolution of display devices and manifests itself in the form of pronounced "teeth" on the edges of graphics.

Peculiarities of step increments formation for different areas of hyperbola trajectory formation are considered. Recurrent expressions are obtained to calculate the estimating function, the sign of which determines the type of elementary displacement. An algorithm for determining the coordinates of the points of the hyperbola trajectory is proposed. The proposed algorithm does not contain "long" operations, which ensures its high speed and ease of hardware implementation.

Peculiarities of hyperbola trajectory formation with cracking of intensities of background and foreground points are considered.

The developed method can be used in systems of highly realistic computer graphics, computer-aided design systems.

Key words: antialiasing, anti-aliasing, marginal antialiasing, color intensity, hyperbola, step trajectory, evaluation function.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-55-63>.

Вступ

На сучасному етапі розвитку комп'ютерної графіки особлива увага приділяється підвищенню реалістичності синтезованих зображень [1-3]. Одним з факторів, що суттєво впливають на реалістичність зображення, є ефект аліаїзingu [4-14], який спричинений недостатньою роздільною здатністю пристроїв відображення і проявляється у вигляді чітко виражених „зубців” на краях графічних об'єктів. Проведені дослідження показали, що при використанні 17” монітора і розміщенні спостерігача на відстані 65 см від екрана для повного усунення ефекту аліаїзingu потрібен монітор із роздільною здатністю як мінімум 4000x4000 пікселів, а для людей із рівнем зору вище середнього - взагалі 8000x8000 пікселів. Сучасний рівень технологій поки що не в змозі забезпечити таку роздільну здатність, тому для забезпечення реалістичності синтезованих зображень у системах комп'ютерної графіки використовують спеціальні методи та засоби усунення ступінчастого ефекту.

Аналіз літературних джерел

Для задач антиаліаїзingu використовуються різні методи.

Одним із найпоширеніших є метод надлишкової вибірки [4], який оснований на збільшенні дискретизації. Суть методу полягає в тому, що зображення сцени обчислюється з роздільною здатністю більшою ніж у пристрою відображення, а перед відображенням на екрані зменшують шляхом усереднення. Даний метод має просту апаратну реалізацію та може бути легко інтегрований в існуючі системи комп'ютерної графіки. Основним недоліком методу є його низька швидкодія, оскільки при збільшенні дискретизації в n разів, кількість пікселів, а отже, і кількість обчислень на один піксел, збільшується в n^2 разів. Метод передбачає використання додаткової пам'яті та підвищення пропускну здатності шини пам'яті.

У більшості існуючих методів растрезації значення інтенсивностей кольору обчислюють лише в центрах пікселів. У методі додаткових вибірок [4, 9] розраховують інтенсивність кольору в декількох допоміжних точках всередині піксела. Значення цих підвибірок потім усереднюють для отримання результуючої інтенсивності кольору всього піксела. Якість згладжування залежить від кількості додаткових вибірок та від їхнього розташування всередині піксела. Збільшення кількості точок вибірки покращує якість зображення, але одночасно підвищує потребу в додатковій пам'яті та призводить до зниження швидкодії.

М. Діпе та Е. Уолт [5] запропонували стохастично розташувати додаткові точки вибірки. Даний метод оснований на тому, що випадкові положення підвбірок для людського ока виглядають як "тривалий шум". Таким чином, один артефакт (алайзинг) замінюється іншим, до якого людське око менш чутливе.

Основним недоліком такого підходу є великі обчислювальні витрати, обумовлені тим, що потрібно не менше 16 випадково розподілених підвбірок на піксел для досягнення потрібного рівня "неперервного шуму". При меншій кількості підвбірок метод також працездатний, але шум стає більш помітним для людського ока.

Основні недоліки даних методів полягають у великій обчислювальній складності, що суттєво впливає на швидкість формування зображення, а також у використанні великих масивів оперативної пам'яті. У зв'язку з цим актуальними є питання зменшення кількості вибірок за рахунок аналізу зображення тільки у безпосередній близькості від меж графічних об'єктів

Характерна особливість аналітичних методів полягає в тому, що під час дискретизації неперервного зображення враховуються технічні характеристики пристроїв відображення. У загальному вигляді для обчислення інтенсивності кольору пікселя використовується вираз [14]:

$$I_A(P_x, P_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I_{ideal}(x, y) \cdot F(x - P_x, y - P_y) dx dy, \quad (1)$$

де I_A – інтенсивність кольору пікселя з координатами (P_x, P_y) (у випадку кольорового зображення окремо обчислюють інтенсивність кожної з трьох складових компонент кольору); $I_{ideal}(x, y)$ – аналітична функція, яка задає інтенсивність кольору в кожній точці простору; $F(x, y)$ – модель пікселя, тобто, функція, яка описує просторове розподілення світла, що випромінюється пікселем.

Дану функцію часто називають функцією фільтра. У загальному випадку обчислення виразу (1) для довільної аналітичної функції опису зображення та довільної моделі пікселя є достатньо складною математичною задачею, яка потребує великих обчислювальних витрат. Тому в більшості розроблених на даний час аналітичних методах антиалайзингу [6-13] розглядається частковий випадок знаходження інтегралу (1) для обмеженого класу графічних примітивів і функцій фільтра.

Для основних графічних примітивів, таких як відрізок прямої [6], багатокутник [7], коло [8, 9], еліпс [10, 11], гіпербола існують досить прості аналітичні вирази, що описують їхні геометричні властивості. Використання певних математичних моделей пікселя дозволяє отримати відносно прості з обчислювальної точки зору методи антиалайзингу. Такі методи отримали назву крайового антиалайзингу, оскільки, як правило, розглядають лише пікселі розташовані на краях об'єктів. Для кожного виду графічних примітивів використовуються різні підходи, що порівняно з методами надлишкової вибірки є певним недоліком. Проте аналітичні методи характеризуються значно меншою обчислювальною складністю та забезпечують кращу якість згладжування, оскільки враховують особливості та обмеження пристроїв відображення.

Для задач антиалайзингу використовують різні моделі [12] пікселя залежно від необхідної точності згладження.

Мета

Мета статті – розроблення методу антиалайзингу зображення траєкторії гіперболи, який не містить довгих операцій у циклі інтерполювання

Метод антиалайзингу зображення траєкторії гіперболи

У подальшому будемо розглядати гіперболу, центр якої знаходиться в початку координат. Канонічне рівняння гіперболи має такий вигляд:

$$\frac{x^2}{B^2} - \frac{y^2}{A^2} = 1,$$

де A, B – півосі гіперболи, паралельні до відповідних координатних осей (рис. 1).

При формуванні траєкторії розглянемо дві ділянки, розділені точкою, в якій $dy/dx = 1$. У першій ділянці при кожній ітерації циклу інтерполювання виконується крок у напрямку осі y , а в другій – у напрямку осі x (рис. 1).

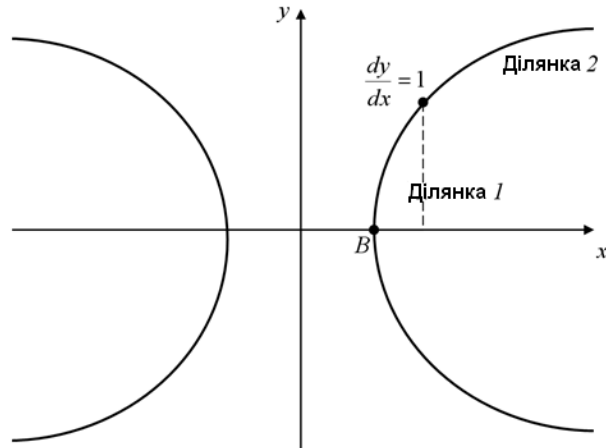


Рисунок 1 – Гіпербола

Розглянемо формування крокової траєкторії на ділянці 1. Будемо визначати координат точок за годинниковою стрілкою, починаючи з точки $(B, 0)$. Рівняння гіперболи для ділянки 1 можна записати у вигляді:

$$f(y) = \sqrt{B^2 + y^2 \frac{B^2}{A^2}}.$$

На ділянці 1 у кожному інтерполяційному такті виконується крок у напрямку осі y . Якщо на попередньому кроці було обрано піксел $(i, j-1)$, то наступний піксел обирається з тих, що мають координати (i, j) і $(i+1, j)$. Критерієм для вибору є мінімальна відстань від центра пікселя до точки $(f(j), j)$, у якій ідеальна траєкторія перетинає координатну решітку (рис. 2). Для пікселя з координатами (i, j) дана відстань може бути знайдена за формулою:

$$d(i, j) = f(j) - i. \quad (2)$$

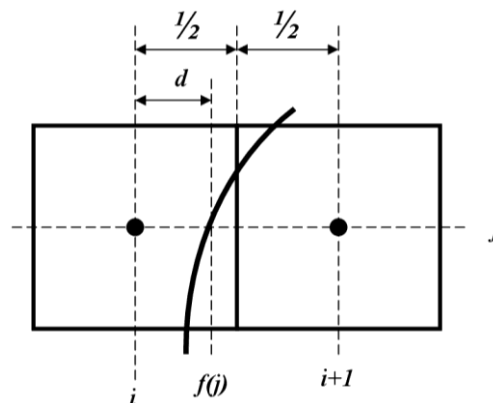


Рисунок 2 – Визначення координат точок траєкторії гіперболи

Для забезпечення максимальної точності при формуванні крокової траєкторії повинна виконуватись умова: $-0,5 \leq d(i, j) \leq 0,5$. Із урахуванням виразу (2) отримуємо нерівність: $-0,5 \leq f(j) - i \leq 0,5$, яка після перетворення має вигляд:

$$i - 0,5 \leq f(j) \leq i + 0,5 \quad (3)$$

Для визначення типу крокового приросту можна використати оцінювальну функцію вигляду:

$$OF(i, j) = (i + 0,5) - f(j). \quad (4)$$

Якщо $OF(i, j) > 0$, то виконується крок у напрямку осі y і обирається піксел (i, j) , інакше виконується діагональний крок і обирається піксел $(i+1, j)$. Для обчислення функції $f(j)$ необхідно виконати трудомістку операцію знаходження квадратного кореня. З метою спрощення обчислень значення доданків у виразі (4) доцільно замінити їх квадратами. Оскільки $f(j) \geq 0$ та $(i+0,5) > 0$, то знак функції не зміниться. В результаті отримуємо такий вираз для оцінювальної функції:

$$OF'(i, j) = (i+0,5)^2 - f^2(j). \quad (5)$$

Знайдемо рекурентні вирази для обчислення оцінювальної функції. Розглянемо, як змінюється перший доданок у виразі (5) при виконанні елементарного кроку у напрямку осі y :

$$f^2(j+1) = B^2 + (j+1)^2 \frac{B^2}{A^2} = \left(A^2 + j^2 \frac{B^2}{A^2} \right) + 2j \frac{B^2}{A^2} + \frac{B^2}{A^2} = f^2(j) + \frac{B^2}{A^2} (2j+1).$$

Нехай $L(j) = \frac{B^2}{A^2} (2j+1)$, тоді

$$L(j+1) = \frac{B^2}{A^2} (2(j+1)+1) = \frac{B^2}{A^2} (2j+1) + 2 \frac{B^2}{A^2} = L(j) + 2 \frac{B^2}{A^2}.$$

Із урахуванням останнього виразу отримуємо формулу для рекурсивного визначення першого доданка у виразі (5):

$$f^2(j+1) = f^2(j) + L(j).$$

Розглянемо, як змінюється другий доданок у виразі (5) при виконанні діагонального кроку:

$$((i+1)+0,5)^2 = i^2 + 3i + 2,25 = (i+0,5)^2 + 2(i+1).$$

Згідно з отриманими виразами можна запропонувати алгоритм визначення координат точок траєкторії гіперболи для ділянки 1, граф-схему якого зображено на рис. 3.

Аналогічно можна отримати алгоритм визначення координат точок траєкторії і для ділянки 2. Запропонований алгоритм не містить "довгих" операцій, що забезпечує його високу швидкодію та простоту апаратної реалізації. Розглянемо можливість використання виразу

$$OF'(i, j) = (i+0,5)^2 - f^2(j)$$

для усунення ефекту аліайзингу границі гіперболи.

Знайдемо вирази для розрахунку площі, що відтинається від пікселя границею гіперболи. Доведено, що всередині пікселя дугу можна замінити відрізком прямої, причому відносна похибка. На рис. 4. показано перетин траєкторією гіперболи дискретної координатної решітки.

Із рис. 4 видно, що для пікселя (x_i, y_i) площа перетину може бути знайдена за формулою:

$$S_1 = x_i + 1/2 - (f(y_i) - T/2),$$

де T – товщина траєкторії гіперболи.

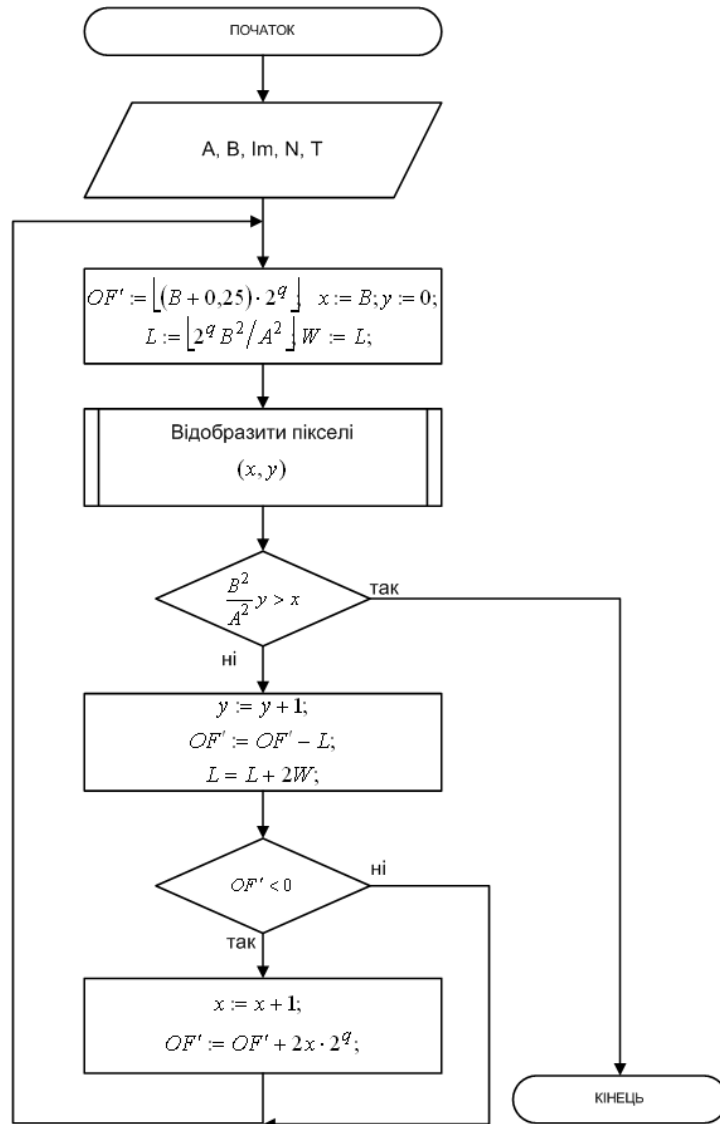


Рисунок 3 – Граф-схема алгоритму визначення координат точок траєкторії гіперболи

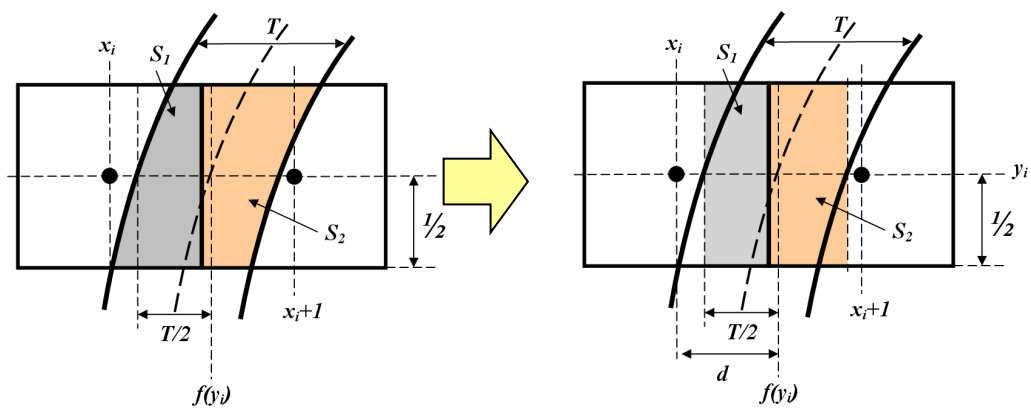


Рисунок 4 – Визначення площі покриття пікселя гіперболою

Розглянемо наближене обчислення функції $f(i)$ з використанням формули Герона

$$sqr_i = \frac{1}{2} \left(sqr_{i-1} + \frac{a}{sqr_{i-1}} \right), \sqrt{a} \approx sqr_i,$$

де sqr_0 – перше наближення до кореня; sqr_i – наближене значення виразу \sqrt{a} , отримане на i -й ітерації; $i = 0, 1, 2 \dots N$.

Для нашого випадку: $a = B^2 + y^2 \frac{B^2}{A^2}$, тому початкове наближення доцільно взяти рівним координаті пікселя: $sqr_0 = y_i$.

Після першої ітерації наближене значення квадратного кореня дорівнює:

$$sqr_1 = \frac{1}{2} \left(sqr_0 + \frac{a^2}{sqr_0} \right) = \frac{1}{2} \left(x_i + \frac{B^2 + y_i^2 B^2 / A^2}{x_i} \right).$$

Перепишемо вираз для знаходження площі покриття пікселя (x_i, y_i) із урахуванням останньої формули:

$$\begin{aligned} S_1 &= x_i + 1/2 + T/2 - sqr_1 = x_i + 1/2 + T/2 - \frac{x_i^2 + B^2 + y_i^2 B^2 / A^2}{2x_i} = \\ &= T/2 + \frac{(x_i + 0,5)^2 - f^2(y_i) - 0,25}{2x_i} = \frac{OF'(x_i, y_i) - 0,25 + Tx_i}{2x_i}. \end{aligned}$$

Інтенсивність кольору пікселя (x_i, y_i) можна визначити за формулою:

$$\begin{aligned} I_p(x, y) &= S_1(I_M - I_{ФОН}) + I_{ФОН} = \left(\frac{OF' - 0,25 + T \cdot x}{2x} \right) (I_M - I_{ФОН}) + I_{ФОН} = \\ &= \frac{OF' - 0,25 + T \cdot x}{2x} (I_M - I_{ФОН}) + I_{ФОН}. \end{aligned}$$

Для обчислення першого доданку у попередньому виразі доцільно використати алгоритм розрахунку інтенсивностей кольору, який було запропоновано [10]. Це дозволить виключити довгі операції з обчислювального процесу.

Із урахуванням наведених вище виразів отримуємо алгоритм антиаліазингу границь гіперболи для ділянки 1, який не містить довгих операцій в циклі інтерполювання та має просту апаратну реалізацію. Приклад роботи алгоритму наведено на рис. 5. Граф-схему алгоритму антиаліазингу гіперболи наведено на рис. 6.

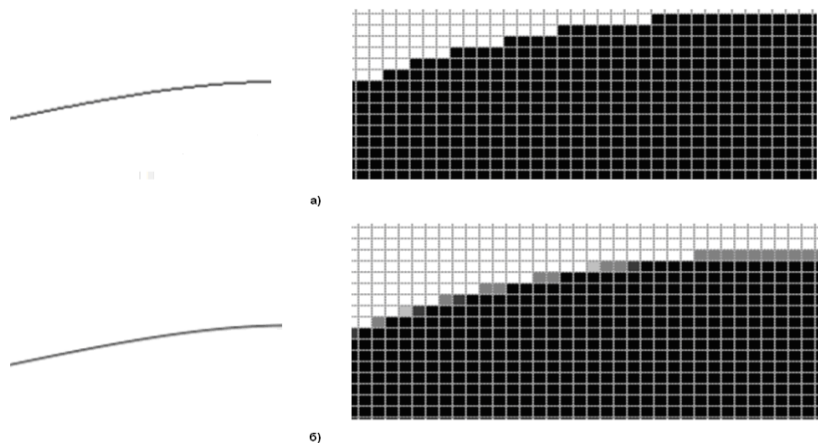


Рисунок 5 – Зображення траєкторії гіперболи: а) без антиаліазингу, б) з антиаліазингом

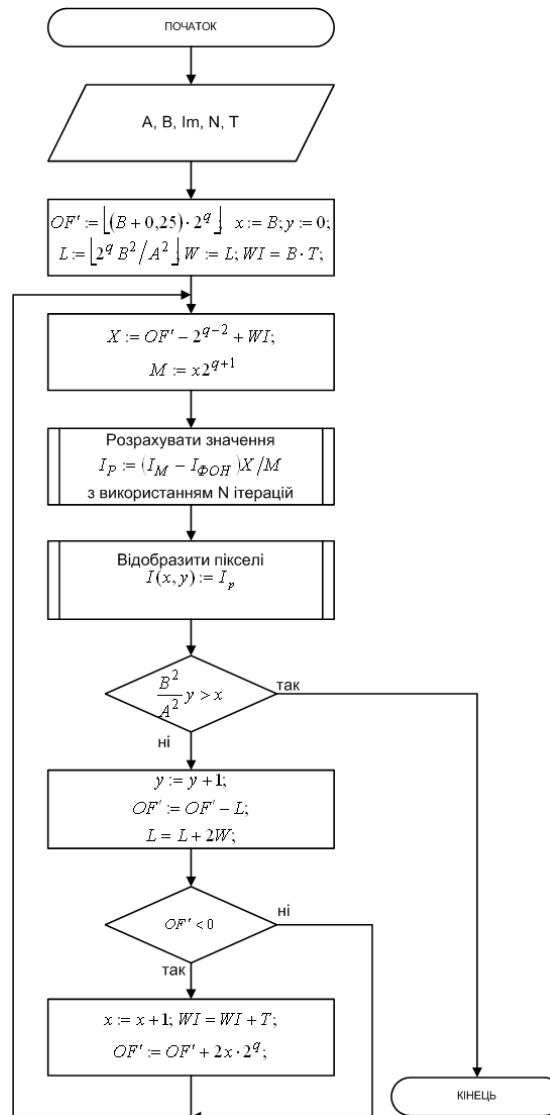


Рисунок 6 – Граф-схема алгоритму антиаліазингу границі гіперболи

Висновок

Розроблено метод до згладжування контурів гіпербол, який враховує при згладжуванні можливість зміни інтенсивності кольору точок фонового зображення та не містить довгих операцій в циклі інтерполявання, що обумовлює простоту його апаратної реалізації.

Список літератури

- [1] О. Н. Романюк, та А. В. Чорний, *Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об'єктів*, Вінниця, Україна: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006.
- [2] О. Н. Романюк, "Метод підвищення реалістичності відтворення тривимірних графічних об'єктів", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, №1(8), с. 269–272, 2016.
- [3] О. Н. Романюк, *Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник*. Вінниця: УНІВЕСУМ-Вінниця, 2001.
- [4] О. Н. Романюк, та О. В. Мельник, "Класифікація методів антиаліазингу", *Вісник Херсонського національного технічного університету*, №3(50), с.154– 160, 2014.
- [5] M.A.Z Dippé, and E.H Wold, "Antialiasing through stochastic sampling", *Computer Graphics (Proceedings of the ACM SIGGRAPH '85 Conference)*, vol. 19, no. 3, pp. 69-78, 1985.
- [6] О. Н. Романюк, М. С. Курінний, та В. О. Денисюк, "Апаратно-орієнтований метод антиаліазингу крокової траєкторії відрізків прямих", *Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць*, випуск 1(23), с. 249–254, 2008.
- [7] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, "Ефективний алгоритм антиаліазингу векторних границь багатокутника", *Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Збірник наукових праць*, с. 105–109, 2002.

- [8] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, “Антиаліазинг границі кола з використанням модифікованої оцінювальної функції”, *Вісник Херсонського державного технічного університету*, вип. 3(19), с. 206–208, 2003.
- [9] О. Н. Романюк, “Метод антиаліазингу границі кола з адаптивною схемою розташування додаткових точок”, *Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Серія «Інформатика, кібернетика і обчислювальна техніка»*, випуск 8 (120), с. 219–228, 2007.
- [10] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, “Усунення ефекту аліазингу границь еліпсів”, *Оптико – електронні інформаційно – енергетичні технології*, с. 85–92, 2005.
- [11] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, “Антиаліазинг зображення кривих другого порядку, заданих загальним рівнянням”, *Регістрація, зберігання і обробка даних*, т. 8, № 3, с. 11–19, 2007.
- [12] О. Н. Романюк, та М. С. Курінний, “Математичні моделі пікселів для задач антиаліазингу”, *Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту*, №3, с. 35–47, 2002.
- [13] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, “Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model”, *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015.
- [14] Д. Херн, и М. П. Бейкер, *Компьютерная графика и стандарт OpenGL*, Москва, Россия: Издательский дом «Вильямс», 2007.

Стаття надійшла: 23.01.2022.

References

- [1] O. N. Romanyuk, та A. V. Chornyy, *Vysokoproduktyvni metody ta zasoby zafarbovuvannya tryvymirnykh hrafichnykh obyektiv*, Vinnytsya, Ukraina: UNIVESUM-Vinnytsya, 2006 [in Ukrainian].
- [1] O. N. Romanyuk, “Metod pidvyshchennya realistychnosti vidtvorennya tryvymirnykh hrafichnykh obyektiv”, *Informatsiyni tekhnolohiyi ta komp'yuterna inzheneriya*, №1(8), s. 269–272, 2016 [in Ukrainian].
- [2] O. N. Romanyuk, *Komp'yuterna hrafika. Navchalnyy posibnyk*. Vinnytsya: UNIVESUM-Vinnytsya, 2001 [in Ukrainian].
- [3] O. N. Romanyuk, та O.V. Melnyk, “Klasyfikatsiya metodiv antyaliayzynhu”, *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, №3(50), s. 154–160, 2014 [in Ukrainian].
- [4] M.A.Z Dippé, and E.H Wold, “Antialiasing through stochastic sampling”, *Computer Graphics (Proceedings of the ACM SIGGRAPH '85 Conference)*, vol. 19, no. 3, pp. 69-78, 1985.
- [5] O. N. Romanyuk, M. S. Kurinnyy, та V. O. Denysyuk, “Aparatno-orientovanyy metod antyaliayzynhu krokovoyi trayektoriyi vidrizkiv pryamykh”, *Problemy informatyzatsiyi ta upravlinnya: Zbirnyk naukovykh prats*, vypusk 1(23), s. 249–254, 2008 [in Ukrainian].
- [6] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, “Efektyvnyy alhorytm antyaliayzynhu vektornykh hranys bahatokutnyka”, *Vymiryval'na ta obchyslyval'na tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh: Zbirnyk naukovykh prats*, s. 105–109, 2002 [in Ukrainian].
- [7] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, “Antyaliayzynh hranysi kola z vykorystanniam modyfikovanoi otsynuyvalnoyi funktsiyi”, *Visnyk Khersonskoho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu*, vyp. 3(19), s. 206–208, 2003 [in Ukrainian].
- [8] O. N. Romanyuk, “Metod antyaliayzynhu hranysi kola z adaptivnoyu skhemoyu roztašuvannya podatkovykh tochk”, *Naukovi pratsi Donetskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. – Seriya «Informatyka, kibernetika i obchyslyvalna tekhnika»*, vypusk 8(120), s. 219–28, 2007 [in Ukrainian].
- [9] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, “Usunennya efektu aliayzynhu hranys elipsiv”, *Optyko – elektronni informatsiyno – enerhetychni tekhnolohiyi*, s. 85–92, 2005 [in Ukrainian].
- [10] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, “Antyaliayzynh zobrazhennya kryvykh drugoho poryadku, zadanykh zahalnym rivnyanniam”, *Reyestratsiya, zberihannya i obrobka danykh*, t. 8, № 3, s. 11–19, 2007 [in Ukrainian].
- [11] O. N. Romanyuk, та M. S. Kurinnyy, “Matematychni modeli pikseliv dlya zadach antyaliayzynhu”, *Visnyk Zhytomys koho inzhenerno-tekhnolohichnoho instytutu*, №3, s. 35–47, 2002 [in Ukrainian].
- [12] S. O. Romanyuk, O. N. Romanyuk, S. V. Pavlov, and O. V. Melnyk, “Method of anti-aliasing with the use of the new pixel model”, *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015.
- [13] D. Khern, y M. P. Beyker, *Kompyuternaya hrafyka y standart OpenGL*, Moskva, Rossyya: Yzdatelskyu dom «Vylyams», 2007 [in Russian].

Відомості про авторів

Романюк Олександр Никифорович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри програмного забезпечення.

Курінний Михайло Сергійович – кандидат технічних наук, директор ПП Радіонет.

Романюк Оксана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення.

Котлик Сергій Валентинович – кандидат технічних наук, доцент.

Снігур Анатолій Васильович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки.

O. N. Romaniuk¹, M. S. Kurinnyi¹, O. V. Romaniuk¹, S. V. Kotlyk², A. V. Snihur¹

ANTI-ALIASING IMAGE OF HYPERBOLE TRACKS

¹ Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

²Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa

УДК 004.942

Д. Е. Ситніков, Ю. О. Андрусенко

МОДЕЛЬ RESNET ДЛЯ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОШИРЕННЯ COVID-19 В УКРАЇНІ

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Анотація. У статті розглянута модель залишкової нейронної мережі ResNet та її застосування для задачі прогнозування поширення COVID-19 в Україні. Дослідження реалізовано програмно на Python. Для навчання моделі використано часові ряди показників захворюваності та щеплень. Результати роботи моделі досліджено на точність та швидкість. Порівняльний аналіз результатів продемонстрував високу швидкість моделі ResNet відносно іншої моделі згорткових нейронних мереж InceptionTime, але точність роботи ResNet поступається.

Ключові слова: прогнозування, часові ряди, залишкова нейронна мережа, Covid-19, порівняльний аналіз.

Abstract. The article considers the ResNet residual neural network model and its application to the problem of predicting the spread of COVID-19 in Ukraine. The study was implemented programmatically in Python. To train the model, time series of morbidity and vaccination rates were used. The result of the model was investigated for accuracy and speed. A comparative analysis of the results showed the performance of the ResNet model relative to another model of convolutional neural networks InceptionTime, but the accuracy of ResNet is lower.

Key words: predicting, time series, residual neural network, Covid-19, comparative analysis.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-64-68>.

Вступ

Сьогодні Україна долає третю хвилю поширення Covid-19. З метою зупинити поширення коронавірусу уряд посилює карантинні заходи, проводиться активна кампанія з вакцинації. Та попри це, смертність від коронавірусу досягла рекордного рівня, а відділення інтенсивної терапії залишаються завантаженими.

Наслідки пандемії негативно вплинули на економіку як України, так і інших держав. Через відмову вакцинуватися наближаються хвилі скорочень співробітників в ключових сферах життя. Наразі менше половини населення мають щеплення, тому цілком можливе продовження карантинних заходів на невизначений термін.

Актуальність

В таких умовах задача прогнозування поширення Covid-19 в Україні не втрачає своєї актуальності. Чому попри всі карантинні заходи Україна має піки захворюваності та які ознаки впливають на точність прогнозу? Для відповіді на ці питання розглянуто задачу прогнозування поширення хвороби в наступній постановці.

Постановка задачі. Вхідними даними є часові ряди показників захворюваності: кількість підтверджених випадків, кількість смертей, кількість активних випадків, приріст підтверджених випадків і приріст активних випадків, кількість щеплень і приріст щеплень. Необхідно спрогнозувати приріст підтверджених випадків з мінімальною похибкою.

Мета

Метою статті є дослідження моделі ResNet та обґрунтування її застосування для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні.

Задачі дослідження

1. Застосування моделі ResNet для задачі прогнозування часових рядів.
2. Дослідження точності та швидкості моделі ResNet для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні.
3. Порівняння показників роботи моделі ResNet з іншими CNN моделями.

Розв'язання задач

Методи прогнозування часових рядів (time series, TS) умовно можна розділити на статистичні, структурні і комбіновані [1]. Серед них увагу привертають структурні методи на основі нейронних мереж (artificial neural networks, ANN) та комбінації статистичних методів та методів на основі ANN.

В сучасних публікаціях застосовують методи на основі нейронних мереж для прогнозування фінансових показників [2-3], погодних умов [4-5], забруднення повітря [6], поширення Covid-19 [7-9], тощо. Серед методів ANN варто виділити архітектури рекуррентної нейронної мережі (recurrent neural network, RNN) і згорткової нейронної мережі (convolutional neural network, CNN).

Методи на основі згорткової нейронної мережі широко застосовуються для розпізнавання зображень. Одномірні CNN ефективні для прогнозування часових рядів. Одна з таких моделей InceptionTime досліджена у публікації [10], і показала швидкість і високу точність прогнозування.

Дослідження моделей згорткових нейронних мереж демонструють пряму залежність глибини мережі, а отже кількості шарів в CNN, від її ефективності. Однак існує поняття «насичення мережі» – та глибина, при якій точність навчання починає зменшуватися. Такі мережі складно оптимізувати. Тому запропонована архітектура залишкової нейронної мережі (residual network, ResNet). ResNet використовує алгоритм швидкого з'єднання (shortcut connection), який пропускає декілька шарів навчання, та виконує зіставлення ідентифікаторів.

Блок звичайної CNN безпосередньо вивчає цільову функцію. ResNet вивчає залишок, а не саму функцію. Отже, залишкова архітектура вивчає складну задачу шляхом обходу, та залишок додається до вихідних даних складного шару [11] (рис. 1а, 1б).

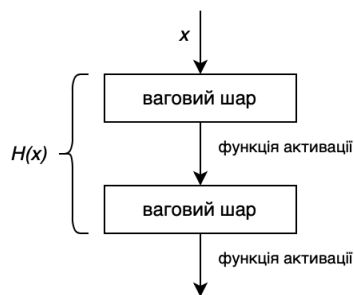


Рисунок 1а – Блок звичайної CNN

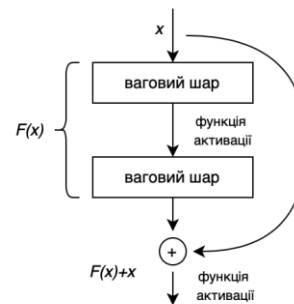


Рисунок 1б – Блок залишкової CNN

Основною перевагою залишкової нейронної мережі є простота оптимізації. Точність навчання не погіршується при насиченні мережі, а навпаки збільшується при збільшенні глибини навчання.

Для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні використано модель ResNet. Проведено 20 експериментів навчання моделі на вихідній вибірці даних. Дослідження реалізовано за допомогою Python з використанням бібліотеки tsai для сучасних методів прогнозування часових рядів. Вхідні дані отримують за допомогою API з офіційного сайту РНБО. Цільовий параметр прогнозування – приріст активних випадків. Вікно навчання – 56 днів, горизонт прогнозування – 7 днів. Точність прогнозування оцінюється середньою абсолютною похибкою у відсотках (mean absolute percentage error, MAPE) [12].

Результати роботи моделі представлено графічно. Середнє, мінімальне та максимальне значення MAPE для кожного експерименту представлено на рис. 2.

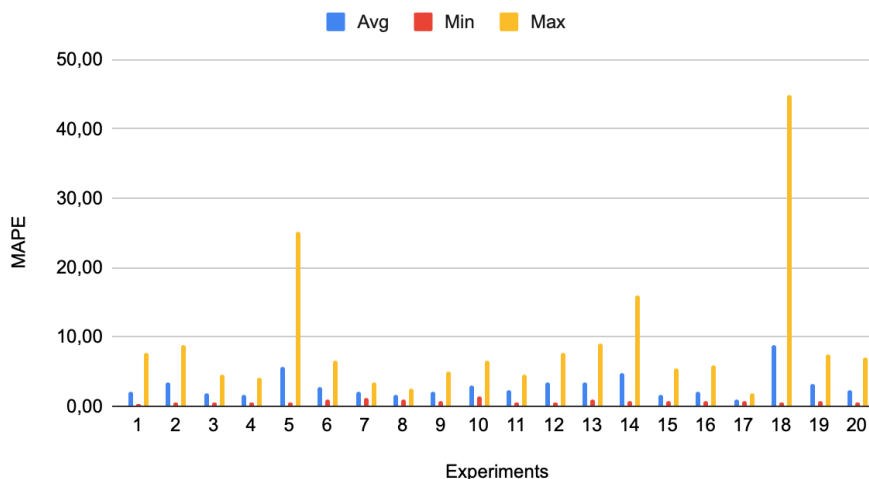


Рисунок 2 – Значення MAPE для 20 експериментів

Серед 20 експериментів у 85 % модель демонструє високу точність, максимальне значення MAPE не перевищує 9,15%. Середнє значення похибки за весь період прогнозування не перевищує 8,75%. Для подальшого аналізу результатів вилючено експеримент №18, через значне перевищення показників MAPE.

Результати експериментів у розрізі кожного дня прогнозування представлені на рис. 3.

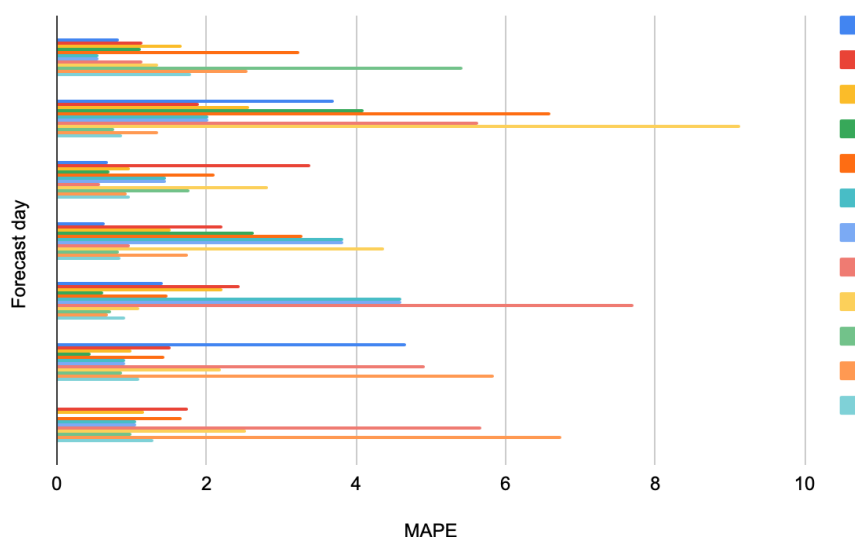


Рисунок 3 – Значення MAPE для кожного дня прогнозування

Середнє значення MAPE сумарно по всіх експериментах по кожному дню прогнозування представлено на рис. 4.

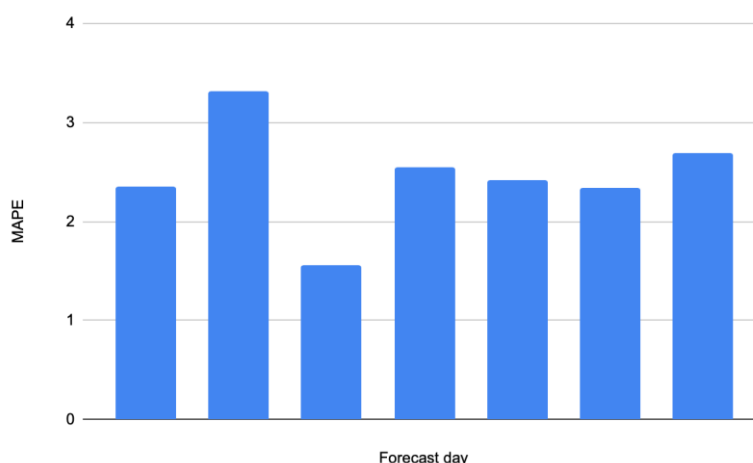


Рисунок 4 – Середнє значення MAPE для кожного дня прогнозування

У роботі [10] розглянуто модель InceptionTime. Порівняльний аналіз основних показників роботи моделей ResNet та InceptionTime на однаковій навчальній вибірці представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати роботи моделей ResNet та InceptionTime

Модель	Epoch	MAPE	Train Time
InceptionTime	1749	2.103	00:29:09
ResNet	1149	2.457	00:19:09

Висновки

В роботі представлені результати застосування моделі залишкової нейронної мережі для задачі прогнозування поширення Covid-19 в Україні. В результаті проведено 20 експериментів, модель продемонструвала стійкість та високу точність навчання. Варто відзначити, що середнє значення похибки не перевищує 8,75%.

Розвіяно припущення, що архітектура залишкової нейронної мережі, яка вивчає залишок, а не саму функцію, погіршує свою точність з кожним наступним кроком прогнозування. В результаті роботи моделі, у розрізі кожного дня прогнозування, не відзначено погіршення точності прогнозування.

Порівняльний аналіз моделей ResNet та InceptionTime продемонстрував перевагу моделі ResNet у швидкодії. Точність прогнозування ResNet поступилась моделі InceptionTime.

Подальші дослідження CNN моделей передбачають пошук оптимальної моделі чи комбінації моделей прогнозування поширення Covid-19 в Україні.

Список літератури

- [1] Ю. О. Андрусенко, «Аналіз основних моделей прогнозування часових рядів», *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*, вип. 3(65), с. 91–96, 2020. doi: 10.30748/zhups.2020.65.14.
 - [2] Thomas Fischer and Christopher Krauss, «Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions», *European Journal of Operational Research*, vol. 270, no. 2, pp. 654–669, 2018.
 - [3] M. Shabani and A. Iosifidis, «Low-rank temporal attention-augmented bilinear network for financial time-series forecasting», in *2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, pp. 2156–2161, 2020.
 - [4] Z. Pala and R. Atici, «Forecasting sunspot time series using deep learning methods», *Solar Physics*, 294(5), 2019. doi: 10.1007/s11207-019-1434-6.
 - [5] S. Ravuri, K. Lenc, M. Willson, «Skilful precipitation nowcasting using deep generative models of radar», *Nature*, 597, pp. 672–677, 2021. doi: 10.1038/s41586-021-03854-z
 - [6] X. Yi, J. Zhang, Z. Wang, T. Li, and Y. Zheng, «Deep distributed fusion network for air quality prediction», in *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. ACM*, pp. 965–973, 2018.
 - [7] Zifeng Wang, RuiWen, XiChen, ShileiCao, Shao-LunHuang, Buyue Qian, and Yefeng Zheng, «Online Disease Diagnosis with Inductive Heterogeneous Graph Convolutional Networks», in *Proceedings of the Web Conference 2021*, pp.3349–3358, 2021.
 - [8] George Panagopoulos, Giannis Nikolentzos, and Michalis Vazirgiannis, «Transfer Graph Neural Networks for Pandemic Forecasting», in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, Vol. 35. pp.4838–4845, 2021.
 - [9] Ardabili SF, Mosavi A, Ghamisi P, Ferdinand F, Varkonyi-Koczy AR, Reuter U, et al. «Covid-19 outbreak prediction with machine learning», *Algorithms*, 13(10), pp. 249-256, 2020.
 - [10] Д. Е.Ситніков, Ю. О. Андрусенко, «Застосування моделі на основі згорткових нейронних мереж для задачі прогнозування поширення COVID-19 в Україні», *Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник «Автоматизовані системи управління та прилади автоматики»*, № 177 с. 43–47, 2021.
 - [11] He Kaiming, Zhang Xiangyu, Ren Shaoqing, Sun Jian, «Deep Residual Learning for Image Recognition», *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas, NV, USA: IEEE. pp. 770–778, 2016. doi:10.1109/CVPR.2016.90.
 - [12] Hyndman, Rob J., and Anne B. Koehler, «Another look at measures of forecast accuracy», *International Journal of Forecasting*, 22(4), pp. 679-688, 2006. doi: 10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.
- Стаття надійшла: 22.01.2022.

References

- [1] Y. Andrusenko «Analiz osnovnykh modelei prohnozuvannia chasovykh riadiv», *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl*, № 3(65), s. 91–96, 2020 [in Ukrainian].
- [2] Thomas Fischer and Christopher Krauss, «Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions», *European Journal of Operational Research*, vol. 270, no. 2, pp. 654–669, 2018.
- [3] M. Shabani and A. Iosifidis, «Low-rank temporal attention-augmented bilinear network for financial time-series forecasting», in *2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)*, pp. 2156–2161, 2020.
- [4] Z. Pala and R. Atici, «Forecasting sunspot time series using deep learning methods», *Solar Physics*, 294(5), 2019. doi: 10.1007/s11207-019-1434-6.
- [5] S. Ravuri, K. Lenc, M. Willson, «Skilful precipitation nowcasting using deep generative models of radar», *Nature*, 597, pp. 672–677, 2021. doi: 10.1038/s41586-021-03854-z.
- [6] X. Yi, J. Zhang, Z. Wang, T. Li, and Y. Zheng, «Deep distributed fusion network for air quality prediction», in *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. ACM*, pp. 965–973, 2018.
- [7] Zifeng Wang, RuiWen, XiChen, ShileiCao, Shao-LunHuang, Buyue Qian, and Yefeng Zheng, «Online Disease Diagnosis with Inductive Heterogeneous Graph Convolutional Networks», in *Proceedings of the Web Conference 2021*, pp.3349–3358, 2021.
- [8] George Panagopoulos, Giannis Nikolentzos, and Michalis Vazirgiannis, «Transfer Graph Neural Networks for Pandemic Forecasting», in *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 35, pp.4838–4845, 2021.
- [9] Ardabili SF, Mosavi A, Ghamisi P, Ferdinand F, Varkonyi-Koczy AR, Reuter U, et al. «Covid-19 outbreak prediction with machine learning», *Algorithms*, 13(10), pp. 249-256, 2020.

- [10] D. E. Sytnikov, Y. O. Andrusenko, «Zastosuvannia modeli na osnovi zghortkovykh neironnykh merezh dlia zadachi prohnouzuvannia poshyrennia COVID-19 v Ukraini», *Vseukrainskyi mizhvidomchyi nau-kovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomatyzovani systemy upravlinnia ta prylady avtomatyky»*, № 177 s. 43–47, 2021 [in Ukrainian].
- [11] He Kaiming, Zhang Xiangyu, Ren Shaoqing, Sun Jian, «Deep Residual Learning for Image Recognition», *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. Las Vegas, NV, USA: IEEE. pp. 770–778, 2016. doi:10.1109/CVPR.2016.90.
- [12] Hyndman, Rob J., and Anne B. Koehler, «Another look at measures of forecast accuracy», *International Journal of Forecasting*, 22(4), pp. 679–688, 2006. doi:10.1016/j.ijforecast.2006.03.001.

Відомості про авторів

Ситніков Дмитро Едуардович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри системотехніки.

Андрусенко Юлія Олександрівна – аспірант кафедри електронних обчислювальних машин.

D. E. Sitnikov, Y. O. Andrusenko

**RESNET MODEL FOR THE FORECASTING THE
EXPANSION OF COVID-19 IN UKRAINE**

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv

КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА КОМПОНЕНТИ

УДК 621.316

О. Д. Азаров, С. В. Богомолов, О. Я. Стахов

**ВИСОКОЛІНІЙНІ ДВОТАКТНІ БУФЕРНІ ПРИСТРОЇ
НАПРУГИ З ПАРАМЕТРИЧНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ
ЗСУВУ НУЛЯ**

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Розглянуто метод структурно-функціональної організації високопродуктивних двотактних буферних пристроїв напруги з параметричною компенсацією зсуву нуля. Обґрунтована актуальність і практична доцільність застосування генератора компенсації зсуву нуля у складі буферних пристроїв напруги для отримання низької похибки лінійності.

Ключові слова: високолінійний, буферний пристрій, двотактна структура, зсув нуля.

Abstract. The method of structural and functional organization of high-performance two-stroke voltage buffer devices with parametric zero offset compensation is considered. The relevance and practical feasibility of using a zero offset compensation generator in the buffer voltage devices to obtain low linearity error are substantiated.

Keywords: high-line, buffer device, push-pull structure, zero offset.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-69-76>.

Вступ

Буферні пристрої є аналоговими вузлами, що використовуються у багатьох електронних пристроях, зокрема, багаторозрядних системних АЦП і ЦАП, які у свою чергу входять до складу високоточних систем вимірювання, опрацювання та реєстрування сигналів [1-4]. Буферні пристрої призначені для узгодження опору генератора сигналу з опором навантаження та по суті є підсилювачами потужності [4]. При цьому буфер напруги (БН) виступає в ролі трансформатора опорів з високим вхідним та низьким вихідним опором. Коефіцієнт передачі по напрузі БН дорівнює одиниці. Струм, який видається БН у навантаження, може бути набагато більший, ніж вхідний. Такі буферні пристрої називають повторювачами напруги [5]. Буфер струму (БС), навпаки, має низький вхідний та високий вихідний опори. Коефіцієнт передачі по струму БС, як правило, дорівнює одиниці і не залежить від опору навантаження.

Відомо багато різновидностей прецизійних буферних пристроїв, як за схемотехнічною організацією, так і призначенням. Найпоширенішою є побудова буферних пристроїв на базі операційних підсилювачів [1,2,4]. Проте, такий підхід обмежує їх швидкодію. Певний вигравш при цьому має застосування для побудови ядра буферного пристрою двотактних складених емітерних повторювачів на біполярних транзисторах або двотактних структур на базі польових транзисторів [6].

Актуальність

У теперішній час двотактні схеми буферних пристроїв привертають особливу увагу. Вони можуть забезпечити високу лінійність передатної характеристики і потрібну швидкодію [2, 4]. При цьому слід відзначити, що відомі схемотехнічні рішення буферних пристроїв за двотактною структурою, що забезпечують високу швидкодію і незначну нелінійність, є незбалансованими, мають велику похибку зсуву нуля і високий температурний дрейф. Водночас, матеріал, присвячений аналізу буферних пристроїв на базі двотактних симетричних структур, у науково-технічній літературі подається епізодично і є неструктурованим. Тому тема статті, присвячена побудові високолінійних швидкодіючих буферних пристроїв на базі двотактних симетричних структур та з компенсацією зсуву нуля, є актуальною.

Мета

Підвищення лінійності передатної характеристики буферних пристроїв напруги за рахунок двотактної структурної організації, а також компенсації струму зсуву нуля.

Постановка задач

1. Проаналізувати запропонований метод побудови ядер високолінійних швидкодіючих буферних пристроїв напруги з двотактною організацією.
2. Проаналізувати запропонований метод структурно-функціональної організації генератора струму зсуву нуля.
3. Вивести аналітичні співвідношення, що дозволяють описати характеристики генератора струму зсуву нуля із урахуванням параметрів транзисторів.

Розв'язання поставлених задач

Буферні пристрої застосовуються для узгодження вхідного сигналу від високоомного джерела з низькоомним входом підсилювача [4] та ще називаються повторювачами напруги. Вони мають такі властивості [5]:

- коефіцієнт підсилення на рівні 1;
- високий вхідний опір;
- низький вихідний опір.

Основними випадками застосування буферних пристроїв це узгодження:

- входу високолінійного АЦП із джерелом сигналу по струму;
- входу високолінійного АЦП із джерелом сигналу по напрузі;
- виходу ЦАП.

Залежно від використання у випадку узгодження, вхідні кола можуть бути побудовані, як на біполярних, так і польових транзисторах [6]. Проте, незалежно від конкретної схемотехнічної реалізації, загальна структурно-функціональна організація високолінійних швидкодіючих буферних пристроїв на базі двотактних підсилювачів струму, матиме вигляд, як показано на рис. 1 [7]. Запропонована структура містить: K'_i , K''_i – підсилювальні каскади, ВС1, ВС2 – відбивачі струму, СБ – схема балансування. Статична передатна характеристика такого роду пристроїв має загальну похибку:

$$\Delta U_{вих} = U_{вих} - U_{вх}$$

У свою чергу її можна розкласти на декілька складових, а саме на:

- похибку зсуву нуля $\Delta U_{зс0}$, причому $\Delta U_{зс0} = \Delta U_{вих}$, при $U_{вх} = 0$;
- похибку масштабу ΔU_M , причому $\Delta U_M = U_{вих} - U_{вх} - \Delta U_{зс0}$;

- похибку лінійності ΔU_L , причому $\Delta U_L = \Delta U_M - K \cdot U_{вх}$, при чому $K = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$, де

x_1, x_2, y_1, y_2 – координати точок прямої, яка проходить через лінійну ділянку передатної характеристики.

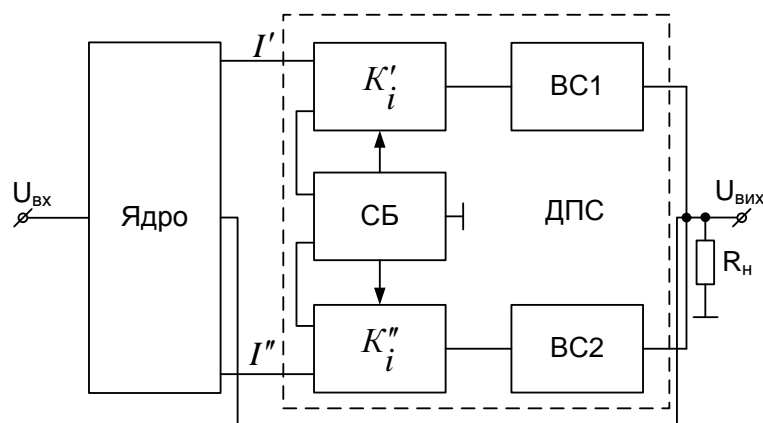


Рисунок 1 – Структурно-функціональна організація високолінійного швидкодіючого буферного пристрою напруги з двотактною організацією

Основою пристрою є ядро, яке також побудовано на базі двотактної структури. Використання ДПС дозволяє підвищити навантажувальну здатність із збереженням заданої лінійності ядра.

Варто відзначити те, що саме ядро визначає потенційні характеристики всієї схеми. Водночас, рівні похибок окремих складових можуть істотно залежати від конкретної схемотехнічної реалізації ядра пристрою. Так, вищезгадана похибка зсуву нуля $\Delta U_{зс0}$, навіть для інтегральних транзисторів сягає значень $10 \div 50$ мВ [4]. Це обумовлено незбалансованістю напруг переходів база-емітер n-p-n і p-n-p у верхньому та нижньому каналах проходження сигналу.

Похибки масштабу і лінійності істотно залежать від впливу змінення напруг переходів колектор-емітер транзисторів ядра в діапазоні вихідного сигналу. Водночас, лінійність передатної характеристики є складовою загальної точності функціонування буферних пристроїв.

Існує два шляхи зменшення вищезгаданих похибок БН і БС. Перший – технологічний, при якому покращується елементна база. Другий – схемотехнічний, коли використовуються різноманітні схеми компенсації статичних похибок у структурі буферного пристрою.

Одним з варіантів, для стабілізування напруг колекторних переходів транзисторів вихідних каскадів ядра у схему вволяться каскоди [4]. Це досить ефективно стабілізує характеристики робочих точок вихідних транзисторів, зокрема струми колекторів та напруги переходів база-емітер і знижує рівень похибок масштабу і лінійності. Водночас, не ідеальність n-p-n і p-n-p транзисторів каскодів, а саме, залежність β від напруги переходів база-емітер, призводить до зміни їх базових струмів і не дозволяє здійснити подальшу мінімізацію цих складових. Це, у свою чергу, призводить до зміни струмів емітерів вхідних транзисторів та, водночас, до зміни напруг база-емітер цих транзисторів, що автоматично передається на вихід схеми і викликає появу похибки зсуву нуля.

Слід відзначити, що чинниками, які негативно впливають на характеристики схеми, є [8]:

1. Залежність напруги переходу база-емітер $U_{\beta e}$ транзистора від напруги переходу колектор-емітер U_{ke} .
2. Залежність колекторного струму I_k транзистора від напруги переходу колектор-емітер, що обумовлено обмеженими значеннями опору колекторного переходу r_k^* .
3. Залежність β транзистора від напруги переходу колектор-емітер U_{ke} .

Для усунення похибок зсуву нуля, лінійності та масштабу, можна замінити просту каскодную схему на каскоди, які побудовано на базі схем Уілсона. Подібний варіант запропоновано у схемі буферного пристрою [9]. Ця схема має низьку похибку лінійності та низьку похибку зсуву нуля, на рівні 100÷200 мкВ. Така схемотехнічна організація ядра зменшує вплив напруг переходів база-емітер транзисторів, але залишається проблема впливу базового струму транзисторів каскодів. Також специфікою буферних пристроїв на біполярних транзисторах є принципова наявність ненульового вхідного базового струму. Ненульовий вхідний струм призводить до появи похибки зсуву нуля $\Delta U_{зс0}$.

Комплексним вирішенням вищезгаданих проблем є запропоновані варіанти буферних пристроїв структурно-функціональну організацію, як показано на рис. 2 та рис. 3 [10, 11].

Для цього використовується окремий генератор $I_{зс0}$, що забезпечує параметричну компенсацію струму зсуву нуля. Основними вимогами до такого пристрою є:

- стабільність $I_{зс0}$ в діапазоні вхідного сигналу;
- високий вихідний опір.

Для зменшення похибки зсуву нуля ядра буферного пристрою запропоновано схемотехнічну організацію у поєднанні з простим генератором струму $I_{зс0}$, яку показано на рис. 2, який побудовано на транзисторах VT5, VT6, VT7, VT8, VT9, VT10. Головна ідея полягає у поверненні різниці базових струмів струмозадаючих комплементарних транзисторів VT9, VT10 через відбивачі струму на VT5, VT7 та VT6, VT8 транзисторах відповідно, у протифазі різниці струмів VT2, VT3 вхідних комплементарних транзисторів. При цьому необхідно відзначити, на практиці, якщо не вживати додаткових заходів, ця збіжність буде на рівні 5 % [2], а також такий генератор струму $I_{зс0}$ має низький вихідний опір і, як наслідок, низьку навантажувальну здатність.

Кращим варіантом є буферний пристрій на рис. 3, що містить вдосконалений генератор струму $I_{зс0}$. Ідея роботи залишається аналогічною — параметрична компенсація базових струмів комплементарних вхідних транзисторів VT2, VT3. Проте бази струмозадаючих комплементарних транзисторів VT11, VT12 застабілізовані транзисторами VT13, VT14 відповідно від впливу відбивачів струму Уілсона, що побудовано на VT5, VT6, VT9 та VT7, VT8, VT10 відповідно. Водночас, постановка відбивачів Уілсона дає змогу підвищити вихідний опір генератора струму $I_{зс0}$ та зменшити вплив комплементарних вхідних транзисторів VT2, VT3. І, як результат, забезпечується підвищення точності завдання $I_{зс0}$. При цьому похибка лінійності джерела зсуву нуля зменшується.

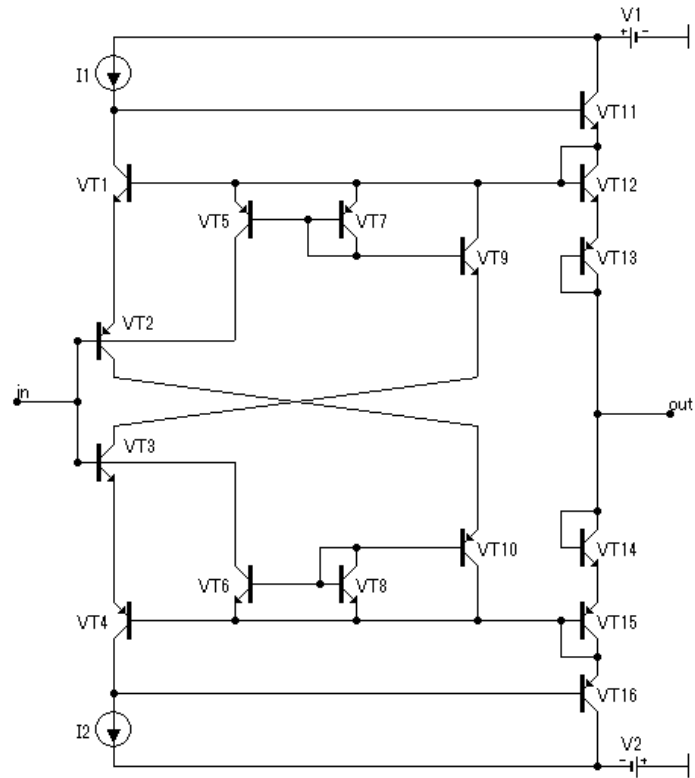


Рисунок 2 – Принципова схема буферного пристрою з двотактною організацією із простим генератором стуму I_{zc0}

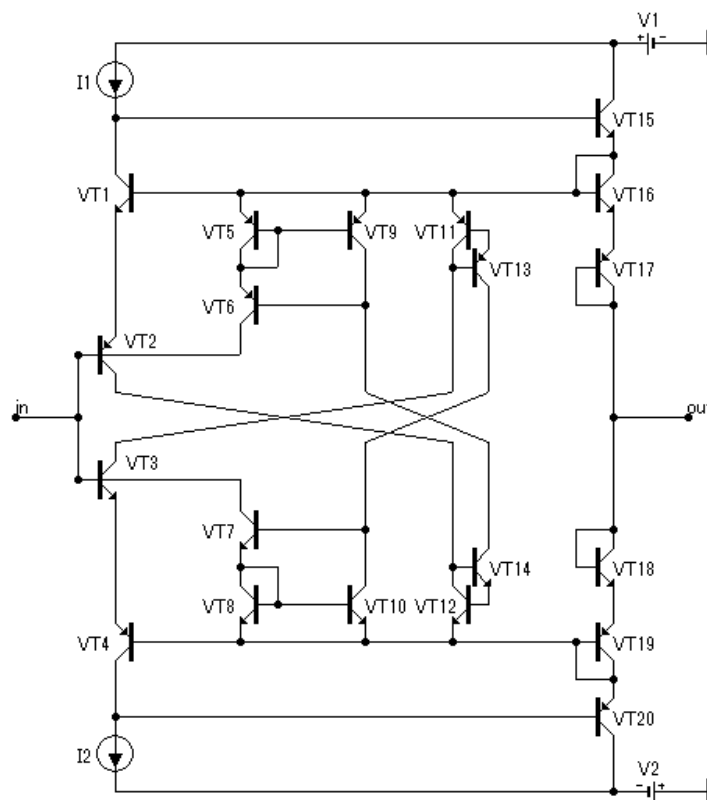


Рисунок 3 – Принципова схема буферного пристрою з двотактною організацією із вдосконалим генератором стуму I_{zc0}

Високолінійні буферні пристрої, побудовані за розглянутою структурно-функціональною організацією на базі двотактних структур, забезпечують такі характеристики:

- діапазон вхідного сигналу: $\pm 5\text{В}$;
- вихідний струм: $\pm 5\text{мА}$;
- похибка зсуву нуля $\Delta U_{зс0} \leq 1\text{мкВ}$;
- похибка масштабу $\delta_M \leq 0.0001\%$;
- похибка лінійності $\delta_L = 0.000005\%$.

Похибки передатних характеристик наведено на рис. 4.

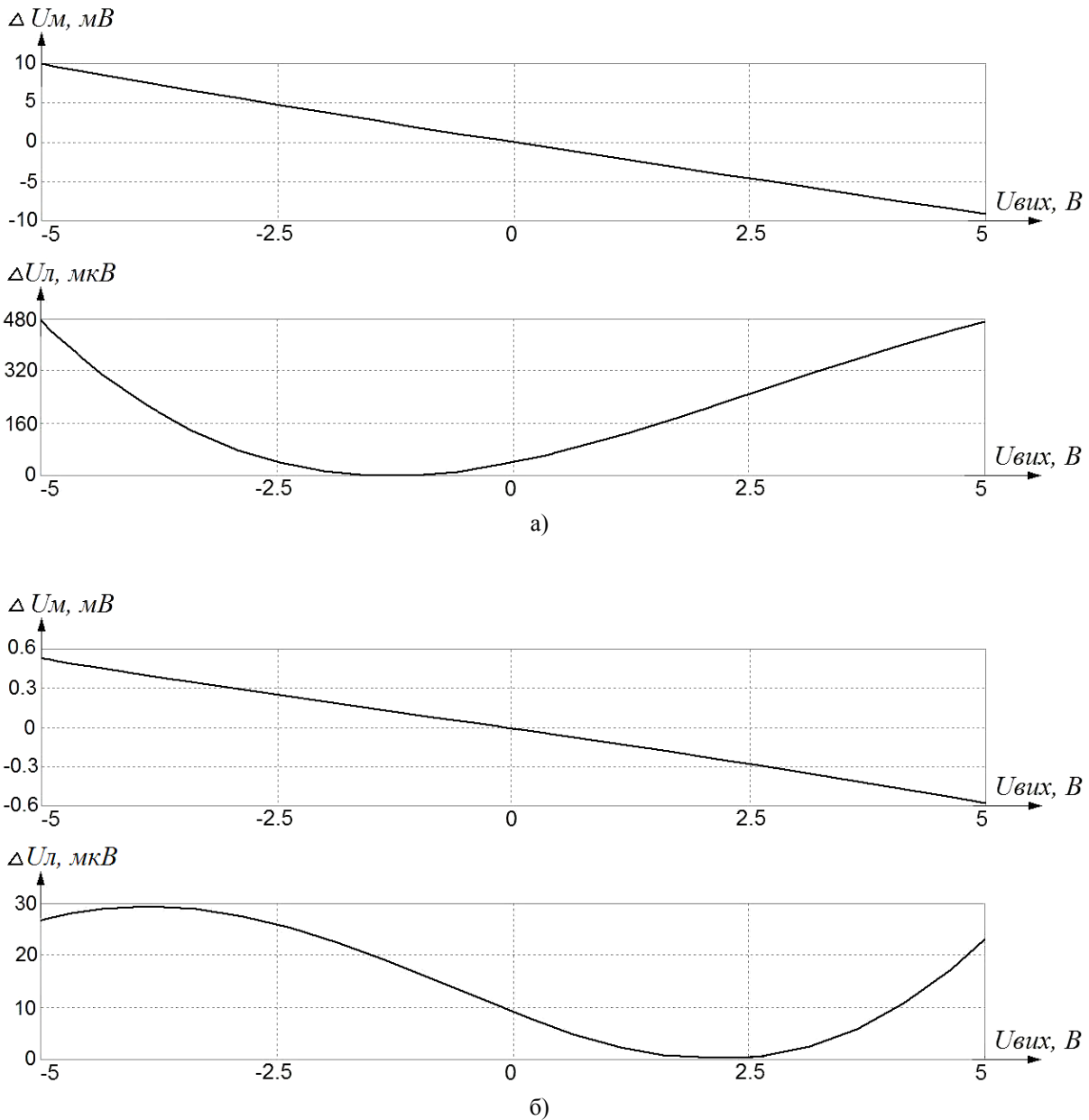


Рисунок 4 – Похибки передатних характеристик буферних пристроїв з двотактною організацією із генераторами струму $I_{зс0}$: а) простий; б) вдосконалений

Запропоновану також схемотехнічну реалізацію джерела струму $I_{зс0}$ з можливістю регулювання вихідного струму, яку показано на рис. 5 [12].

Робочі струми схеми задаються генераторами $I_1=I_2=I_p$. Водночас однотипні транзистори VT1, VT3, VT5, VT7, VT9, VT11 підключено паралельно між собою і через їх емітери протікає струм рівний:

$$I_e = \frac{I_p}{6}, \quad (1)$$

де I_p – робочий струм схеми.

Струм бази транзистора VT11 становитиме:

$$I_{\text{б VT11}} = \frac{I_p}{6 \cdot (\beta_{n-p-n} + 1)}, \quad (2)$$

де β_{n-p-n} – коефіцієнт передачі струму бази транзистора n-p-n типу.

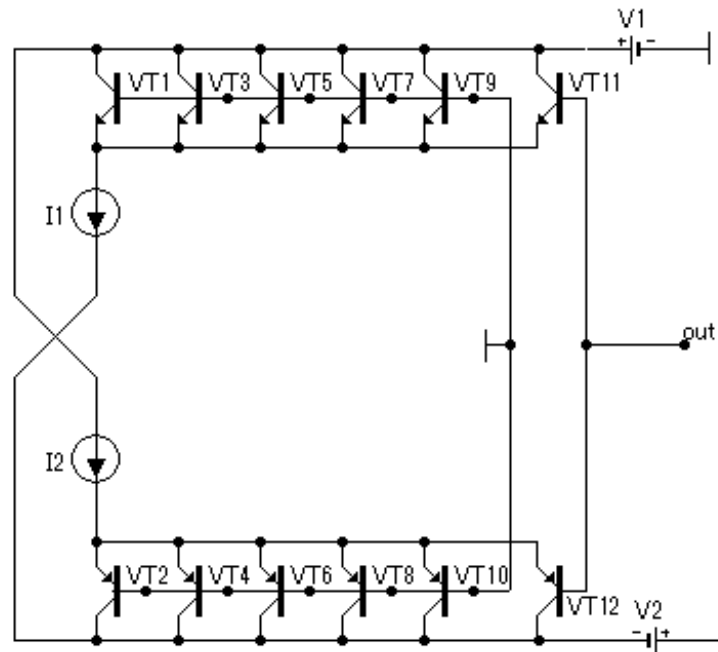


Рисунок 5 – Схематехнічна реалізація генератора струму I_{3C0} з можливістю регулювання вихідного струму

Даний струм буде втікати в базу транзистора VT11, а тому його значення беремо із знаком «мінус». Аналогічно однотипні транзистори VT2, VT4, VT6, VT8, VT10, VT12 підключено паралельно між собою і через їх емітери протікає струм рівний (1). У такому випадку струм бази VT12 становитиме:

$$I_{\text{б VT12}} = \frac{I_p}{6 \cdot (\beta_{p-n-p} + 1)}, \quad (3)$$

де β_{p-n-p} – коефіцієнт передачі струму бази транзистора p-n-p типу.

Даний струм буде витікати з бази транзистора VT12, а тому його значення беремо із знаком «плюс».

Із врахуванням (1), (2) і (3), сумарний вихідний струм схеми буде рівний:

$$I_{вих} = I_{\beta VT12} - I_{\beta VT11} = \frac{I_p}{6} \left[\frac{1}{(\beta_{p-n-p} + 1)} - \frac{1}{(\beta_{n-p-n} + 1)} \right]$$

Провівши математичні перетворення можна записати, що:

$$I_{вих} \approx \frac{I_p}{6} \left[\frac{\beta_{p-n-p} - \beta_{n-p-n}}{\beta_{p-n-p} \cdot \beta_{n-p-n}} \right]$$

Оскільки $\beta_{n-p-n} > \beta_{p-n-p}$ вихідний струм буде витікаючим. Змінюючи I_p і кількість транзисторів можна задавати значення $I_{вих}$. Таким чином, даний пристрій дозволяє домогтися компенсації струму зміщення нуля підсилювальної схеми, за умови, що для підсилювальної схеми даний струм є втікаючим. За результатами моделювання вихідний опір пристрою становитиме близько 12 кОм.

Висновки

1. Показано, що запропонований підхід структурно-функціональної організації високолінійних швидкодіючих буферних пристроїв напруги з двотактною організацією, а саме поєднання ядра буфера з ДППС, дозволяє підвищити навантажувальну здатність.
2. Проаналізовано запропонований метод побудови ядер високолінійних двотактних буферних пристроїв напруги з параметричною компенсацією зсуву нуля. Показано, що підхід параметричної компенсації дозволяє значно (на порядок і більше) зменшити похибку зсуву нуля і лінійності при збереженні заданого рівня швидкодії.
3. Проаналізовано запропонований метод структурно-функціональної організації генератора струму зсуву нуля з можливістю регулювання вихідного струму, що дозволить застосовувати його за умови, що для підсилювальної схеми даний струм потрібен втікаючим.
4. Виведено аналітичні співвідношення, що дозволяють описати характеристики генератора струму зсуву нуля із урахуванням параметрів транзисторів.

Список використаних джерел

- [1] Walt Kester, *ANALOG-DIGITAL CONVERSION*. ADI Central Application Department, USA, 2004, 1127 p.
- [2] Alan B. Grebene, *Bipolar and MOS analog integrated circuit design*. New Jersey, USA: Wiley Classic Library, 2002, 915 p.
- [3] Г. И. Волович, *Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств*. Москва, Россия: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005, 528 с.
- [4] Г. Д. Бахтиаров, В. В. Малинин, В. П. Школин, *Аналого-цифровые преобразователи*. Москва, Россия: Советское радио, 1980, 280 с.
- [5] И. П. Степаненко, *Основы теории транзисторов и транзисторных схем*. Москва, Россия: «Энергия», 1973, 608 с.
- [6] О. Д. Азаров, С. В. Богомолов, *Основы теории высоколінійних аналогових пристроїв на базі двотактних підсилювальних схем*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2013, 142 с.
- [7] Olexiy D. Azarov, Sergii V. Bohomolov, Svitlana A. Kyrylashchuk, Olexiy J. Stakhov, Mariusz Duk, and Yedilkhan Amirgaliyev, «High speed buffer devices on the base of push-pull current amplifiers», *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019*, 111765W6, November 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2536902>.
- [8] О. Д. Азаров, С. В. Богомолов, «Прецизійні буферні пристрої на базі двотактних симетричних структур», *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, № 3(22), с. 4–12, 2011.
- [9] О. Д. Азаров, О. В. Дудник, С. В. Богомолов, О. В. Кадук, «Буферний каскад», *патент України № 51014*, 25.06.10.
- [10] О. Д. Азаров, М. Р. Обертюх, О. Я. Стахов, Д. В. Лизогуб, «Буфер напруги», *патент України № 141391*, 10.04.20.
- [11] О. Д. Азаров, М. Р. Обертюх, О. Я. Стахов, Д. В. Лизогуб, «Буфер напруги», *патент України № 140786*, 10.03.20.
- [12] О. Д. Азаров, М. Р. Обертюх, О. Я. Стахов, «Генератор струму зсуву нуля», *патент України № 136566*, 27.08.19.

Стаття надійшла: 14.01.2022.

References

- [1] Walt Kester, *ANALOG-DIGITAL CONVERSION*. ADI Central Application Department, USA, 2004, 1127 p.
- [2] Alan B. Grebene, *Bipolar and MOS analog integrated circuit design*. New Jersey, USA: Wiley Classic Library, 2002, 915 p.
- [3] G. I. Volovich, *Circuitry of analog and analog-digital electronic devices*. Moscow, Russia: Dodeca XXI Publishing House, 2005, 528 p. [in Russian].
- [4] G. D. Bakhtiarov, V. V. Malinin, V.P. Shkolin, *Analog-to-digital converters*. Moscow, Russia: Soviet Radio, 1980, 280 p. [in Russian].
- [5] I. P. Stepanenko, *Fundamentals of the theory of transistors and transistor circuits*. Moscow, Russia: "Energy", 1973, 608 p. [in Russian].
- [6] O. D. Azarov, S. V. Bohomolov, *Fundamentals of the theory of high-line analog devices based on push-pull amplifier circuits*. Vinnytsia, Ukraine: UNIVERSUM-Vinnytsia, 2013, 142 p. [in Ukrainian].
- [7] Olexiy D. Azarov, Sergii V. Bohomolov, Svitlana A. Kyrylashchuk, Olexiy J. Stakhov, Mariusz Duk, and Yedilkhan Amirgaliyev, «High speed buffer devices on the base of push-pull current amplifiers», *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2019*, 111765W6, November 2019. <https://doi.org/10.1117/12.2536902>.
- [8] O. D. Azarov, S. V. Bohomolov, "Precision buffer devices based on two-stroke symmetrical structures", *Information Technology and Computer Engineering*, № 3 (22), p. 4–12, 2011 [in Ukrainian].
- [9] O. D. Azarov, O. V. Dudnik, S. V. Bohomolov, O. V. Kaduk, "Buffer Cascade", *patent of Ukraine № 51014*, 25.06.10.
- [10] O. D. Azarov, M. R. Obertyukh, O. Ya. Stakhov, D. V. Lyzogub, "Voltage buffer", *patent of Ukraine № 141391*, 10.04.20.
- [11] O. D. Azarov, M. R. Obertyukh, O. Ya. Stakhov, D. V. Lyzogub, "Voltage buffer", *patent of Ukraine № 140786*, 10.03.20.
- [12] O. D. Azarov, M. R. Obertyukh, O. Ya. Stakhov, "Zero bias current generator", *patent of Ukraine № 136566*, 27.08.19.

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки.

Богомолів Сергій Віталійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки

Стахов Олексій Ярославович – аспірант кафедри обчислювальної техніки.

O. D. Azarov, S. V. Bohomolov, O. Y. Stahov

HIGH-LINE PUSH-PULL VOLTAGE BUFFER DEVICES WITH PARAMETRIC ZERO SHIFT COMPENSATION

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

УДК 621.316

О. Д. Азаров, О. Я. Стахов

МОДЕЛІ АЧХ І ФЧХ ДВОТАКТНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Розглянуто універсальний підхід для загального аналізу АЧХ і ФЧХ аналогових схем з урахуванням фундаментальних співвідношень між параметрами транзисторів без прив'язки до конкретної елементної бази, що дозволить достовірно провести оцінку характеристик з урахуванням необхідної кількості підсилювальних каскадів.

Ключові слова: АЧХ, ФЧХ, багатокаскадний, високолінійний, двотактний підсилювач постійного струму (ДПНС).

Abstract. A universal approach for the general analysis of frequency response and frequency response of analog circuits is considered, taking into account the fundamental relationships between the parameters of transistors without reference to a specific element base, which will reliably assess the characteristics taking into account the required number of amplifier stages.

Keywords: frequency response, phase response, multi-stage, high-line, push-pull amplifier.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-77-83>.

Вступ

При проектуванні високопродуктивних аналого-цифрових перетворювачів порозрядно-слідкувального врівноваження з ваговою надлишковістю, очевидним є те, що їх доцільно розглядати, як сукупність аналогових та цифрових вузлів, характеристики яких задають параметри системи в цілому [1, 2]. Водночас, варто відзначити, що такі АЦП є основними аналого-цифровими блоками багаторозрядних аналого-цифрових систем та структурних схем апаратної частини вимірювальних каналів. А тому, ґрунтуючись на класифікації аналогових пристроїв АЦП, що використовуються для побудови багаторозрядних аналого-цифрових систем, за функціональною ознакою, можна виділити такі аналого-цифрові пристрої: підсилювачі, вхідні буфери напруги, перетворювачі струм-струм, перетворювачі струм-напруга, перетворювачі напруга-напруга, вихідні буфери для ЦАП.

Зазначені пристрої відрізняються методами перетворення сигналів, що дозволяє провести роздільний аналіз їхніх похибок, а також розробити узагальнені критерії оптимального проектування. Тим самим можна сформулювати вихідні дані для синтезу і дослідження структурних і схемних рішень аналогових пристроїв.

Актуальність

У теперішній час проектування аналогових інтегральних схем у значній мірі базується на комп'ютерному схемотехнічному аналізі [3]. Треба зазначити, що принципи схемотехнічного аналізу крім беззаперечних переваг таких як простота виконання, можливість варіаційного аналізу, висока наочність та універсальність, мають певні недоліки. Це пов'язано із специфікою чисельних методів, що використовуються для визначення відповідних параметрів схем. Побудова математичних моделей електронних схем [4, 5] базується на використанні схем заміщення окремих компонентів. Фундаментальними компонентами, у першу чергу, є транзистори. При цьому для побудови АЧХ і ФЧХ потрібні так звані П- або Т-подібні малосигнальні схеми заміщення транзисторів. Водночас для використання пакетів схемотехнічного аналізу таких як MicroCap, OrCAD, MicroSim та інших потрібна деталізована бібліотека елементів у форматі SPICE, що містить параметри елементів схем заміщення відповідних компонентів [5-7]. Лише за таких умов можливо отримати достовірні характеристики АЧХ і ФЧХ.

Проте ускладнення схем, шляхом нарощування кількості підсилювальних каскадів, з метою збільшення коефіцієнтів передачі схем, наштовхується на ряд проблем. Це має місце, наприклад, при моделюванні передатних характеристик багатокаскадних схем підсилювачів постійного струму з великим коефіцієнтом передачі (>90 дБ) із розірваною петлею зворотнього зв'язку під час балансування нуля і його подальшої компенсації, а також зняття таких характеристик як АЧХ і ФЧХ та коефіцієнта нелінійних спотворень. При цьому наявність методичних похибок дискретизації, притаманних чисельним методам, призводить до недостовірних результатів. Пошук підходу вирішення вищезгаданої проблеми є актуальним.

Автор пропонує універсальний метод для загального аналізу АЧХ і ФЧХ аналогових схем, не прив'язуючись до конкретної елементної бази, з використанням аналітичних співвідношень, які отримуються на основі наявних фундаментальних співвідношень між параметрами транзисторів, що дозволить достовірно оцінювати АЧХ і ФЧХ з урахуванням необхідної кількості підсилювальних каскадів.

Мета

Створення універсального підходу для загального аналізу АЧХ і ФЧХ аналогових схем з урахуванням фундаментальних співвідношень між параметрами транзисторів без прив'язки до конкретної елементної бази.

Постановка задач

1. Розглянути узагальнену структурну схему двотактного підсилювача постійного струму.
2. Проаналізувати запропонований підхід для загального аналізу АЧХ і ФЧХ аналогових схем з урахуванням фундаментальних співвідношень між параметрами транзисторів без прив'язки до конкретної елементної бази.
3. Перевірити адекватність запропонованих моделей АЧХ і ФЧХ у рамках запропонованого і відомого підходів.

Розв'язання поставлених задач

Всі багаторозрядні аналого-цифрові системи, а також АЦ перетворювачі містять у своїй структурі ті чи інші аналогові вузли, від характеристик яких у значній мірі залежать вихідні статичні і динамічні характеристики систем та перетворювачів у цілому. Водночас високі показники точності можуть бути досягнуті лише при низькому рівні некоригованих похибок аналогових пристроїв, що входять до складу цих систем, які, у свою чергу, можуть бути досягнуті структурним і схемотехнічним шляхом.

Відомо, що на базі підсилювачів можна реалізувати усі необхідні аналогові вузли такі як: буфери напруги, нормуючі підсилювачі, перетворювачі струм-напруга і напруга-струм, підсилювачі різниці та інші [1, 2]. Найкращі показники для побудови високолінійних аналогових пристроїв мають ДППС із розділеними каналами підсилення, які дозволяють достатньо зменшити рівень некоригованих похибок. Водночас, побудова таких ДППС потребує точного завдання струму робочої точки [8].

Узагальнена структурна схема ДППС може мати вигляд, як показано на рис. 1. Принципову ДППС наведено на рис. 2, який захищено патентом України [9].

Підсилювач містить вхідний двотактний каскад (ВДК), який побудовано на транзисторах VT4, VT5, які ввімкнено за схемою загальна база (ЗБ). Робоча точка цього каскаду задається джерелами струмів I1 та I2, а також транзисторами VT1, VT2, VT3, VT6. Для завдання режиму по постійному струму транзисторів VT11, VT13 першого підсилювального каскаду (ПК1) і VT11, VT13 другого підсилювального каскаду (ПК2), транзистори яких ввімкнено за схемою загальний колектор (ЗК), використовується двонаправлений відбивач струму (ДВС), який побудовано на транзисторах VT8, VT9, VT15, VT16 та компенсатори струму (КС), які побудовано на транзисторах VT7, VT14 та VT10, VT17 відповідно. Транзистори VT19, VT21, VT23, VT24 та VT20, VT22, VT25, VT26 утворюють складені відбивачі Уїлсона і, водночас, утворюють двотактний вихідний каскад (ДВК).

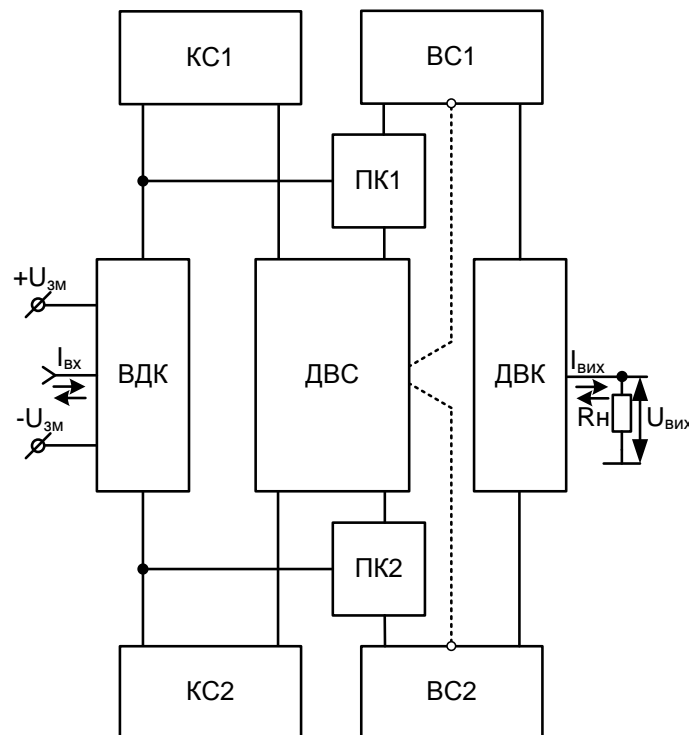


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема ДППС

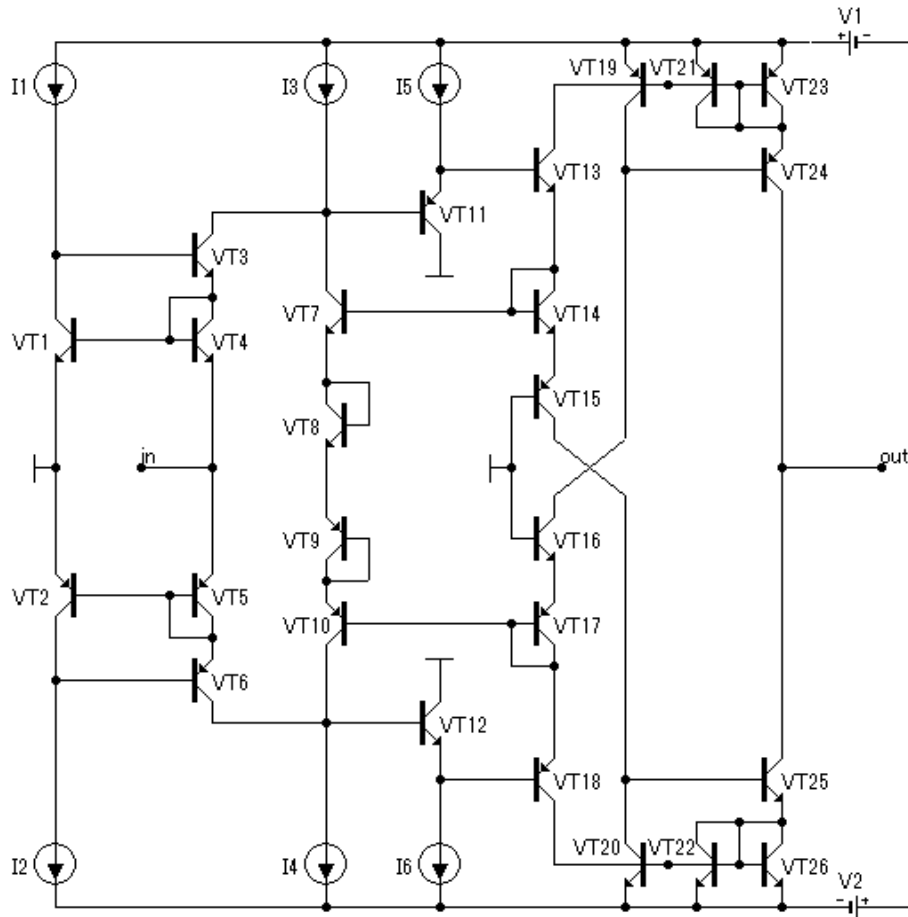


Рисунок 2 – Принципова схема ДППС

Існуючі методи оцінки АЧХ і ФЧХ базуються на використанні схем заміщення каскадів ЗБ, ЗЕ, ЗК на основі яких можна скласти малосигнальну схему заміщення для ДППС. Проте, проводити аналіз вказаних характеристик в рамках математичної моделі схеми ДППС за загальним методом Кірхгофа досить складно, оскільки необхідно скласти систему рівнянь більш як з 20-ти рівнянь, причому, для обчислення визначників відповідних матриць необхідні значні обчислювальні ресурси (визначник складається з $n!$ доданків, де n – кількість рівнянь, при $n=20$ кількість доданків $\approx 2,4 \cdot 10^{18}$ [7]). Доцільнішим є опис моделей АЧХ і ФЧХ ДППС на запропонованому підході, який можна пояснити так, що загальний коефіцієнт підсилення можна розглядати як вектор $\vec{K}_i(f)$, що визначається як сума векторів $\vec{K}_i'(f)$, $\vec{K}_i''(f)$ верхнього і нижнього каналів підсилення відповідно [7]. Для знаходження сумарного $\vec{K}_i(f)$ використовуємо теорему косинусів:

$$K_i(f) = \sqrt{K_{i1}^2(f) + K_{i2}^2(f) - 2 \cdot K_{i1}^2(f) \cdot K_{i2}^2(f) \cos \left[(180 - \Delta\varphi) \cdot \frac{\pi}{180} \right]}. \quad (1)$$

Щоб визначити кут $\varphi'(f)$ необхідно застосувати теорему синусів при цьому:

$$\varphi'(f) = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{K_{i1} \cdot \sin \left[\Delta\varphi(f) \cdot \frac{180}{\pi} \right]}{\sqrt{K_{i1}^2(f) + K_{i2}^2(f) - 2 \cdot K_{i1}^2(f) \cdot K_{i2}^2(f) \cos \left[(180 - \Delta\varphi(f)) \cdot \frac{\pi}{180} \right]}}. \quad (2)$$

Графічну інтерпретацію коефіцієнтів передачі ДППС показано на рисунку 3.

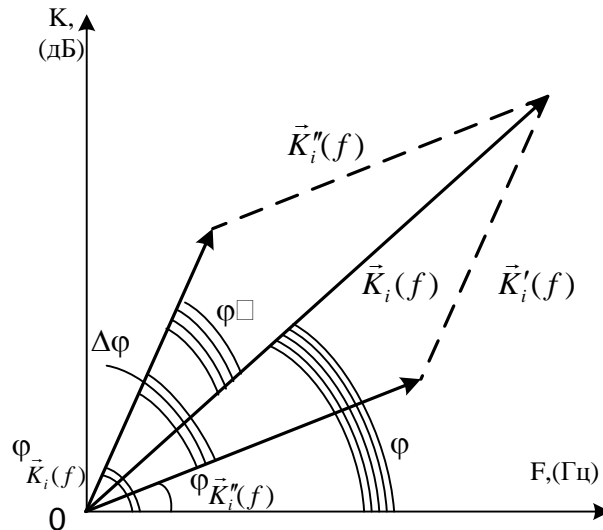


Рисунок 3 – Графічна інтерпретація коефіцієнтів передачі ДППС

У свою чергу K_i' , K_i'' визначаються у вигляді:

При цьому коефіцієнти підсилення по каналах визначаються:

$$\begin{aligned} K_i' &= K_{i\text{вх}}' \cdot K_{\text{ПР}}' \cdot K_{i\text{вих}}', \\ K_i'' &= K_{i\text{вх}}'' \cdot K_{\text{ПР}}'' \cdot K_{i\text{вих}}'', \end{aligned} \quad (3)$$

де $K_{i\text{вх}}'$, $K_{i\text{вх}}''$ – коефіцієнти підсилення по струму ВДК відповідно по верхньому і нижньому каналах, $K_{\text{ПР}}'$, $K_{\text{ПР}}''$ – коефіцієнт підсилення по струму ПК, $K_{i\text{вих}}'$, $K_{i\text{вих}}''$ – коефіцієнт підсилення по струму відбивачів Уїлсона по верхньому і нижньому каналах відповідно.

Для проведення подальшого аналізу математичної моделі АЧХ і ФЧХ скористаємося спрощеними формулами коефіцієнтів передачі транзисторних каскадів [6]:

для АЧХ та ФЧХ відповідно:

$$\begin{aligned} k_i(f) &= \frac{\alpha}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_p}\right)^2}}, \\ \varphi(f) &= \arctg\left(\frac{f}{f_p}\right) + \varphi_c, \end{aligned} \quad (4)$$

де f_p – частота полюсу на рівні «-3 дБ», $\varphi_c = \arctg\left(\frac{f}{f_{\text{max}}}\right)$ – додатковий фазовий зсув;

$f_{\text{max}} = \sqrt{\frac{f_t}{8\pi \cdot C_{bc} \cdot r_b}}$ – максимальна частота генерування [4] транзистора; f_{max} – гранична частота транзистора на рівні 0 дБ для каскаду загальний емітер (ЗЕ).

Враховуючи схеми вмикання транзисторів у ВДК ДППС із загальною базою та враховуючи (4) для схеми ЗБ запишемо:

$$K'_{i_{\text{вх}}} = K_{i_{T3}}(f) = K'_{i_{3B}} = \frac{\alpha_{n-p-n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT3}}\right)^2}};$$

$$K''_{i_{\text{вх}}} = K_{i_{T4}}(f) = K''_{i_{3B}} = \frac{\alpha_{p-n-p}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT6}}\right)^2}},$$
(5)

де f_{pT3} та f_{pT6} – полюси транзисторів VT3 та VT6.

Враховуючи схеми каскадного вмикання транзисторів у ППК ДППС із загальним колектором (4) для схеми ЗК запишемо

$$K_{i_{T11}}(f) = K'_{i_{3K}} = \frac{\beta_{p-n-p}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT11}}\right)^2}};$$

$$K_{i_{T13}}(f) = K''_{i_{3K}} = \frac{\beta_{n-p-n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT13}}\right)^2}};$$

$$K_{i_{T12}}(f) = K'_{i_{3K}} = \frac{\beta_{n-p-n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT12}}\right)^2}};$$

$$K_{i_{T18}}(f) = K''_{i_{3K}} = \frac{\beta_{p-n-p}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT18}}\right)^2}},$$
(6)

де f_{pT11} , f_{pT12} , f_{pT13} , f_{pT18} – полюси транзисторів VT11, VT12, VT13, VT18 відповідно.

При цьому:

$$K'_{ПП} = K_{i_{T11}}(f) \cdot K_{i_{T13}}(f);$$

$$K''_{ПП} = K_{i_{T12}}(f) \cdot K_{i_{T18}}(f),$$
(7)

Враховуючи (5), (6), (7) і те, що ДВК побудовано на відбивачах Уїлсона (при цьому $K'_{i_{\text{вх}}} \approx K''_{i_{\text{вх}}} \approx 2$) та підставивши в (3), отримаємо коефіцієнти передачі по верхньому і нижньому каналах підсилення:

$$K_i'(f) = \frac{\alpha_{n-p-n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT3}}\right)^2}} \cdot \frac{\beta_{p-n-p}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT11}}\right)^2}} \cdot \frac{\beta_{n-p-n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT13}}\right)^2}} \cdot 2; \quad (8)$$

$$K_i''(f) = \frac{\alpha_{p-n-p}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT6}}\right)^2}} \cdot \frac{\beta_{n-p-n}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT12}}\right)^2}} \cdot \frac{\beta_{p-n-p}}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{pT18}}\right)^2}} \cdot 2,$$

За допомогою виразів (1), (2) та (8) можна визначити значення загального коефіцієнта підсилення та його фазову характеристику. Для перевірки адекватності запропонованих моделей АЧХ і ФЧХ використовуємо моделювання у програмному середовищі MicroCap та MathCAD. Для цього використовуємо отримані аналітичні співвідношення та електричну схему, яку наведено на рис. 2. Моделюючи схеми за допомогою програми MicroCap, отримуємо збіжність результатів аналізу аналітичних рівнянь АЧХ і ФЧХ та електричної принципової схеми. Графіки АЧХ і ФЧХ наведено на рис. 4.

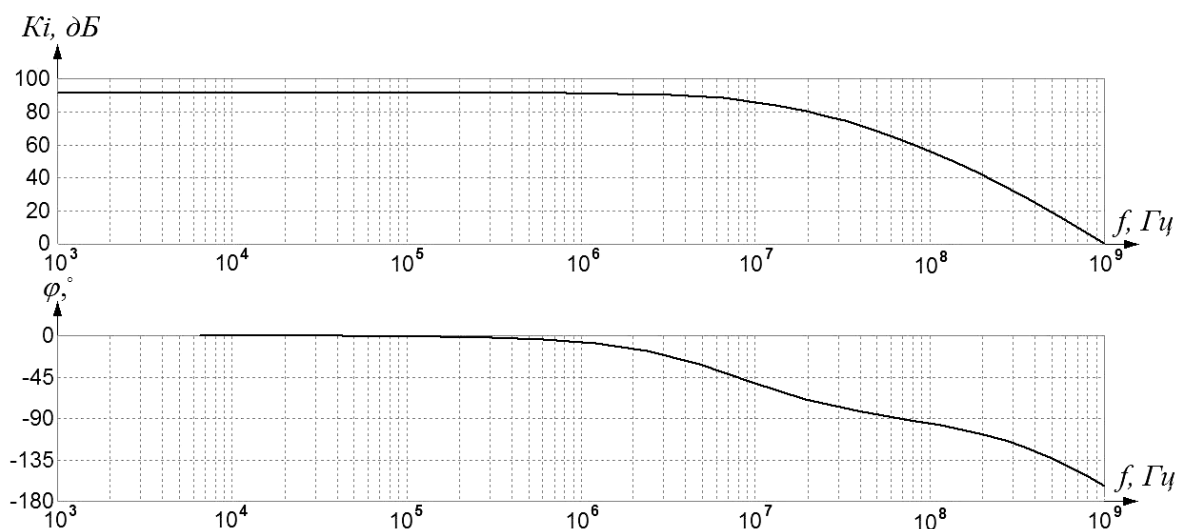


Рисунок 4 – Результати моделювання АЧХ і ФЧХ ДППС

Висновки

1. Розглянуто узагальнену структурну схему двотактного підсилювача постійного струму та відповідну їй електричну принципову схему, що дозволило зрозуміти основний принцип функціонування аналогових схем за двотактною структурою.

2. Проаналізовано запропонований підхід для загального аналізу АЧХ і ФЧХ двотактного підсилювача постійного струму з урахуванням фундаментальних співвідношень між параметрами транзисторів без прив'язки до конкретної елементної бази. Запропонований підхід дозволяє спростити аналіз аналогових електронних схем за двотактною структурою, не використовуючи складні розрахунки за законами Кіргофа.

3. Перевірено адекватність моделей АЧХ і ФЧХ у рамках запропонованого і відомого підходів. Доведено, що збіжність АЧХ і ФЧХ коефіцієнтів передачі, отриманих шляхом схемотехнічного аналізу та спрощених аналітичних виразів, які їх описують, не перевищує допустимого рівня 1%.

Список використаних джерел

- [1] А. И. Кондалев, В. А. Багацький, В. А. Романов, В. А. Фабричев, *Высокопроизводительные преобразователи формы информации*. К.: Наукова думка, 1987, 280 с.

- [2] Walt Kester, *ANALOG-DIGITAL CONVERSION*. Central Application Department, March 2004. 1127 p.
- [3] М. А. Амелина, С. А. Амелин, *Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8*. М.: Горячая линия– Телеком, 2007, 464 с. ил. ISBN 978-5-93517-339-5.
- [4] И. П. Степаненко, *Основы микроэлектроники: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп.* М.: Лаборатория базовых знаний, 2003, 488 с.
- [5] B. Alan, *Grebene Bipolar and MOS analog integrated circuit design*. Wiley Classic Library New Jersey, 2003, 915 p.
- [6] У. Титце, К. Шенк, *Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том I: Пер. с нем.* М.: ДМК Пресс, 2008, 832 с. ISBN 5-94074-148-7.
- [7] М. Я. Выгодский, *Справочник по высшей математике*. М.: АСТ: Астрель, 2005, 991с. ISBN 5-271-03651-0.
- [8] О. Д. Азаров, В. А. Гарнага, *Двотактні підсилювачі постійного струму для багаторозрядних перетворювачів форми інформації, що самокалібруються: монографія*. Вінниця: ВНТУ, 2011, 156 с.
- [9] О. Д. Азаров, М. Р. Обертюх, О. Я. Стахов, О. О. Лукашук, «Двотактний підсилювач постійного струму», патент на корисну модель 140168 Україна, 10.02.20.

Стаття надійшла: 18.01.2022.

References

- [1] A. I. Kondalev, VA Bagatsky, VA Romanov, VA Fabricev, *High-performance form converters*. K.: Scientific opinion, 1987, 280 s. [in Russian].
- [2] Walt Kester, *ANALOG-DIGITAL CONVERSION*. Central Application Department, March 2004. 1127 p.
- [3] M. A. Amelina, S. A. Amelin, *Micro-Cap 8 circuit design program*. Moscow: Hotline – Telecom, 2007, 464 p. ISBN 978-5-93517-339-5 [in Russian].
- [4] I. P. Stepanenko, *Fundamentals of microelectronics: Textbook. manual for universities. - 2nd ed., Reworked. and ext.* Moscow: Laboratory of Basic Knowledge, 2003, 488 p. [in Russian].
- [5] B. Alan, *Grebene Bipolar and MOS analog integrated circuit design*. Wiley Classic Library New Jersey, 2003, 915 p.
- [6] W. Titze, K. Schenk, *Semiconductor circuitry. 12th ed. Volume I: Per. with him.* М.: DMK Press, 2008, 832 p. ISBN 5-94074-148-7 [in Russian].
- [7] M. Ya. Vygodsky, *Handbook of higher mathematics*. М.: AST: Astrel, 2005, 991p. ISBN 5-271-03651-0 [in Russian].
- [8] O. D. Azarov, V. A. Garnaga, *Two-stroke DC amplifiers for multi-bit converters of self-calibrating information: a monograph*. Vinnytsia: VNTU, 2011, 156 p. [in Ukrainian].
- [9] O. D. Azarov, M. R. Obertyukh, O. Ya. Stakhov, O. O. Lukashuk, "Push-pull amplifier", patent for utility model 140168 Ukraine, 10.02.20 [in Ukrainian].

Відомості про авторів

Азаров Олексій Дмитрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки.

Стахов Олексій Ярославович – аспірант кафедри обчислювальної техніки.

O. D. Azarov, O. Y. Stahov

MODELS OF AMPLITUDE FREQUENCY AND PHASE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF PUSH-PULL AMPLIFIERS

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

УДК [621.319.5:538.945](045)

В. М. Кичак, М. Д. Гузь, В. І. Макогон, А. А. Коломієць

ГЕНЕРАТОР ТАКОВИХ ІМПУЛЬСІВ НА БАЗІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ НАДПРОВІДНОСТІ ТА ПЕРЕХОДІВ ДЖОЗЕФСОНА

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Сучасний стан розвитку електронної техніки та стрімкий розвиток безпроводних систем передачі інформації вимагає пошуку нових технологій, які б задовольняли вимоги по збільшенню частоти передачі сигналу. У роботі розкрито ідею роботи генераторів тактових імпульсів як пристроїв цифрової обробки інформації, зокрема побудовано фізичну модель генератора тактових імпульсів на базі переходів Джозефсона. Найбільш перспективним та розповсюдженим у високотемпературних надпровідників матеріалом є з'єднання YBa_2CuO_{7-x} , яке забезпечує можливість формування переходів Джозефсона. Наведено схему генератора тактових імпульсів та зроблено її опис. Зроблено опис лінеаризації функції відгуку напруги двоконтрактного надпровідникового квантового інтерференційного сенсора (НКІС) з представленням розв'язку диференціального рівняння як функції залежності відгуку напруги від часу. На основі запропонованого розв'язку диференціального рівняння досліджено залежність зміни різниці фаз хвильових функцій від параметрів еквівалентної схеми ПД, результати досліджень подано у вигляді графіків.

Ключові слова: генератор тактових імпульсів, перехід Джозефсона, цифрова обробка інформації, високотемпературні надпровідники, квантовий інтерферометр.

Abstract. The current state of development of electronic technology and the rapid development of wireless information transmission systems requires the search for new technologies that would meet the requirements of increasing the frequency of signal transmission. The idea of the operation of clock pulse generators as devices of digital information processing is revealed in the work, in particular the physical model of the clock pulse generator on the basis of Josephson transitions is constructed. The scheme of the clock generator is given and its description is made. The linearization of the two-contact superconducting quantum interference sensors (SQIS) voltage response function is described with the representation of the solution of the differential equation as a function of the voltage response versus time. Based on the proposed solution of the differential equation, the dependence of the change in the phase difference of the wave functions on the parameters of the equivalent PD scheme is investigated, the research results are presented in the form of graphs.

Key words: clock generator, Josephson junction, digital information processing, high temperature superconductors, quantum interferometer.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-84-90>.

Вступ

Вступ до теми статті. Постійно зростаючі потреби в розширенні смуги робочих частот і підвищення швидкодії безпроводних систем передавання інформації та підвищення чутливості пристроїв приймання та оброблення радіосигналів все важче задовільнити в рамках традиційних технологій з несучими частотами в діапазоні $2 \div 5$ ГГц. Це сприяє проведенню досліджень та розробці пристроїв безпроводного передавання, приймання та оброблення сигналів у терагерцовому діапазоні, застосування якого дає можливість будувати телекомунікаційні системи з надвисокою пропускнуою здатністю [1, 2].

Актуальність

Серед багатьох технологій, які використовуються в теперішній час для розв'язання цих задач найбільш ефективним є застосування макроскопічних квантових ефектів у надпровідникових структурах.

Це дозволяє створювати високочутливі, швидкодіючі пристрої цифрового оброблення та передавання радіосигналів для сучасних телекомунікаційних систем в міліметровому та субміліметровому діапазоні хвиль [3,4].

Окрім високої чутливості, яка обумовлена низьким рівнем робочих температур, такі пристрої характеризуються вкрай малою енергією перемикавання, яка становить 10^{-18} Дж/біт (для напівпровідникових пристроїв мінімальне значення становить 10^{-13} Дж/біт) та високою швидкістю. Тактові частоти пристроїв на базі низькотемпературної надпровідності можуть становити кілька сотень ГГц, а у випадку високотемпературної надпровідності (в ВТНП) – 1 ТГц і більше [5,6].

Одним із важливих елементів пристроїв цифрової обробки інформації є генератори тактових імпульсів, які широко використовуються при побудові аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювачів сигналів і в багатьох інших системах.

Застосування високотемпературних надпровідників (ВТНП) забезпечує можливість формування джозефсонівських переходів (ПД) з більш високими значеннями характерної частоти, що є важливим для створення джозефсонівських генераторів в терагерцовому діапазоні. Проте, при виготовленні високоякісних ПД з відтворювальними параметрами на базі ВТНП виникає багато проблем, які не дають можливості використовувати традиційні технології, що застосовуються у випадку низькотемпературних ПД. Одним із основних методів, який забезпечує можливість формування ПД з досить високим відтворенням параметрів є використання ВТНП плівки, які вирощуються на бікристалевих підкладках [2, 6]. Проте із-за неоднорідності бікристалевої межі такої структури, використання традиційних зосереджених моделей тут неможливо.

Мета

Тому метою цієї статті є побудова фізичної моделі генератора тактових імпульсів на базі переходів Джозефсона з використанням високотемпературної надпровідності та дослідження його параметрів та характеристик.

Задачі

1. Розробити еквівалентну схему генератора тактових імпульсів з урахуванням резистивної моделі бікристалового переходу Джозефсона на базі високотемпературної надпровідності.
2. Дослідити залежність різниці фаз хвильових функцій та напруги на виході генератора від параметрів резистивної моделі бікристалового переходу Джозефсона.

Розв'язання задач

Найбільш перспективним та розповсюдженим ВТНП матеріалом є з'єднання YBa_2CuO_{7-x} . Епітаксialна плівка ВТНП, вирощена на бікристалевій підкладці є також бікристаловою з такою ж кристалграфічною орієнтацією, а її бікристалова межа характеризується слабкими джозефсонівськими зв'язками.

В праці [7] показано, що фізична модель ДП, сформованого на базі бікристалічної межі двох ВТНП може бути представлена у вигляді двох паралельно ввімкнених індуктивно зв'язаних джозефсонівських елементів, еквівалентну схему яких можна зобразити у вигляді простої резистивної моделі (рис. 1).

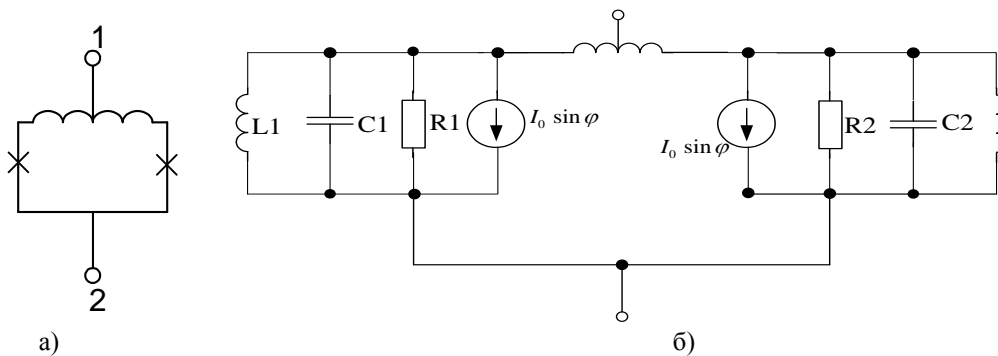


Рисунок 1 – Фізична модель бікристалового ДП (а) і його еквівалентна схема (б)

I_0 – критичний струм ПД; R – динамічний опір тунелювання квазічастинок; C – електростатична ємність ПД L – індуктивність ПД; Ψ – різниця фаз хвильових функцій.

Величина критичного струму залежить від типу надпровідника і його величину можна розрахувати за виразом

$$I_0 = \frac{\Delta}{2_g R_n},$$

де R_n – опір переходу в нормальному ненадпровідниковому стані; 2Δ – ширина енергетичної щілини надпровідника.

Відмінність наведеної еквівалентної схеми ПД полягає в тому, що вона враховує індуктивність, величину якої можна розрахувати за виразом [7]

$$L = \frac{h}{2qI_0 \cos \Psi}, \quad (1)$$

Враховуючи, що нанорозмірні переходи на базі ВТНП не потребують зовнішнього шунтування для забезпечення демпфування, принципова схема генератора тактових імпульсів наведена на рис. 2 [8].

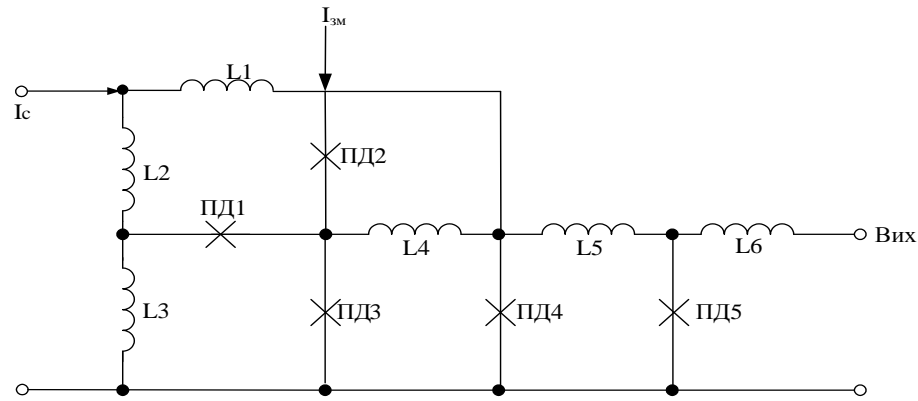


Рисунок 2 – Фрагмент принципової схеми генератора тактових імпульсів

З урахуванням вищенаведеного фрагменту фізичної еквівалентної схема генератора наведена на рис. 3.

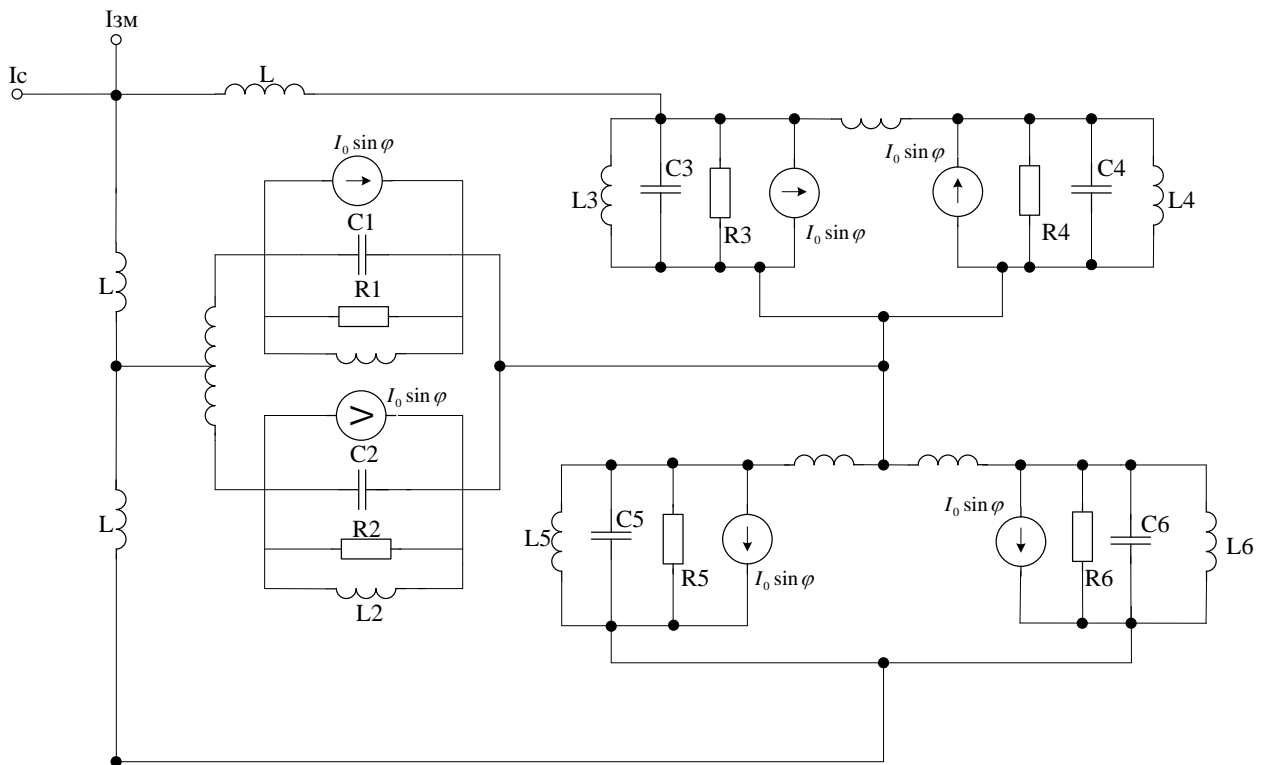


Рисунок 3 – Фрагмент еквівалентної схеми генератора тактових імпульсів на базі ПД

Генератор тактових імпульсів складається із надпровідникового квантового інтерферометра (НКІ) (L3, ПД1, ПД3) та формувача імпульсів (L4, ПД4, L5, ПД5).

Через НКІ пропускається постійний струм, ненабагато менший критичного струму, та струм синхронізації I_c , який визначає частоту та фазу послідовності тактових імпульсів. При передаванні тактових імпульсів по надпровідникових шинах, амплітуда імпульсу зменшується і він розтягується у часі. Для збереження форми імпульсу використовується формувач імпульсів, на який подається струм змищення, величина якого чуть менша критичного струму. Тому, якщо на вхід формування імпульсів поступає "розмитий" тактовий імпульс, то на виході має місце короткий одноквантовий імпульс напруги. В деяких випадках виникає необхідність в розширенні одноквантових імпульсів напруги.

Для розв'язання цієї задачі можуть використовувати методи, запропоновані в праці [9]. Слід відзначити, що надпровідникові квантові інтерференційні сенсори (НКІС) постійного струму, які являють собою надпровідникове кільце з ввімкненими в нього двох ПД (L3, ПД1, ПД3) добре відомі та широко використовуються, як високочутливі перетворювачі магнітного сигналу в напругу. Проте вони характеризуються дуже обмеженою лінійністю відтвореної напруги [9]. У випадку низькочастотних при-

строїв на базі НКІС висока лінійність і значний динамічний діапазон досягається за рахунок введення кола слідкуючого зворотного зв'язку. У випадку міліметрового діапазону хвиль такий зовнішній зворотний зв'язок реалізувати неможливо, тому на схемі, наведеній на рис.2, для реалізації формувачів імпульсів пропонується використовувати бі-НКІС, запропоновані в праці [9].

Для лінеаризації функції відгуку напруги двоконтантного НКІС паралельно основній індуктивності вмикається третій ПД, який завжди перебуває у надпровідниковому стані та грає роль нелінійної індуктивності. Додатково введений ПД і головна індуктивність утворюють однокотактний НКІС, який здійснює нелінійне перетворення магнітного потоку в різницю фаз хвильових функцій ПД, $\Delta\Psi = \Psi_1 - \Psi_2$ двоконтантного НКІС до наступного нелінійного перетворення різниці фаз $\Delta\varphi$ в постійну складову напруги. Таким чином ми отримуємо результуюче лінійне перетворення вхідного сигналу в напругу.

Величину напруги на ПД можна розрахувати за виразом

$$U = \frac{\hbar}{2q} \cdot \frac{d\psi(t)}{dt}, \quad (2)$$

де $\psi(t)$ – різниця фаз хвильових функцій на ПД, яку можна визначити використовуючи рівняння для струму, що протікає через ПД у випадку резистивної моделі (рис.1б).

$$i(t) = I_0 \sin \psi(t) + c \frac{dU(t)}{dt} + GU(t) + L \int_0^t U(t) dt \quad (3)$$

Враховуючи (1) і (2) вираз (3) можна переписати так

$$\frac{I}{I_0} = \sin \psi(t) + \frac{c\hbar}{I_0 2q} \frac{d^2\psi(t)}{dt^2} + \frac{G\hbar}{I_0 2q} \frac{d\psi(t)}{dt} + \frac{\hbar^2}{4q^2 I_0^2 \cos \psi(t)} \psi(t) \quad (4)$$

Для розв'язку рівняння (8) будемо використовувати метод Рунге-Куты та апроксимацію поліномом сьомого порядку. Поліноміальний ряд для розрахунку різниці фаз хвильових функцій має вигляд

$$\varphi(t) = P_0 t^0 + P_1 t^1 + P_2 t^2 + P_3 t^3 + P_4 t^4 + P_5 t^5 + P_6 t^6 + P_7 t^7$$

При розв'язанні цього рівняння використовувались такі вихідні дані $C = 0,01 \cdot 10^{-12}$ Ф, $G=5/7$ См, $I = 2 \cdot 10^{-3}$ А, $I_0 = 1 \cdot 10^{-3}$ А, $t = 2 \cdot 10^{-12}$ с, $\varphi = 90^\circ$ – початкова фаза.

Розв'язок рівняння має вигляд:

$$\varphi(t) = -0,007911 + 0,008742 \cdot t + 0,053569 \cdot t^2 + (-0,013860) \cdot t^3 + (-0,199074) \cdot t^4 + (-0,606032) \cdot t^5 + (-0,010983) \cdot t^6 + 2,323014 \cdot t^7$$

З використанням такого представлення розв'язку диференціального рівняння досліджено залежність зміни різниці фаз хвильових функцій від параметрів еквівалентної схеми ПД. Результати досліджень наведені на рис. 4, 5 та 6.

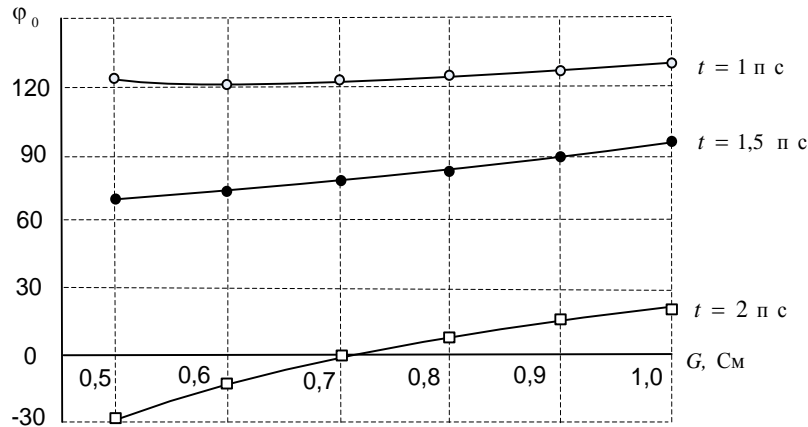


Рисунок 4 – Залежність напруги на переході від динамічного опору переходу Джозефсона

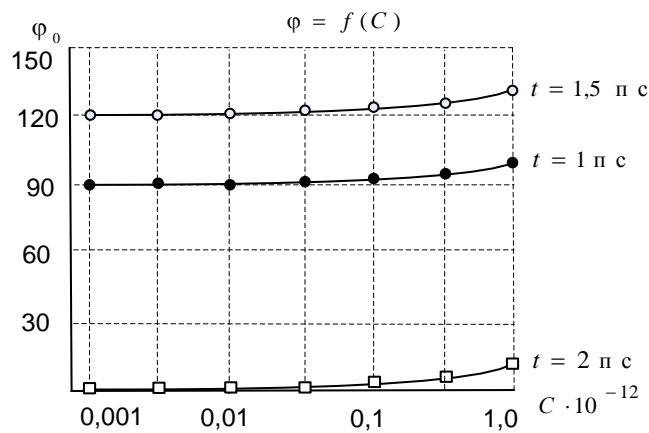


Рисунок 5 – Залежність різниці фаз хвильових функцій від електростатичної ємності

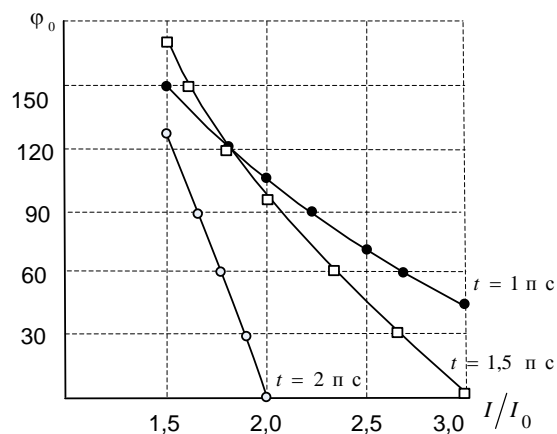


Рисунок 6 – Залежність різниці фаз хвильових функцій від критичного струму

Аналіз результатів показує, що зміна ємності переходу до 0,1 пФ практично не впливає на різницю фаз хвильових функцій, а зміна динамічного опору приводить до значної зміни різниці фаз хвильових функцій. Зміна критичного струму також призводить до значної зміни різниці фаз хвильових функцій, що ще раз підтверджує необхідність врахування індуктивності переходу при розрахунках пристроїв на базі ПД.

На рисунку 7 наведена залежність напруги на переході від нелінійної провідності для різних значень ємності переходу. Як видно із графіків, зменшення ємності переходу приводить до збільшення напруги на переході. Це зумовлено тим, що зменшення ємності приводить до збільшення струму, а, відповідно, і напруги.

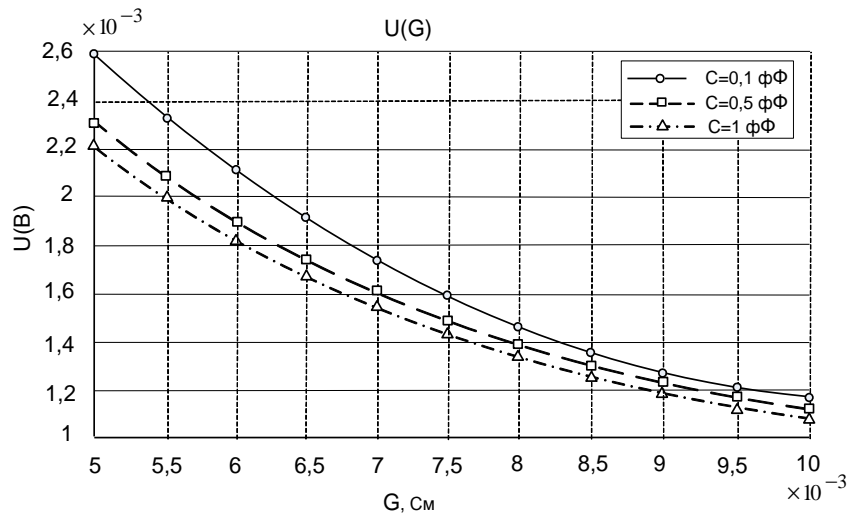


Рисунок 7 – Залежність напруги на переході від нелінійної провідності при різних значеннях ємності

На рисунку 8 наведена залежність напруги на переході Джозефсона від ємності для різних значень диференціальної провідності.

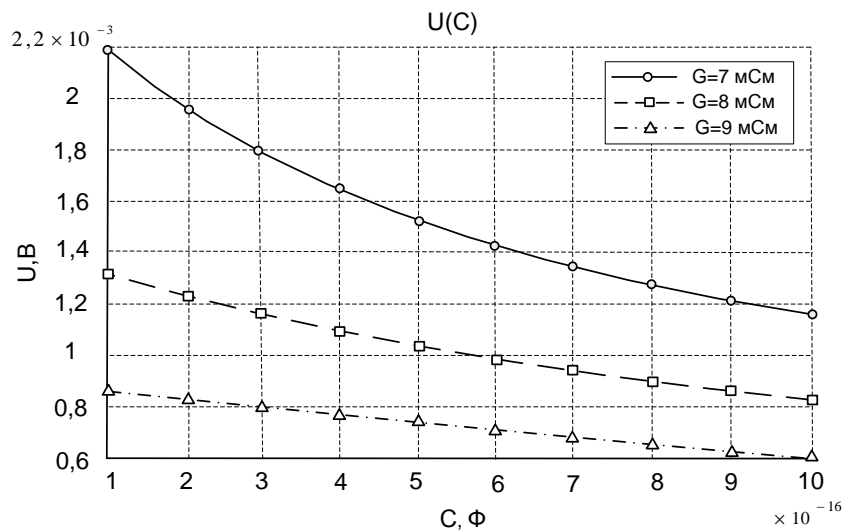


Рисунок 8 – Залежність напруги на переході від ємності переходу

Висновки

1. Запропоновано математичну модель переходу Джозефсона, яка, на відміну від відомих, враховує індуктивність переходу, що дало можливість оцінити її вплив на різницю фаз хвильових функцій і амплітуду вихідної напруги та забезпечує кращу збіжність теоретичних результатів і експериментальних досліджень.

2. З використанням запропонованої моделі проведені розрахунки залежності змінної напруги на переході від параметрів еквівалентної схеми переходу Джозефсона, які показали, що її величина має такий же порядок, як і експериментальні результати, наведені у відомих працях вітчизняних та зарубіжних авторів.

3. Як видно із графіків, при збільшенні ємності напруга зменшується, і тому, при виготовленні переходів Джозефсона, для збільшення напруги необхідно вибирати діелектрики зі значно меншим значенням відносної діелектричної проникності ϵ .

Список літератури

- [1] М. Ю. Ільченко, та С. О. Кравчук, *Телекомунікаційні системи. Монографія*. Київ, Україна: Наукова думка, 2017.

- [2] М. Ю. Торгашин, “Разработка и исследование джозефсоновских генераторов терагерцевого диапазона на основе распределенных туннельных переходов”, дис. канд. наук. Москва, РФ, 2013.
- [3] М. М. Будник, Ю. В. Пустовіт, та О. В. Прокопенко. *Надпровідникова електроніка: Електронний навчальний посібник*. Київ, Україна: ФРЕКС КНУ імені Тараса Шевченка, 2020.
- [4] И. И. Соловьев, “Сверхпроводящие квантовые интерферометры для устройств приема сигнала и обработки информации”, дис. док. наук. Москва, РФ, 2018.
- [5] C. Bell, G. Burnell, C.W. Leung, E. J. Tarte, D.-J. Kang, and M.G. Blamire, *Appl. Phys. Lett.* 84, 1153 (2004).
- [6] К. В. Калашников, А. В. Худченко, А. М. Барышев, и В. П. Кошелец “Гармонический смеситель на туннельном переходе сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник”, *Радиотехника и электроника*, т.56, №6, с. 755-759, 2011.
- [7] А. В. Арзуманов, “Многоэлементные синхронные джозефсоновские структуры”, дис. канд. физ.-матем. наук, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ, 2003.
- [8] И. Д. Войтович, и В. М. Корсунский, *Нанoeлектронная элементная база информатики. Науч. пособие*. Москва, РФ: БИНОМ, 2013.
- [9] В. К. Корнев, И. И. Соловьев, А. В. Шарафиев, и Н. В. Кленов, *От одно- и двухконтактного сквидов к би-сквиду*. Москва, РФ: Труды МГУ им. М. В. Ломоносова, 2011.

Стаття надійшла: 20.01.2022.

References

- [1] М. YU. Il'chenko, S.O. Kravchuk. *Telekomunikatsiyini systemy*. Monohrafiya. Kyiv. Naukova dumka. 2017, 736 s. [in Ukrainian].
- [2] М. Yu. Torgashin *Razrabotka i issledovaniye dzhozefsonovskikh generatorov teragertsevykh diapazonov na osnove raspredelennykh tunnel'nykh perekhodov*: dis. kand. nauk M.: 2013, 140 s. [in Russian]
- [3] М. М. Budnyk, YU. V. Pustovit, O. V. Prokopenko. *Nadprovidnykova elektronika: Elektronnyy navchal'nyy posibnyk*. Kyiv, FREKS KNU imeni Tarasa Shevchenka, 2020. 205s. [in Ukrainian].
- [4] I. I. Solov'yev. *Sverkhprovodyashchiye kvantovyeye interferometry dlya ustroystv priyema signala i obrabotki informatsii*. dis. dok-ra nauk. M., 2018, 350 [in Russian].
- [5] C. Bell, G. Burnell, C.W. Leung, E. J. Tarte, D.-J. Kang, and M.G. Blamire, *Appl. Phys. Lett.* 84, 1153 (2004).
- [6] K. V. Kalashnikov, A. V. Khudchenko, A. M. Baryshev, V. P. Koshelets, “Garmonicheskiy smesitel' na tunnel'nom perekhode sverkhprovodnik-izolyator-sverkhprovodnik”, *Radiotekhnika i elektronika*, t.56, №6, s.755-759, 2011 [in Russian].
- [7] A. V. Arzumanov, *Mnogoelementnyye sinkhronnyye dzhozefsonovskiyе структуры: dis. kand. fiz.-matem. nauk*: 01.04.03. MGU im. M.V. Lomonosova. M. RF. 2007, 122 s. [in Russian].
- [8] I. D. Voytovich, V. M. Korsunskiy *Nanoelektronnaya elementnaya osnova informatiki*. Nauch. posobiye M. RF: BINOM, 2013, 643 s. [in Russian].
- [9] V. K. Kornev, I. I. Solov'yev, A. V. Sharafiyev, N. V. Klenov, *От одно- и двухконтактных сквидов к би-сквиду*. M. RF: Trudy MGU im. M. V. Lomonosova, 2011, 17 s. [in Russian].

Відомості про авторів

Кичак Василь Мартинович – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри інфокомунікаційних систем і технологій.

Гузь Максим Дмитрович – інженер кафедри інфокомунікаційних систем і технологій.

Макогон Віталій Іванович – кандидат технічних наук, асистент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій.

Коломієць Альона Анатоліївна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри вищої математики.

V. M. Kychak, M. D. Huz, V. I. Makohon, A. A. Kolomiets

GENERATOR OF TACTICAL IMPULSES ON THE BASIS OF THE HIGH – TEMPERATURE NUCLEAR VOLTAGE OF JOSEPHSON JUNCTIONS

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ МЕТОДИ

УДК 37.022.32: 681.3

С. А. Кирилашук, З. В. Бондаренко, В. І. Клочко, І. В. Хом'юк

**ЗАСТОСУВАННЯ ЗНАКОВО-СИМВОЛІЧНОГО ПІДХОДУ
У ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ ПРОФЕСІЙНИХ
КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СТУДЕНТІВ ВИЩИХ ТЕХНІЧНИХ
НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ**

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. У статті розглянуто проблему застосування знаково-символічного підходу (моделювання, кодування, схематизація, заміщення) до формування у студентів вищих технічних навчальних закладів високого рівня математичної компетентності на прикладі формування трьох компонент: мислити математично; представляти математичні сутності (об'єкти та ситуації); володіти математичними символами та формалізмом. Окреслено окремі змістові й семіотичні аспекти добору задач для навчання математики в процесі формування професійних компетентностей майбутніх бакалаврів технічного профілю.

Ключові слова: математична компетентність, засоби навчання, знаково-символічні засоби, професійна компетентність, бакалавр.

Abstract. The article considers the problem of applying the sign-symbolic approach (modeling, coding, schematization, substitution) to the formation of students of technical specialties of high level of mathematical competence on the example of the formation of three components: to think mathematically; represent mathematical entities (objects and situations); have mathematical symbols and formalism. Some semantic and semiotic aspects of the selection of problems for teaching mathematics in the process of formation of professional competencies of future bachelors of technical profile are outlined.

Key words: mathematical competence, teaching aids, sign-symbolic means, professional competence, bachelor.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-91-100>.

Вступ

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується особливо динамічним бурхливим удосконалюванням техніки, що на сьогодні досягло якісно нового рівня. Технічні знання, що йому відповідають, характеризуються зростанням абстрактно-теоретичного рівня, що, у свою чергу, супроводжується універсалізацією способу технічного опису і методів переходу від процесу до структури та до предметних елементів. Відбувається процес безперервної диференціації знань, який обумовлюється появою безлічі нових об'єктів у вигляді пристроїв, технологічних процесів. Інтеграційні процеси, що відбуваються у сфері технічних наук, є відзеркаленням процесу використання різних дисциплін для вирішення тієї чи іншої технічної проблеми [7].

Діяльність сучасної людини усе більше будується на взаємодії не з конкретними матеріальними об'єктами і явищами, а з їхніми знаково-символічними відображеннями, що пов'язані зі створенням найсучасніших інженерних засобів виробництва і управління. Оскільки, сучасна інженерна діяльність фахівців пов'язана зі створенням найсучасніших інженерних засобів виробництва і управління, використанням наукових знань, застосуванням на практиці нових наукових відкриттів, упровадженням нових технологій, тому і цілі підготовки фахівців повинні відповідати сучасним засобам навчання.

Щоб відповідати об'єктивним вимогам соціального прогресу, теорія й практика вищої освіти потребують нових підходів до підготовки майбутніх фахівців. Одним з таких підходів у педагогіці є семіотичний підхід до освіти.

Актуальність

Використанню ідей семіотики в освітній сфері присвячені дослідження А. А. Веряєва, Н. Г. Салміної, С. А. Смирнова, Н. А. Тарасенкової, В. И. Фоміна й інших вчених. Семіотичний підхід до навчання «являє собою такий розгляд проблем педагогіки, що у главу кута ставить зв'язок змісту, цілей, засобів, методів утворення зі структурою й функціонуванням знакових систем, співвідносить семиозис із освітнім процесом» [1]. Застосування знаково-символічного підходу до навчання є об'єктом дослідження науковців, праці яких присвячені проблемі формування іншомовної комунікації майбутніх фахівців. Разом з тим, теоретичний аналіз наукових праць свідчить, що проблема застосування знаково-символічного підходу до навчання вищої математики ще не була предметом спеціального дослідження у сучасній вітчизняній педагогічній науці. Результати аналізу науково-педагогічних джерел свідчать також про те, що проблема застосування знаково-символічного підходу до формування професійних компетентностей студентів вищих технічних навчальних закладів засобами математичних дисциплін ще не була предметом спеціального дослідження у сучасній вітчизняній педагогічній науці.

У роботах Ч. Пірса і Ф. Де Соссюр [2] знаки розглядаються як елементарні частинки, через які здійснюється аналіз даних. Знання синтаксису й семантики тієї знаково-символьної системи, засобами якої подано відомості, є запорукою зчитування повідомлень та оперування ними.

У сучасній семіотиці поняття «знак» розглядається в контексті більш широких понять «знакова система» і «знакова ситуація». Знакова система трактується як матеріальний посередник у взаємодії інших систем. Проста знакова система є матеріальним посередником, що слугує обміну інформацією між двома системами [3].

Використання знаково-символічних засобів (ЗСЗ) відноситься до педагогічних новацій останнього часу. Як зазначає Тарасенкова Н. А. «дії та перетворення системи знаково-символічних засобів, що становить зміст знаково-символічної діяльності, в різних видах діяльності (навчальній, професійній та ін.) має загальну структуру і функціонування» [6]. Тому, під знаково-символічної діяльністю ми розуміємо відображення і перетворення дійсності, її об'єктів та інтероб'єктних зв'язків за допомогою спеціальних засобів, основною характеристикою яких є нетотожність відображувальному об'єкту.

Згідно з Россом Тернером [11], до набору компетентностей, які є фундаментальними для загальнокультурного розвитку людини, відноситься математична компетентність – перетворення реальної проблеми в математичну, інтерпретація математичних об'єктів чи інформації щодо представлені ситуації.

Автори спіралися, зокрема, на результати виконання досліджень, у яких було сформовано перелік, що складається з восьми компетенцій, що визначають математичну компетентність [9, 10].

Мета

Мета статті полягає в обґрунтуванні шляхів застосування знаково-символічного підходу у математичній підготовці студентів вищих технічних навчальних закладів.

Задачі

1. Визначення знаково-символічних засобів для формування математичної компетентності.
2. Визначення критеріїв та показників сформованості рівня знань сформованості професійних компетентностей бакалаврів галузі ІТ-технологій.
3. Аналіз результатів контрольного експерименту, спрямованого на виявлення ефективності впливу знаково-символічного підходу до формування у студентів вищих технічних навчальних закладів високого рівня математичної компетентності.

Розв'язання задач

Стрімкий технічний розвиток суспільства супроводжується зростанням темпів інформатизації суспільства, що, у свою чергу, характеризується глибокими змінами у освітньому процесі вищої школи. Ці зміни спрямовані на забезпечення цілісності, системності та формування у студентів високого рівня професійної компетентності. Математичну компетентність студентів вищих технічних навчальних закладів можна визначити як теоретичну складову та вміння застосовувати набуті знання в професійній діяльності. Отже, в рамках предметної компетентності саме математичну розглядаємо як ядро професійної компетентності студентів вищих технічних навчальних закладів. Враховуючи процес організації навчання та особливості технічної спеціальності, в професійній компетентності таких майбутніх фахівців можна виокремити нижче наведені компоненти.

Дане дослідження пов'язане лише з наведеними нижче компонентами математичної компетентності студентів вищих технічних навчальних закладів:

1. *Володіти математичними символами та формалізмом*: декодувати та інтерпретувати символи й формальну математичну мову, розуміти їх взаємозв'язок з природною мовою; оперувати виразами, що містять символи та формули – базовий компонент.

2. *Представляти математичні сутності (об'єкти та ситуації)*: розуміти та використовувати різні типи представлень математичних об'єктів, явищ та ситуацій, необхідних у професійній діяльності; розуміти та використовувати взаємозв'язки між різними типами представлень однакових об'єктів, включаючи знання про їх переваги та обмеження – операційно-діяльнісний компонент.

3. *Мислити математично*: вміти формулювати задачі, які характерні для математики та знати можливі типи відповідей; розуміти математичні концепції, їх завдання та обмеження; вміти долати обмеження шляхом абстрагування та узагальнення результатів на ширші класи об'єктів.

Таким чином, навіть виділені компоненти математичної компетентності є складною структурою, складники якої мають взаємодоповнюючий характер. Вони є ефективним інструментом розробки навчальних планів з вищої математики для різних інженерних спеціальностей, шляхом використання їх вимірів для детальної оцінки потреб та досягнень студентів.

Найважливішою задачею навчання математики є здійснення переходу до якісної індивідуальної підготовки фахівців, що обізнані не лише з проблемами своєї вузькопрофесійної діяльності, але й мають глибокі фундаментальні основи, однією з яких є математика.

Під час вивчення вищої математики студенти зустрічаються з новими для себе інформаційними знаками, зі знаками, притаманними формальному для них середовищу. Вивчення тих або інших аспектів курсу вищої математики на основі знаково-символічного підходу означає виявлення знакової природи явища, що вивчається, виявлення правил побудови знаків і їх комбінацій, встановлення значеннєвого змісту знаків, знаходження умов, при яких виникають ці або інші знакові ситуації [6].

Будь-який математичний об'єкт, про властивості якого в математичній теорії формулюються твердження, подається, як правило, своїми знаковими моделями. Конструктивними будуть ті з них, які можна зобразити у вигляді скінченної, повністю визначеної сукупності імен деяких базисних об'єктів, відношень між ними та скінченної системи операцій над іменами.

У психолого-педагогічній літературі підкреслена важливість застосування знаково-символічних засобів у будь-якому виді людської діяльності [4, 5]. Семіотичний підхід до навчання розглядає проблеми педагогіки у взаємозв'язку змісту, цілей, методів навчання зі структурою та функціонуванням знакових систем, співвідносних з освітнім процесом. Сутністю процесу навчання має стати надання студенту інструментарію у вигляді особливих знаків, за допомогою яких студент міг би відображати власний досвід та кодувати, перекодувати новий набутий досвід. Значущість та універсальність семіотичного підходу у навчальному процесі полягає у тому, що користування знаками допомагає студентам отримувати великий обсяг інформації у різноманітних сферах. Сучасне виробництво вимагає принципово нових технічних і технологічних підходів, які можуть розробити лише фахівці, здатні інтегрувати ідеї з різних галузей науки, оперувати міждисциплінарними категоріями, комплексно сприймати інноваційний процес [7]. Семіотичний підхід до пізнання у будь-якій предметній галузі, є одним із можливих варіантів реалізації фундаментальної складової професійної підготовки сучасного фахівця.

Слід зазначити, що з метою ефективного здійснення комунікації з використанням виразів, що містять символи та формули, студенти мають усвідомлено опанувати знаковими системами різного рівня. Отже, опанування математикою буде результативним лише за умови, що вивчення дидактичних одиниць (елементів знань) як символів здійснюватиметься при усвідомленні їхньої цінності під час формування думки. Під час введення нового поняття, викладач подає перш за все його графічне тлумачення. Його значення може бути зрозумілим, якщо студент має відповідний досвід що до об'єкта, який цей термін презентує.

У навчальному процесі одним із завдань викладача є максимальне наближення навчального матеріалу до реальності. Проте, разом з тим, слід розуміти, що відображення сутності цієї реальності у вигляді семіотичних систем (рисунок, графіки, схеми тощо) деякою мірою умовні. Зображення навчальної інформації здійснюється у вигляді знаків. За твердженням науковців, знак являє собою матеріальний предмет, подію або дію, що чуттєво сприймається та слугує у пізнанні в якості означення, позначення або представлення іншого предмета, події, дії, суб'єктивного утворення [4].

Отже, важлива якість знаку: він сам є певним матеріальним об'єктом, а застосовується для позначення чогось іншого, тому, розуміння знаку неможливе без з'ясування його значення – як предметного, так і смислового.

Згідно з теоретичними положеннями В. В. Давидова, характер змістовних навантажень у навчанні має бути змінений. Ними повинні стати моделі, які є засобом формування абстрактних понять. З посиленням ролі теоретичних знань значення наочності підвищується.

З урахуванням цього, ефективному вирішенню проблеми формування математичної компетентності сприятиме застосування в навчальній діяльності таких знаково-символічних засобів:

- моделювання (аналіз підґрунтя та властивостей існуючих моделей; декодування існуючих моделей, тобто інтерпретація елементів моделі в термінах реальної задачі; будовання моделей);
- кодування (декодування та інтерпретація символів та формально математичної мови, оперування виразами, що містять символи та формули);
- схематизація (розуміння та використовування різних типів представлень математичних об'єктів, явищ та ситуацій; розуміння та використовування взаємозв'язків між різними типами представлень однакових об'єктів);
- заміщення (використовування різних типів представлень математичних об'єктів, явищ та ситуацій; використовування взаємозв'язків між різними типами представлень однакових об'єктів, включаючи знання про їх переваги та обмеження).

Прикладом реалізації таких тверджень може бути електричне коло, зображене на рис. 1.

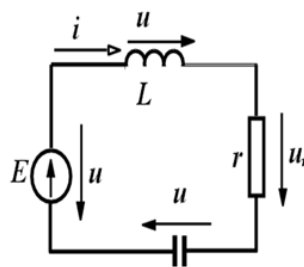


Рисунок 1– Електричне коло, як модель представлень математичних об'єктів

Згідно з рівняннями Кірхгофа формується диференціальне рівняння. Для його розв'язання застосовуються різні праві частини (різна напруга), а також різні методи розв'язування, зокрема, застосування СКМ та аналіз моделі.

Практичне заняття, на якому розглядається наведена задача можна віднести до "практичне заняття однієї задачі", проте, воно може бути продовжене і в якості проекту, доповіді на конференції чи написанні статті.

Відповідне лінійне диференціальне рівнянням другого порядку відносно сили струму $I(t)$:

$$L \frac{d^2 I(t)}{dt^2} + R \frac{dI(t)}{dt} + \frac{1}{C} I(t) = \frac{du(t)}{dt}$$

Рівняння будується студентами на основі заданих компонентних рівнянь двополюсників.

У діяльності студентів під час розв'язання даної задачі знаково-символічні засоби (ЗСЗ) виконують замісну, пізнавальну й комунікативну функції. Матеріалізовані певним чином абстрактні математичні об'єкти (замісна функція ЗСЗ) стають придатними для чуттєвого сприйняття студентами, перетворюються в специфічний матеріал для теорії диференціальних рівнянь. У процесі пізнання він використовується як для виділення істотного в плані сприйняття (розв'язування та дослідження), так і для виділення основного в діях, що перетворює у предметний абстрактний об'єкт (розв'язок), продукує знання й способи їх застосування (пізнавальна функція ЗСЗ).

Застосування таких моделей передбачає різні аспекти продуктивного мислення, а саме: мислення отримує властивості системності завдяки запрограмованій системній переробці інформації безпосередньо в процесі первинного сприйняття; підтримуються механізми пам'яті та покращується контроль за інформацією завдяки наочному поданню знань у згорнутому вигляді (графіка або фазового портрета); покращується робота інтуїтивного мислення; удосконалюється здатність до згортання та розгортання інформації (форма розв'язку аналітична, графічна або чисельна); формується опорність мислення тощо.

Відповідно до наведених вище функцій ЗСЗ у роботах Н. Г. Салминой [4, с. 58] виділені наступні види знаково-символічної діяльності: заміщення, кодування (декодування), схематизація і моделювання:

- заміщення – відтворення реальності за допомогою особливих об'єктів-замішувачів;
- кодування – вміння відтворювати дійсність за допомогою певної мови зі своїм алфавітом та правилами;
- схематизація – використання знаково-символічних засобів для побудови та дослідження схем як «орієнтувань у реальності»;
- моделювання – отримання об'єктивно нової інформації про об'єкт або процес за рахунок оперування знаково-символічними засобами.

Ці види діяльності є ключовими під час проведення занять. Таким чином, використання знаково-символічних систем значно полегшують засвоєння навчального матеріалу. Застосування ЗСЗ в процесі навчання розвиває логічне мислення студентів, полегшує засвоєння матеріалу під час вивчення складних математичних понять, сприяє зниженню зорового навантаження.

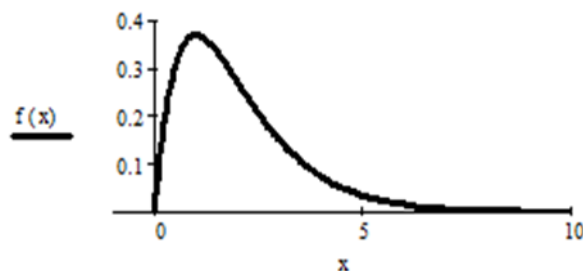
В нашому випадку, наприклад, такий вид діяльності, як заміщення, може бути конкретизований такими діями:

- створення (вибір) моделей-замішувачів для реальних об'єктів або процесів;
- визначення умов, за яких заміщення об'єкта або процесу на відповідну модель виправдано;
- визначення меж похибок, можливих при заміні реального об'єкта або процесу на його модель.

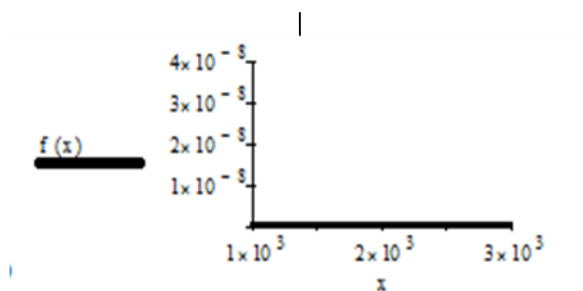
Формування у студентів вміння виконувати кожну з перелічених дій, сукупність яких забезпечує володіння таким прийомом діяльності, як заміщення, відбувається при розв'язуванні відповідних завдань прикладного характеру.

Використовувати СКМ доцільно, коли маємо складну задачу, яка потребує часу для обчислень вручну (наприклад, розв'язування великої кількості систем рівнянь). Важливо, щоб студенти вивчали не тільки команди спеціальної програми (root, solve...), а вміли знаходити можливі помилки програмного забезпечення, зумовлені його недосконалістю.

Розглянемо функцію $f(x) = x \cdot e^{-x}$, площа під кривою якої дорівнює 1. Специфіка такої функції полягає в тому, що її значення швидко зменшується зі збільшенням x , що відображено на рис. 2.

Рисунок 2 – Графік функції $f(x) = x \cdot e^{-x}$ на інтервалі від 0 до 10

Наприклад, на інтервалі зміни x від 0 до 10000 кривої функції вже просто не видно на графіку (точніше вона збігається з віссю x), що зображено на рис. 3.

Рисунок 3 – Графік функції $f(x) = x \cdot e^{-x}$ на інтервалі від 0 до 10000

Цікаво, що обчислення визначеного інтегралу від вищевказаної функції системою Mathcad на проміжках, що відрізняються верхньою межею інтегрування мають різні результати, хоча відомо, що площа під такою кривою дорівнює одиниці.

$$\int_0^{100} x e^{-x} dx = 1 \quad \int_0^{10000} x e^{-x} dx = 1 \quad \int_0^{100000} x e^{-x} dx = 0 \quad \int_0^{\infty} x e^{-x} dx = 1$$

Система Maple пропонує обчислювати границю наступним чином:

$$> \text{int}(x * e^{(-x)}, x=0..infinity);$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} - \frac{e^{(-x)} + x e^{(-x)} \ln(e) - 1}{\ln(e)^2}$$

$$\text{int}(x * e^{(-x)}, x=0..100);$$

$$\frac{e^{100} - 1 - 100 \ln(e)}{e^{100} \ln(e)^2}$$

Ця обставина досить підступна. Багато методів інтегрування засновані на обробці скінченного числа відліків функції $f(x)$. Проте, в подібній ситуації всі відліки можуть бути «нульовими» з позицій обмеженої точності обчислення дуже малих чисел.

Потужність комп'ютерів зростає, але і задачі, які вирішують науковці, стають більш складними й потребують більш складних обчислювальних методів. Проблеми, які математики досліджували кілька десятиліть тому, тепер знаходяться в межах можливостей студента чи інженера-початківця. З одного боку, нема сенсу витрачати час на опанування методу прямокутників, методу Сімпсона чи методу трапецій, тому

що їх не використовують на практиці, з іншого боку, використання комерційних програм підтримки математики приховує небезпеку, бо їх часто використовують як "чорні комірки": ввів умову – отримав відповідь.

Щоб краще зрозуміти виникнення даної помилки розглянемо обчислення даного інтеграла методом прямокутників (рис.4).

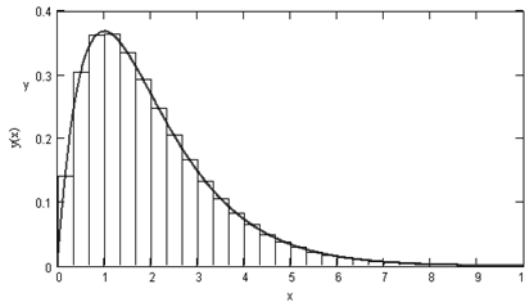


Рисунок 4 – Обчислення визначеного інтеграла методом прямокутників

$$f(x) = x \cdot e^{-x} \quad m = 30; \quad a = 0;$$

$$b = 10; \quad dx = (b - a) \setminus m, \quad \int_a^b y(x) dx = 0.999501$$

Результат певною мірою близький до 1. Але тепер, нехай число прямокутників $m = 30$, а змінимо межу інтегрування b на 100000:

$$\int_a^b y(x) dx = 5.075958897550 \times 10^{-429}$$

Замість очікуваного наближення до 1 ми одержуємо «несподіваний» результат – значення інтеграла близьке до нуля. Причина цього вже вказувалася – відліки потрапляють на ділянки функції $y(x)$, де її значення дуже малі. А перший відлік потрапляє на нуль функції. Сума майже (або рівних) нулю відліків дає близьке до 0 значення.

За результатами математичного моделювання студенти переконуються в тому, що кожне математичне поняття, кожний комплекс математичних ідей має лише обмежені можливості для моделювання реальних явищ, а збільшення знань сприяє введенню нових понять, розробці нових методів дослідження.

Стосовно останнього прикладу, система Mathematica має ускладнений алгоритм обчислення інтегралів, який, у міру можливості, аналізує поведінку $y(x)$ і намагається виключити описану ситуацію.

Встановлено [3], що у навчанні математики серед вербальних засобів семіотично різними треба вважати: об'єктні тексти, термінологію, символіку, математичні речення, навчальні тексти, тексти задач, тексти запитань, піктографію. А серед невербальних засобів: графічні та змістово-графічні інтерпретації, таблиці, діаграми, схеми, рисунки, аналітичні конфігурації, реальні предмети, макети, конструкції, ілюстрації. Наприклад, матриці можуть використовуватись для опису електричних мереж, потоків на шляхах, виробничих процесів тощо.

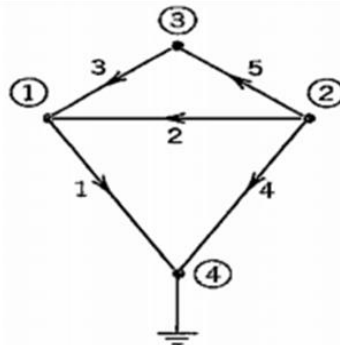


Рисунок 5 – Мережа з одним заземленим вузлом

Мережу, зображену на рис. 5, складає 5 гілок або ребер (з'єднань, занумерованих 1, 2, ..., 5) та 4 вузли (точок, де дві або більше гілки сполучаються) з одним заземленим вузлом (на кожній гілці стрілкою вказано напрям).

Мережу описують за допомогою «вузлової інцидентної матриці» $A = (a_{ij})$

$a_{ij} = +1$, якщо гілка j виходить з вузла i ,

$a_{ij} = -1$, якщо гілка j входить у вузол i ,

$a_{ij} = 0$ якщо гілка j не зв'язана з вузлом i .

А саме:

Гілка	1	2	3	4	5
Вузол 1	1	-1	-1	0	0
Вузол 2	0	1	0	1	1
Вузол 3	0	0	1	0	-1
Вузол 4	-1	0	0	-1	0

Нами проаналізовано кожний вид таких оболонок, розкрито їх будову та вплив на процес розуміння студентами сутності відповідних математичних абстракцій.

Застосування розглянутих вище моделей передбачає різні аспекти продуктивного мислення [12], а саме: мислення отримує властивості системності завдяки запрограмованій системній переробці інформації безпосередньо в процесі первинного сприйняття; підтримуються механізми пам'яті та покращується контроль за інформацією завдяки наочному представленню знань природною мовою у згорнутому вигляді; покращується робота інтуїтивного мислення; удосконалюється здатність до згортання та розгортання інформації. У професійній підготовці бакалаврів галузі ІТ-технологій нами визначено три рівні сформованості професійних компетентностей:

- студент володіє основними математичними поняттями та деякими методами розв'язування математичних завдань;
- студент володіє методами розв'язування математичних завдань, вміє розв'язувати математичні задачі за допомогою однієї із систем комп'ютерної математики (СКМ);
- студент володіє методами розв'язування математичних завдань, вміє розв'язувати математичні задачі за допомогою СКМ, вміє розв'язувати основні задачі спеціальних дисциплін, що потребують базових знань з математичних основ інформатики.

Для оцінки рівня досягнення результатів навчання математичної дисципліни по кожному модулю розроблений банк компетентнісно-орієнтованих тестових завдань, що дозволяє вести моніторинг сформованості професійних і спеціальних компетенцій бакалаврів галузі інформаційних технологій. У табл. 1 «Критерії та показники сформованості рівня знань» наведено критерії та показники сформованості рівня знань шляхом усвідомлення студентом співвідношення форми і змісту математичних понять, вміння моделювати навчальні ситуації.

Таблиця 1– Критерії та показники сформованості рівня знань

<i>Критерії сформованості рівня знань</i>	<i>Показники сформованості рівня знань</i>
Здібності до знакового та просторового мислення	Вміння виконувати дії на підведення під поняття і виведення наслідків в процесі розв'язування задач на готових рисунках.
Здібності до символічного мислення	Вміння проводити: 1) аналіз і синтез; 2) узагальнення і конкретизацію; 3) аналогію; 4) порівняння; 5) застосування відомих алгоритмів до конкретних завдань.
Здібності до оперування математичними об'єктами	1. Використовувати формули; 2. Виконувати операції над математичними виразами; 3. Оперувати графічними об'єктами, їх характеристиками.
Здібності до математичного моделювання	1. Здібність побудови моделі конкретної задачі; 2. Уміння підібрати завдання з інших дисциплін, яке б задовольняло задану математичну модель.

У дослідженні застосовувалися метод теоретичного аналізу, систематизації і узагальнення; метод спостереження та тестування.

Результати контрольного експерименту, спрямованого на виявлення ефективності впливу знаково-символічного підходу до формування у студентів вищих технічних навчальних закладів високого рівня математичної компетентності, продемонстрували, що студенти експериментальної групи мають значні переваги за показниками, що характеризують критерії сформованості знаково-символічної діяльності за умов застосування запропонованого підходу. Аналіз результатів діагностики когнітивного критерію демонструє позитивну динаміку рівня семіотичних знань в експериментальній групі (0,52 – 0,78). Статистичний χ^2 -критерій виявив значну відмінність показників даного критерію в експериментальній групі та контрольній групі до і після експериментального впливу: χ^2 (35,2) більше χ^2 (19,2). Аналіз даних процесуального критерію показує, що в експериментальній групі значно більше студентів першого курсу, які до кінця навчання на першому курсі, вийшли на високий рівень оволодіння знаково-символічною діяльністю (у експериментальній групі – 30,3%, у контрольній групі – 22,5%).

Висновки

Висновок перший. Визначено знаково-символічні засоби для формування математичної компетентності бакалаврів галузі ІТ-технологій, як невід'ємної частини їх професійної компетентності. Для цього необхідним є розробка та впровадження на заняттях з вищої математики змістовного та функціонального навантаження; використання оптимальних педагогічних семіотичних систем, адаптованих до пізнавальних можливостей студентів, що забезпечують розвиток як математичної компетентності, так і професійно значимих якостей студентів та формулюють повноцінні образи тих математичних понять, що вивчаються, посилення продуктивності наочності та візуалізації математичної інформації.

Висновок другий. Визначено критерії та показники сформованості рівня знань сформованості професійних компетентностей бакалаврів галузі ІТ-технологій. Необхідно зауважити також, що саме діяльність фахівця під час навчання математики дозволяє сформулювати професійні завдання, а різновид знакових систем надає можливість їх формалізувати. Саме такий підхід, на наш погляд, дозволить описати компоненти професійної компетентності фахівця через математичну компетентність шляхом оволодіння уміннями оперувати різними знаковими системами в контексті завдань з вищої математики.

Висновок третій. Результати контрольного експерименту, спрямованого на виявлення ефективності впливу знаково-символічного підходу до формування у студентів вищих технічних навчальних закладів високого рівня математичної компетентності, продемонстрували, що студенти експериментальної групи мають значні переваги за показниками, що характеризують критерії сформованості знаково-символічної діяльності за умов застосування запропонованого підходу.

Список літератури

- [1] Веряев А. А. "Семиотический подход к образованию в информационном обществе", автореф. дис. д-ра пед. наук: 13.00.01. , 2000, 38 с.
- [2] Ф. Де Соссюр, *Заметки по общей лингвистике*. М., РФ: Прогресс, 2000, 275 с.
- [3] Ю. Л. Трофімоїв, В. В. Рибалка, П. А. Гончарук, *Психологія*: Підручник. К., Україна: Либідь, 1999, 558 с.
- [4] Н. Г. Салмина, *Знак и символ в обучении*. М.: Изд-во МГУ, 1988, 286 с.
- [5] Н. А. Тарасенкова, "Теоретико-методичні основи використання знаково-символьних засобів у навчанні математики учнів основної школи", дис. д-ра пед. наук. Національний педагогічний ун-т ім. М.П.Драгоманова. К., 2004, 630 с.
- [6] В. К. Сидоренко, "Технічні знання як важливий елемент професійної підготовки фахівця для сучасного матеріального й духовного виробництва", у *Біоресурси і природокористування*, № 5, с. 155–164, 2013.
- [7] Д. С. Ципіна, "Застосування знаково-символічного підходу в процесі формування іншомовної компетентності студентів економічних спеціальностей", у *Наукові записки*, випуск 177, Серія: Педагогічні науки. Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, с. 6–12, 2019.
- [8] Alpers B. A Framework for Mathematics Curricula in Engineering Education. *A Report of the Mathematics Working Group*. Brussels: European Society for Engineering Education, 2013, 88 p.
- [9] M. Niss, "Mathematical competencies and the learning of mathematics: The Danish KOM project. In A. Gagatsis, S. Papastravidis (Eds.)", *3rd Mediterranean Conference on Mathematics Education, Athens, Greece: Hellenic Mathematical Society and Cyprus Mathematical Society*. 2003. pp. 115–124.
- [10] Таїса Лисянська, "Типи мислення як дії у процесі формування знань" у *Psychological journal*, volume 6, Issue 6, с. 75–83, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.31108/1.2020.6.6.8>. Дата звернення: Січень, 06, 2022.

- [11] Irina Khomuyk, Ievgeniia Ivanchenko, Oleg Maslii, Marina Gorlichenko, "Innovative methods in the process of higher mathematics for future military engineers ", in *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference*. May 24-25, 2019, Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, 2019, vol. 1, pp. 254–264.
- [12] Irina Khomyuk, Svetlana Kyrylashchuk, Victor Khomyuk, Zlata Bondarenko, Iryna Klieopa, "Methods of Forming Mathematical Mobility of Future Engineers in Higher Mathematics Classes", in *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference* May, 28-29, 2021. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, 2021, vol. 1, pp. 270–281.
- [13] Zlata Bondarenko, Svetlana Kirilashchuk, Victor Khomyuk, Galina Chernovolik, "The problem of integration of higher mathematics with economic cycle disciplines in the process of teaching students", in *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference*. May 22-22, 2020. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, 2020, vol.1., pp. 374–384.
- [14] Oksana V. Klochko, Viktor M. Nagayev, Vitalii I. Klochko, Mykola G. Pradivliannyi, Lyubov I. Didukh, "Computer oriented systems as a means of empowerment approach implementation to training managers in the economic sphere", in *Information Technologies Tools*. ISSN: 2076–8184., 2018, vol 68, №6.

Стаття надійшла: 05.01.2022.

References

- [1] A. A. Veriaev, "Semyotycheskyi podkhod k obrazovaniyu v ynformatsyonnom obshchestve", avtoref. dys. d-ra ped. nauk: 13.00.01. , 2000, 38 s. [in Russian].
- [2] F. De Sossur, *Zametky po obshchei lynchvystyke*. M., RF: Prohress, 2000, 275 s. [in Russian].
- [3] Yu. L. Trofimoiv, V. V. Rybalka, P. A. Honcharuk, *Psykhohohiia: Pidruchnyk*. K. Ukraine: Lybid, 1999, 558 s. [in Ukrainian].
- [4] N. H. Salmyna, *Znak y symvol v obuchenyy*. M.: Yzd-vo MHU, 1988, 286 s. [in Russian].
- [5] N. A. Tarasenkova, "Teoretyko-metodychni osnovy vykorystannia znakovy-symvolnykh zasobiv u navchanni matematyky uchniv osnovnoi shkoly", dys. d-ra ped. nauk. Natsionalnyi pedahohichnyi unt im. M.P.Drahomanova. K., 2004, 630 s. [in Ukrainian].
- [6] V. K. Sydorenko, "Tekhnichni znannia yak vazhlyvyi element profesiinoi pidhotovky fakhivtsia dlia suchasnoho materialnoho y dukhovnoho vyrobnytstva", u *Bioresursy i pryrodokorystuvannia*, № 5, s. 155–164, 2013 [in Ukrainian].
- [7] D. S. Tsykina, "Zastosuvannia znakovy-symvolichnoho pidkhodu v protsesi formuvannia inshomovnoi kompetetnosti studentiv ekonomichnykh spetsialnostei", u *Naukovi zapysky*, випуск 177, Seriia: Pedahohichni nauky. Kropyvnytskyi: RVV TsDPU im. V. Vynnychenka, s. 6-12, 2019 [in Ukrainian].
- [8] Alpers B. A Framework for Mathematics Curricula in Engineering Education. *A Report of the Mathematics Working Group*. Brussels: European Society for Engineering Education, 2013, 88 p.
- [9] M. Niss, "Mathematical competencies and the learning of mathematics: The Danish KOM project. In A. Gagatsis, S. Papastravidis (Eds.)", *3rd Mediterranean Conference on Mathematics Education, Athens, Greece: Hellenic Mathematical Society and Cyprus Mathematical Society*. 2003. pp. 115–124.
- [10] Taisa Lysianska, "Typy myslennia yak dii u protsesi formuvannia znan" u *Psychological journal*, volume 6, issue 6, s. 75–83, 2020. DOI (Article) [Online]. Available: <https://doi.org/10.31108/1.2020.6.6.8>. Accessed on: Jan. 06, 2022. [in Ukrainian].
- [11] Irina Khomuyk, Ievgeniia Ivanchenko, Oleg Maslii, Marina Gorlichenko, "Innovative methods in the process of higher mathematics for future military engineers ", in *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference*. May 24-25, 2019, Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, 2019, vol. 1, pp. 254–264.
- [12] Irina Khomyuk, Svetlana Kyrylashchuk, Victor Khomyuk, Zlata Bondarenko, Iryna Klieopa, "Methods of Forming Mathematical Mobility of Future Engineers in Higher Mathematics Classes", in *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference* May, 28-29, 2021. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, 2021, vol. 1, pp. 270–281.
- [13] Zlata Bondarenko, Svetlana Kirilashchuk, Victor Khomyuk, Galina Chernovolik, "The problem of integration of higher mathematics with economic cycle disciplines in the process of teaching students", in *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference*. May 22-22, 2020. Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, 2020, vol.1., pp. 374–384.
- [14] Oksana V. Klochko, Viktor M. Nagayev, Vitalii I. Klochko, Mykola G. Pradivliannyi, Lyubov I. Didukh, "Computer oriented systems as a means of empowerment approach implementation to training managers in the economic sphere", in *Information Technologies Tools*. ISSN: 2076–8184., 2018, vol 68, №6.

Відомості про авторів

Кирилащук Світлана Анатоліївна – кандидат педагогічних наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії.

Бондаренко Злата Василівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики.

Клочко Віталій Іванович – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри вищої математики.

Хом'юк Ірина Володимирівна – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри вищої математики.

S. A. Kyrylashchuk, Z. V. Bondarenko, V. I. Klochko, I. V. Khomuyk

**APPLICATION OF SIGNIFICANT AND SYMBOLIC
APPROACH IN THE PROCESS OF FORMING STUDENTS
'PROFESSIONAL COMPETENCES HIGHER TECHNICAL
EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

УДК 004.8:796

О. Ю. Мельников, М. А. Кадацький

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ СПОРТСМЕНА-МЕТАЛЬНИКА ЯДРА

Донбаська державна машинобудівна академія, Краматорськ

Анотація. Розглянуто поняття штовхання ядра, будову сектора штовхання ядра, дослідження результатів штовхачів ядра України та світової арени, опис техніки ядра «зі стрибка», використання концепції комп'ютерного зору у спорті. Проаналізовано моделі та методи для розрахунку показників спортсмена-штовхача ядра, моделі для розрахунку штовхання ядра «з місця» та «зі стрибка», основні задачі апарату нейронних мереж та використання концепції комп'ютерного зору для створення системи відеоаналізу. Представлено основне завдання та мету роботи. Наведено формалізацію та алгоритм моделі нейронної мережі для оцінки фаз штовхання. Описано створену інформаційну модель проєктованої системи мовою візуального моделювання UML – наведено діаграми варіантів використання, класів, кооперації, послідовності, станів та компонентів. Описано можливості системи для дослідження основних показників спортсмена штовхача ядра, можливість використання відеосистеми для покращення техніки штовхання. Наведено приклад функціонування цієї системи та проведено аналіз результатів розрахунків.

Ключові слова: штовхання ядра, максимально ефективна техніка штовхання ядра, фізико-математична модель штовхання ядра, нейронні мережі прямого поширення, python, Lazarus, mediapipe, neurolab.

Abstract. The concept of shot put, the structure of the shot put sector, the study of the results of the shot putters of Ukraine and the world arena, the description of the shooting technique "from the jump", the use of the concept of computer vision in sports are considered. The models and methods for calculating the performance of a shot put athlete, models for calculating the shot put "from the spot" and "from the jump", the main tasks for the apparatus of neural networks and the use of the concept of computer vision to create a video analysis system are analyzed. The main task and purpose of the work is set. The formalization and algorithm of the neural network model for evaluating the pushing phases is presented. The created information model of the designed system is described in the language of visual modeling UML - diagrams of use cases, classes, cooperation, sequence, states and components are given. The possibilities of the system for studying the main indicators of a shot put athlete, the possibility of using a video system to improve the technique of pushing are described. An example of the operation of this system is given and an analysis of the calculation results is carried out.

Key words: shot put, the most effective shot put technique, physic-mathematical model of shot put, direct neural networks, python, Lazarus, mediapipe, neurolab.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-101-110>.

Вступ

Сучасний рівень розвитку легкої атлетики, зокрема штовхання ядра, ставить задачу по розробці нових, більш раціональних засобів і методів спортивної підготовки, які сприяють швидкому і надійному досягненню високих спортивних результатів. Але силу безмежно збільшувати не можна, і подальше зростання результатів можливе не стільки шляхом удосконалення техніки метань, для чого доцільно використовувати інформаційні технології.

Актуальність та мета

Метою роботи є знаходження кращих показників для максимально ефективного використання сили та швидкості спортсмена при виконанні спроби, використовуючи математичну модель метання (техніка штовхання без попереднього розгону снаряду) та програмного забезпечення для розрахунків низки елементів (кута, початкової сили, початкової швидкості). Також моделювання кута штовхання та кута виштовхування ядра для максимального результату технікою з попереднім розгоном (техніка «зі стрибка»). Дослідити можливість використання апарату штучних нейронних мереж при розрахунку показників спортсмена-метальника ядра за наявними даними про вік, зростання, масу тіла атлета, а також характеристикам польоту ядра визначити дальність цього польоту та можливість використання моделі «комп'ютерного зору» для відео аналізу спроб спортсмена із подальшим його коригуванням. Можливість практичного використовувати розробленого програмного забезпечення для тренування спортсменів-метальників.

Об'єкт дослідження – фізико-математична модель штовхання ядра, яка має визначити раціональність використання тієї чи іншої техніки метання для досягнення максимальної дальності польоту снаряда. Предмет дослідження – можливості програмування складних математичних функцій, що описують циклічну техніку штовхання ядра.

Задачі

1. Проаналізувати наявні моделі та методи для розрахунку показників спортсмена-штовхача ядра.
2. Створити систему підтримки прийняття рішень для розрахунку показників спортсмена-штовхача ядра, навести приклад функціонування цієї системи.

Розв'язання задач

Штовхання ядра відноситься до циклічних швидко-силових вправ, у яких розбіг виконується двома способами: «стрибком» або «поворотом», а фінальна частина – шляхом виштовхування снаряда однією рукою від плеча. Штовхання ядра, що полягає в «штовханні» (киданні штовхає рухом руки) спе-

ціального спортивного снаряда – ядра на дальність. Дисципліна належить до метань, входить в технічні види легкоатлетичної програми та вимагає від спортсменів вибухової сили та координації. Вага ядра в чоловічих змаганнях – 7,257 кг. В офіційних змаганнях учасники виконують шість спроб в секторі для штовхання. За результатами трьох перших спроб відбираються вісім кращих, і у наступних трьох спробах вони розігрують кращого за максимального результату в шести спробах. Через це і виникає необхідність правильності виконання техніки, починаючи з самого початку, щоб досягти максимальний результат і вийти у фінальне коло змагань. Спосіб штовхання «стрибком» є більш простим за координаційною структурою, і на його опанування потрібно менше часу, ніж «поворотом». Тому при початковому навчанні рекомендується розучувати даний спосіб метання [1-2].

Увесь процес метання умовно можна розділити на фази, які взаємопов'язані та послідовно переходять одна в іншу. У попередній частині розбігу це: тримання снаряда, вихідне положення, попередні рухи (замах «угруповання»), розгін-стрибок. У фінальній частині: фінальне зусилля та утримання рівноваги після випуску снаряда. У способі штовхання ядра «стрибком» є два стилі виконання фази фінального руху, які визначаються способом і напрямком руху правої ноги під час фінального зусилля.

Для того, щоб краще розібратися з технікою «стрибка», поділимо її на 2 основних складових: штовхання ядра без розгону, але з урахуванням розгону ядра, так звана «техніка з місця», і сама техніка «стрибком» (така концепція використовується і в самому тренувальному процесі).

Як вже зазначалося, ефективною спортивною технікою називається така система елементів руху, яка забезпечує спортсмену досягнення максимального результату. Основою максимального результату є правильність виконання фінальної (завершальної) фази штовхання ядра. Тому доцільно буде дослідити цю область спортивної техніки зі статичного боку. Розглянемо, від яких величин вона залежить в першу чергу. З рівняння механіки дальність польоту ядра визначається так [1]:

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\omega_0}{g} \quad (1)$$

де v_0 – початкова швидкість вильоту снаряда в м/с, яка повідомляється снаряду спортсменом в момент випуску його з руки, ω_0 – початковий кут вильоту снаряда в градусах, g – прискорення сили тяжіння.

На ядро, яке летить у повітрі з якоюсь початковою швидкістю, діють тільки дві сили: сила тяжіння Землі та сила опору повітря, вплив якої буде оцінено нижче. Траєкторія ядра визначиться рівнянням:

$$L = \frac{v_0^2}{g} \cos \omega_0 \left(\sin \omega_0 + \sqrt{\sin^2 \omega_0 + \frac{2gh_0}{v_0^2}} \right) \quad (2)$$

де h_0 – висота, на якій снаряд залишає руку спортсмена.

Рівняння (1-2) показують, від чого залежить дальність польоту ядра: початкової швидкості, з якою ядро виштовхується; кута до горизонту, під яким ядро виштовхується; висоти над землею, на якій ядро залишає руку. Так само було отримано рівняння, що визначають положення найвищої точки траєкторії снаряда. Ці відомості можуть бути корисні також для проектування легкоатлетичних манежів.

Кожен спортсмен має визначити такий кут вильоту ядра, який для його антропометричних характеристик (вага, зріст) забезпечить максимальну дальність польоту. Але очевидно, що опис спортивної техніки винятково рівняннями механіки може не враховувати ряд факторів, які є малозначущими для абсолютних значень результатів, але можуть мати серйозний вплив на відносні показники.

У фізичній культурі та спорті нейронні мережі використовуються для аналізу і прогнозування показників фізичної підготовленості спортсменів, а також результатів спортивних змагань [3]. Для наявних даних з [4] було сформульовано задачу прогнозування: за наявними даними про вік, ріст, масу тіла атлета, а також характеристиках польоту ядра визначити дальність цього польоту. Цю задачу було вирішено методом штучних нейронних мереж в [5], однак там не було враховано низку важливих факторів.

У табл. 1 наведено перелік факторів, які впливають на результат штовхання ядра. Ми маємо 14 вхідних значень, які належать до 5 класів – груп залежностей, які поділені на фізичні величини та по класу дії.

Таблиця 1 – Перелік факторів

№	Група	Фактор	Одиниці вимірювання
1	Зросту та висоти випуску	h_0 – висота випуску ядра	м
2		D_r – довжина рук (розмах)	м
3		ZT – зріст спортсмена	м
4	Підривні	LJ – результат в стрибках у довжину з місця	м
5		TJ – результат у потрійному стрибку	м
6	Силові	LT – результат у жимі лежачи	кг
7		LS – результат у присіданні зі штангою на плечах	кг
8		VG – результат у взятті на груди	кг
9		TK – товчок штанги	кг
10		WS – вага спортсмена	кг
11	Швидкісні	V_ϕ – фінальна швидкість випуску снаряда	м/с
12		V_z – горизонтальна швидкість розгону снаряду	м/с
13	Кутові	ω_0 – кут штовхання (від надпліччя)	градус
14		θ_0 – кут виштовхування (кут лодоні)	градус

Після проведення розрахунків можна отримати відповіді на питання:

- наскільки ефективно використовуються показники спортсмена для досягнення найкращого результату;
- як можна покращити техніку штовхання ядра;
- які показники для конкретного спортсмена вважати більш або менш важливими;
- наскільки техніка штовхання випереджує силові показники, або силові показники випереджають техніку.

Ці задачі вирішено в [6]. Але ще треба визначити, яка техніка метання більше підходить спортсмену згідно з його фізичними параметрами. Маємо дані про спортсменів, які можна вважати вхідними факторами (у кількості десяти одиниць): висота випуску ядра за різними техніками; зріст спортсмена; стать спортсмена; вік спортсмена; довжина рук; довжина ніг; тип волокон м'язів; широта плечей; тест Абалакова на рухову якість – швидкість; довжина розгону.

Кожен спортсмен може використовувати різну техніку метання (одну з 4 різновидів): стрибок; круговий мах (низькі ноги); круговий мах (високі ноги, низькі плечі); круговий мах (високі ноги, високі плечі). При використанні кожної техніки він отримує різні результати. Таким чином, ми додаємо новий фактор – «техніка, що використовується для метання» – як результативний. Знаходимо кращі результати для кожного спортсмена по кожному з факторів і проводимо класифікацію. Потім вводимо дані нового спортсмена, і модель радить, яку техніку краще використовувати саме цьому спортсмену для отримання найкращих результатів. Шляхом проведення низки чисельних експериментів було підібрано архітектуру нейронної мережі з одним прихованим шаром, який містить три нейрони. Результати розрахунків в сервісі Deductor наведено на рис. 2, порівняння результатів на рис. 3.

Висота випуску	Зріст	Стать	Вік	Довжина рук	Довжина ніг	Тип волокон м'язів	Широта плечей	Тест Абалакова	Довжина розгону	Тип техніки
220	190	2	16	90	70	2	50	27	120	1
184	160	1	18	78	67	2	65	21	134	2
150	150	2	23	87	67	1	56	15	100	2
178	165	1	23	67	56	1	57	23	123	1
196	170	2	21	65	65	2	67	25	130	3
221	166	2	21	58	48	2	47	34	130	1
223	205	1	19	92	70	2	76	22	148	2
152	217	2	25	74	82	2	24	26	142	4
208	186	2	32	92	56	2	51	25	127	4
208	150	2	23	55	85	1	24	35	125	4
197	225	1	26	69	54	2	75	35	139	3
221	225	1	25	108	64	2	40	20	123	2
150	188	1	28	66	80	2	53	27	114	2
192	185	2	25	82	60	1	69	27	143	1
209	187	2	23	54	58	1	21	19	121	1
198	178	1	35	72	78	1	41	23	135	3
171	227	2	15	100	94	2	64	24	134	4
167	160	1	32	100	87	1	65	26	128	4
170	165	2	30	63	63	1	59	15	119	2

Рисунок 1 – Вхідні дані

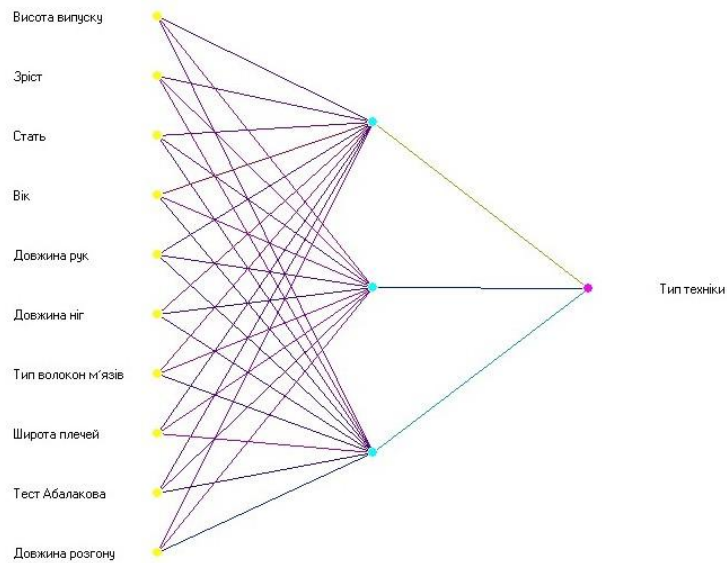


Рисунок 2 – Схема нейронної мережі

Тип техніки	10x2x1	10x3x1
1	1,0265	1,0258
2	1,9963	2
2	1,9993	1,9998
1	1,0007	1,0069
3	2,9988	2,9997
1	1,0194	1,3062
2	1,9987	2
4	3,9783	3,998
4	3,9910	3,9818
4	3,9803	3,9825
3	2,4982	2,9999
2	1,9975	1,9995
2	2,5026	2,001
1	1,0259	1,0122
1	1,0152	1,0027
3	2,9991	3,0007
4	3,9872	3,99
4	3,9929	3,9882
2	1,9995	2,0002

Рисунок 3 – Порівняння результатів двох розрахунків та реальних даних

Застосування цієї моделі допоможе зменшити час знаходження техніки майже у два рази, що своєю чергою допоможе раціонально застосувати час для підготовки спортсмена у його віковій категорії.

Комп'ютерне бачення (CV) – це підполе штучного інтелекту та машинного навчання, який розробляє методи підготовки комп'ютерів для інтерпретації та розуміння вмісту всередині зображень. Комп'ютерне бачення має на меті повторення частин складності в системі зору та візуального сприйняття шляхом застосування глибоких навчальних моделей, щоб точно виявити та класифікувати об'єкти з динамічного та різного фізичного світу [7].

Очевидно, що було б доцільно застосувати концепцію комп'ютерного зору для аналізу відео спортсмена-штовхальника ядра.

Перша задача: можливість побачити 3D модель позиції штовхання на кожній фазі спроби, щоб детальніше зрозуміти попередні дії спортсмена. Дослідження показали, що горизонтальне положення вивільнення відносно сегменту є вирішальним фактором успіху кидка. Оптимальне горизонтальне положення вивільнення повинно бути від 0,2 до 0,5 м перед носком, причому ця відстань значною мірою визначається антропометрією та технікою спортсмена.

Проблемою є також анатомічні особливості спортсменів. Раніше вважалося, що в ідеалі траєкторія як центру мас спортсмена, так і штовхання повинна проходити по лінійній траєкторії, при цьому найнижча точка знаходиться на початку кидка, а найвища точка – в момент вивільнення. Однак останні дослідження показали, що це може бути не так. З цього й постає друге питання: можливість дослідження траєкторії снаряду протягом усього шляху від початку розгону до вильоту. З цими питаннями можливо впоратися, використовуючи концепцію комп'ютерного зору (рис. 4).

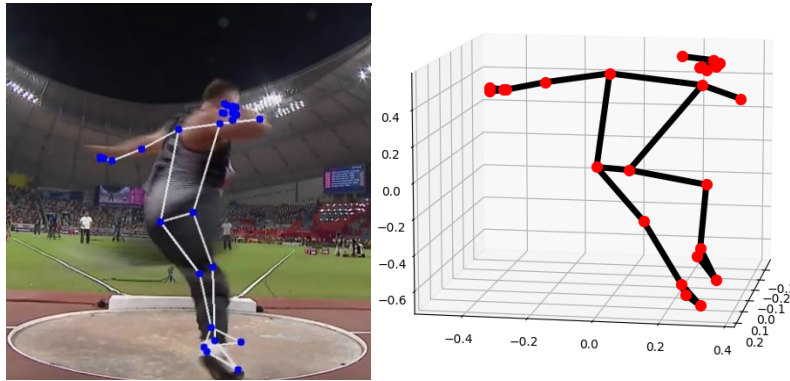


Рисунок 4 – Штовхання ядра з повороту (фаза входу) у різних проекціях

В запропонованому підході, що забезпечує відстеження пози людини з використанням машинного навчання (ML) і визначає 33-2D орієнтири тіла з одного кадру. На відміну від сучасних моделей поз, заснованих на стандартній топології COCO, BlazePose точно локалізує більше ключових точок, що робить його унікальним для фітнес-додатків. Поточним стандартом для пози людського тіла є топологія COCO, яка складається з 17 орієнтирів через тулуб, руки, ноги та обличчя. Однак ключові точки COCO локалізуються лише на гомілковостопних та зап'ястних точках, їм не вистачає інформації про масштаб і орієнтацію для рук і ніг, що важливо для практичних застосувань, таких як фітнес і танці. BlazePose представляє нову топологію з 33 ключових точок людського тіла, яка є супернабором топологій COCO, BlazeFace і BlazePalm. Це дозволяє нам визначати семантику тіла лише на основі передбачення пози, що узгоджується з моделями обличчя та рук (рис. 5).

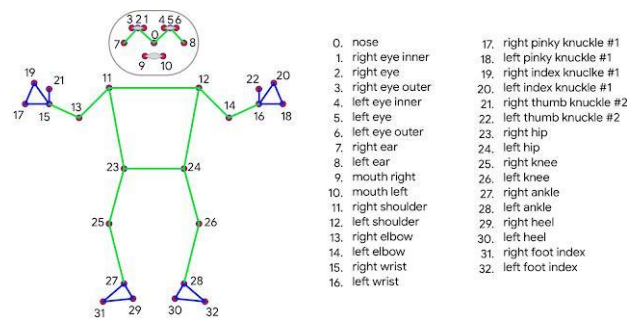


Рисунок 5 – Топологічні пози

Таким чином можна допустити використання комп'ютерного зору у підготовці штовхачів ядра. Припустимо, що окрім звичайного візуального аналізу, тренеру складно дати оцінку якості тієї чи іншої фази поштовху (їх буває від 4 до 5). З можливостями технології BlazePose та нейронної мережі, описаної в [8], можна організувати повний «замкнений цикл» підготовки спортсмена, більш раціонально використовуючи засоби (відпадає потреба у дорогому обладнанні та датчиків).

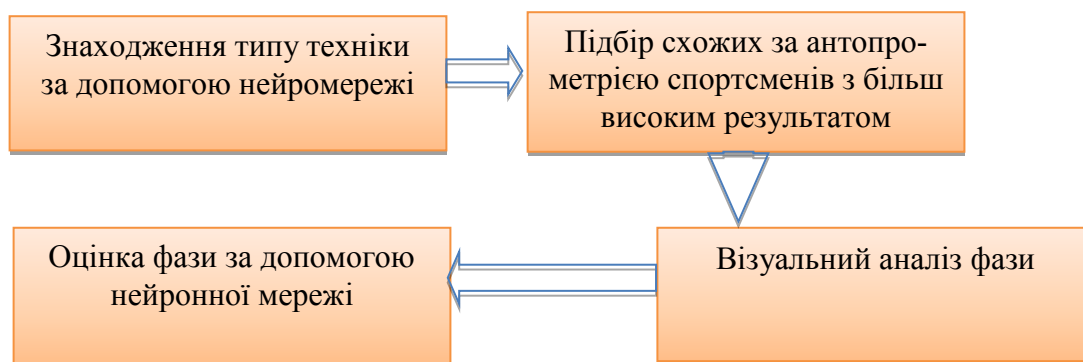


Рисунок 6 – «Замкнутий цикл» підготовки

Спочатку пропонувалося використовувати знання всіх координат на проміжки знаходження пози людини та поділу на 5 основних фаз (розгін, вхід, захоплення, постановка лівої та випуск ядра для кругового маху). Однак при розрахунку було з'ясовано, що для реалізації даної системи для кожного етапу знаходження довелося б реалізовувати мережу виду $99 \times 33 \times 1$ (для однієї фази), а якщо для всіх п'яти – то $395 \times 33 \times 5 \times 1$, що значно збільшило б час навчання. Цю проблему можна вирішити знаходженням відхилення від норми. Якщо взяти за норму показники топового спортсмена (зі схожою антропометрією) у цій фазі та порівняти зі спортсменом, якого ми аналізуємо, достатньо буде знаходження лише відстані між координатами топологічних точок. Чим вище відхилення, відстань від точки до точки, тим гірше випробуваний спортсмен виконує спробу. Тоді мережа матиме вигляд 33×1 . Вхідні дані – це відстань від точок, а вихідне значення – відсоток якості виконання фази. Нейронна мережа була протестована згідно з наявними даними, результати (рис. 7 і 8) свідчать, що тестування пройшло в межах припустимої помилки 10%, і це дозволяє зробити висновок про доцільність використання цієї нейронної мережі.

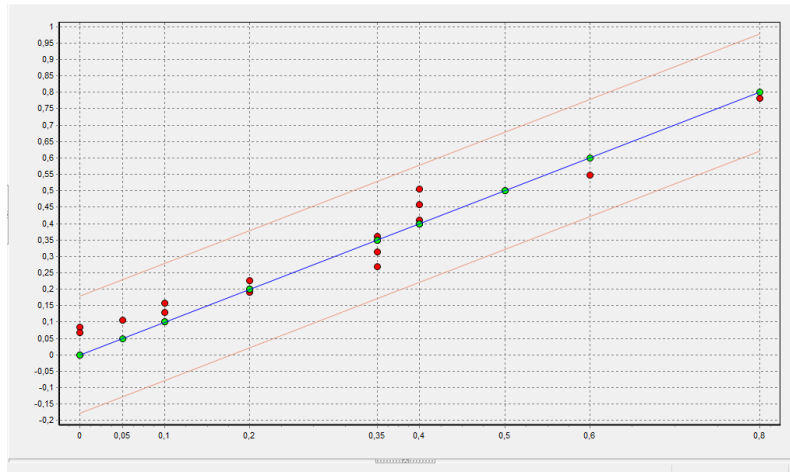


Рисунок 7 – Діаграма розсіювання

0,6	0,6_OUT	0,6_ERR
0,6	0,547870929515857	0,0042459998365745
0,4	0,504190450317321	0,0169619530270721
0,4	0,457670915767679	0,00519677269606668
0,4	0,409501721093641	0,000141066724595839
0,35	0,361055201184667	0,000190964801927303
0,35	0,313735364353196	0,00205488093530533
0,35	0,268819185482439	0,0102973822589604
0,2	0,227327246708763	0,00116684126981504
0,2	0,189949398274848	0,00015783530474629
0,1	0,157032101788481	0,00508228224126818
0,1	0,12861655492186	0,00127954252436846
0,05	0,104507150120811	0,00464223345983216
0	0,0843493076278454	0,0111168839020264
0	0,0677011248235424	0,00716162859745762
0,5	0,500103209218694	1,66439731615315E-8
0,8	0,78172133018105	0,000522046516172183

Рисунок 8 – Результати тестування

Далі було спроектовано та виконано програмну реалізацію системи підтримки прийняття рішення для дослідження техніки штовхання ядра [9-10] (рис. 9).

Розроблена система поділяється на 5 основних частин. Перша частина – це меню для орієнтації по програмі. Друга та третя частини – це основні вікна програми, для моделювання показників техніки штовхання ядра «з місця» та «зі стрибка». Четверта частина – це розрахунок нейронної мережі для знаходження відсотка корекції техніки, залежності силових та антропогенних даних спортсмена від показників техніки штовхання.



Рисунок 12 – Порівняння «фази входу»

З рис. 12 видно, що об'єкт праворуч (особистий рекорд 15 м 81 см) та об'єкт ліворуч (особистий рекорд 23 м 37 см) по-різному роблять фазу, спортсмен ліворуч надто високо підіймає лікоть, після чого має високу ймовірність загубити попередній розгін ядра, тим самим скоротити шлях розгону, що вплине на результат.

Наступний крок – це запуск оцінки фази. Нейрона мережа вже навчена, оцінка дорівнює приблизно 25% від еталона, що доволі мало. Згідно з думками експертів, це викликано підйомом лівого ліктя та перекручуванням лівої стопи під час фази.

Висновки

Було розглянуто методи знаходження кращих показників для максимально ефективного використання сили та швидкості спортсмена при виконанні спроби, використовуючи математичну модель метання (техніка штовхання без попереднього розгону снаряду) та програмного забезпечення для розрахунків низки елементів (кута, початкової сили, початкової швидкості). Також моделювання кута штовхання та кута виштовхування ядра для максимального результату технікою з попереднім розгоном (техніка «зі стрибка»).

Проведено дослідження можливості використання апарату штучних нейронних мереж при розрахунку показників спортсмена-метальника ядра за наявними даними про вік, зріст, вагу атлета, а також характеристикам польоту ядра визначити дальність цього польоту та можливість використання моделі «комп'ютерного зору» для аналізу відео спроб спортсмена із подальшим його коригуванням. Є можливість практичного використовувати розробленого програмного забезпечення для тренування спортсменів-метальників.

На етапі інформаційного проектування інформаційної системи були побудовані UML-діаграми, що зображають основні можливості системи, взаємодію її основних класів, її поведінку й архітектуру: діаграма варіантів використання, діаграма класів, діаграма кооперації, діаграма послідовності, діаграма діяльності, діаграма компонентів. Лістинг програми наведено у додатках.

Використовуючи фізико-математичну модель штовхання ядра, яка має визначити раціональність використання тієї чи іншої техніки метання для досягнення максимальної дальності польоту снаряду, були досягнені можливості програмування складних математичних функцій, що описують циклічну техніку штовхання ядра, а саме розроблено систему прийняття рішень на основі мов програмування Free Pascal та Python, для дослідження найкращих показників спортсмена-штовхальника ядра.

Список літератури

- [1] В. Н. Тутевич, *Теория спортивных метаний*. Москва, 1956, 310 с.
- [2] В. Н. Тутевич, *Толкание ядра*. Москва: ФиС, 1955, 260 с.
- [3] С. Т. Касюк, Е. М. Вахтомова, «Использование нейронных сетей для анализа и прогнозирования данных в физической культуре и спорте», *Научно-теоретический журнал «Ученые записки»*, № 12 (106), с.72 – 77, 2013.
- [4] Wilko Schaa, «Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics», *New Studies in Athletics*, №3-4, с. 9–21, 2010. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/265661202>. Дата звернення: Груд. 15, 2021.
- [5] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Использование нейросетевых технологий для приближенного нахождения показателей спортсмена-метателя ядра», *Автоматизация та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи*

розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції, Черкаси, 2019, с. 87–89.

- [6] М. А. Кадацький, О. Ю. Мельников, «Розрахунок показників спортсмена-метальника ядра за допомогою штучної нейронної мережі з 14 вхідними факторами», *Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (4-5 червня 2020р., м. Херсон) / за заг. ред. Г.О. Райко*, Херсон: Видавництво ФОР Вишемирський В.С., 2020, с. 280–283.
- [7] What is computer vision? [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>. Accessed on: Dec. 15, 2021.
- [8] М. А. Кадацький, О. Ю. Мельников, «Постановка задачі визначення кращої техніки метання для спортсмена-метальника ядра з використанням концепції комп'ютерного зору», *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих вчених за тематикою «Сучасні комп'ютерні системи та мережі в управлінні»: збірка наукових праць / Під редакцією Г.О. Райко*, Херсон: ФОР Вишемирський В., 2021, с. 225–228.
- [9] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Разработка информационной системы для приблизительного нахождения показателей спортсмена-метателя при помощи математического моделирования толкания ядра и применения нейросетевых технологий», *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: Збірник наукових праць*, Краматорськ: ДДМА, №2 (46), с.145–149, 2019.
- [10] О. Ю. Мельников, М. А. Кадацький, «Створення модулю нейромережевого моделювання в системі підтримки прийняття рішень для розрахунку показників спортсмена-метальника ядра», *Інформаційні технології в культурі, мистецтві, освіті, науці, економіці та бізнесі: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції / М-во освіти і науки України; Київ. нац. ун-т культури і мистецтв*, Київ: Видавничий центр КНУКіМ, 2021, с. 183–186.

Стаття надійшла: 17.01.2022

References

- [1] V. N. Tutevich, *Teoriya sportivnykh metanij*. Moskva, 1956, 310 s. [in Russian].
- [2] V. N. Tutevich, *Tolkaniye jadra*. Moskva: FiS, 1955, 260 s. [in Russian].
- [3] S. T. Kasjuk, E. M. Vahtomova, «Ispol'zovanie nejronnykh setej dlja analiza i prognozirovaniya dannykh v fizicheskoy kul'ture i sporte», *Nauchno-teoreticheskij zhurnal «Uchenye zapiski»*, № 12 (106), s.72–77, 2013 [in Russian].
- [4] Wilko Schaa, «Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics», *New Studies in Athletics*, №3-4, s. 9–21. 2010. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/265661202>. Accessed on: Dec. 15, 2021.
- [5] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Ispol'zovanie nejrosetevykh tehnologij dlja priblizitel'nogo nahozhdeniya pokazatelej sportsmena-metatelja jadra», *Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnologii u vyrobnytstvi ta osviti: stan, dosiahnennia, perspektyvy rozvytku: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii*, Cherkasy, 2019, s. 87–89. [in Russian].
- [6] М. А. Kadatskyi, O. Yu. Melnykov, «Rozrakhunok pokaznykiv sportsmena-metalnyka yadra za dopomohoiu shtuchnoi neironnoi merezhi z 14 vkhidnymy faktoramy», *Vykorystannia informatsiinykh ta komunikatsiinykh tekhnologii v suchasnomu tsyfrovomu suspilstvi: materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. (4-5 chervnia 2020r., m. Kherson) / za zah. red. H.O. Raiko*, Kherson: Vydavnytstvo FOP Vyshemyrskiy V.S., 2020, s. 280–283 [in Ukrainian].
- [7] What is computer vision? [Online]. Available: <https://www.ibm.com/topics/computer-vision>. Accessed on: Dec. 15, 2021.
- [8] М. А. Kadatskyi, O. Yu. Melnykov, «Postanovka zadachi vyznachennia krashchoi tekhniki metannia dlia sportsmena-metalnyka yadra z vykorystanniam kontseptsii kompiuternoho zoru», *Materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh vchenykh za tematykoiu «Suchasni kompiuterni systemy ta merezhi v upravlinni»: zbirka naukovykh prats / Pid redaktsiieiu H.O. Raiko*, Kherson: Vydavnytstvo FOP Vyshemyrskiy V.S., 2021, s. 225–228 [in Ukrainian].
- [9] А. Ю. Мельников, Н. А. Кадацкий, «Razrabotka informacionnoj sistemy dlja priblizitel'nogo nahozhdeniya pokazatelej sportsmena-metatelja pri pomoshhi matematicheskogo modelirovaniya tolkanija jadra i primenenija nejrosetevykh tehnologij», *Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii: Zbirnyk naukovykh prats*, Kramatorsk: DDMA, №2 (46), s. 145–149, 2019 [in Russian].
- [10] O. Yu. Melnykov, M. A. Kadatskyi, «Stvorennia moduliu neiromerezhevoho modeliuвання v systemi pidtrymky pryiniattia rishen dlia rozrakhunku pokaznykiv sportsmena-metalnyka yadra», *Informatsiini tekhnologii v kulturi, mystetstvi, osviti, nautsi, ekonomitsi ta biznesi: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii / M-vo osvity i nauky Ukrainy; Kyiv. nats. un-t kultury i mystetstv*, Kyiv: Vydavnychiy tsentr KNUKіM, 2021, s. 183–186 [in Ukrainian].

Відомості про авторів

Мельников Олександр Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем прийняття рішень.

Кадацький Микита Андрійович – магістрант спеціальності «Системний аналіз».

O. Yu. Melnykov, M. A. Kadatskyi

**STUDY OF METHODS FOR CALCULATING THE
PERFORMANCE OF A SHOT PUTTER ATHLETE**

Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk

УДК 681.327.11

Н. В. Сачанюк-Кавецька, О. П. Прозор

ЕЛЕМЕНТИ МАТЕМАТИЧНОГО ОПИСУ ЛОГІКО-ЧАСОВИХ ФУНКЦІЙ БАГАТОЗНАЧНОЇ ЛОГІКИ ТА ОКРЕМИХ ОПЕРАЦІЙ НАД НИМИ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. В статті зазначено, що математичне та комп'ютерне моделювання є основним інструментом дослідження складних динамічних процесів та систем. На рівні обчислювальних пристроїв час є критерієм для впорядкування послідовності операцій і носить неявний характер, а для конкретних вузлів час забезпечує їх правильну роботу і представлений на рівні тактів чи синхроімпульсів. В роботі показано доцільність ідеї заміни довільного цифрового сигналу (змінної), що змінюється в часі, часовою логічною функцією, яка дає можливість полегшити попередню аналітичну обробку цифрових сигналів та змінних, використовуючи властивості таких функцій. В статті представлено новий математичний апарат опису логіко-часових функцій багатозначної логіки та окремих операцій над ними з використанням моделювання відомих схем реалізації. Запропонована індексна форма подання функцій, яка досить легка для сприйняття і дає змогу розглядати будь-які логіко-часові функції як числову послідовність. В якості базових операцій розглянуто операцію заперечення Лукасевича та операцію зсуву, які дозволяють, в подальшому, ввести більш складні операції над логіко-часовими функціями багатозначної логіки, такі як нерівнозначність, диференціювання та інтегрування і дослідити їх властивості.

Ключові слова: логіко-часова функція багатозначної логіки, продукуюче слово, індексна форма, оператор впорядкування за часом.

Abstract. The article states that mathematical and computer modeling are the main tools for studying complex dynamic processes and systems. At the level of computing devices, time is a criterion for streamlining the sequence of operations and is implicit, and for specific nodes, time ensures their proper operation and is represented at the level of clocks or clock pulses. The paper shows the expediency of the idea of replacing an arbitrary digital signal (variable) that changes over time with a time logic function, which allows to facilitate the preliminary analytical processing of digital signals and variables using the properties of such functions. The article presents a new mathematical apparatus for describing logic-time functions of multivalued logic and individual operations on them using modeling of known implementation schemes. An index form of representation of functions is proposed, which is quite easy to understand and allows to consider any logical-temporal functions as a numerical sequence. Lukasevich's negation operation and the shift operation are considered as basic operations, which will allow to introduce more complex operations on logical-temporal functions of multivalued logic, such as inequality, differentiation and integration, and to investigate their properties.

Keywords: logical-temporal function of multiple-valued logic, productive word, index form, time-ordering operator.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2022-53-1-111-118>.

Вступ

Історія обчислювальних пристроїв доводить, що їх розвиток базується на необхідності прискорення обчислень та на розширенні функціональних властивостей цих пристроїв. Більше того, одним з головних напрямків науково-технічного прогресу є розвиток методів та засобів обчислювальної техніки. Використання методів математичного моделювання та комп'ютерного розв'язування інженерних та наукових задач дозволяє значно підвищити ефективність процесів проектування, розпізнавання, обробки та управління. Математичне комп'ютерне моделювання стало головним засобом дослідження складних динамічних процесів і систем.

Сьогоднішні комп'ютери по своїй суті універсальні, за винятком тих, що призначені для управління якимись технологічними процесами в широкому розумінні цього слова. Ця універсальність потребує спеціальних алгоритмів для вирішення конкретних задач. Часто алгоритми не повністю враховують особливості зміни процесів у часі, що приводить до помилок в прогнозуванні їх майбутнього розвитку. Для усунення подібних недоліків потрібен математичний апарат, що описує поведінку взаємозв'язаних процесів у часі.

Існує великий клас процесів, що змінюються в часі і які можна описати бінарними чи k -значними логічними функціями. Спроби ввести часову змінну в бінарні логічні функції [1, 2, 3], більше стосуються проектування цифрових пристроїв і не дають відповіді на способи дослідження самих часових логічних процесів. В роботі пропонується варіант математичного опису логіко-часових процесів.

Огляд та постановка задачі

На рівні обчислювальних пристроїв час, як правило, є критерієм для впорядкування послідовності операцій (програм) над даними і носить неявний характер. Навпаки, на рівні конкретних вузлів, час враховується у явному вигляді, забезпечуючи правильну роботу цифрового вузла і представлений на рівні тактів чи синхроімпульсів. Для комп'ютерної обробки в реальному часі аналоговий сигнал має бути перетворений в цифрову форму шляхом його дискретизації по часу на одиничні Δ -інтервали і квантуванням k рівнями по амплітуді. Графічне представлення цифрового сигналу є досить наочним, дозволяє виконувати попередню обробку сигналу, але не дає можливості робити глибоку його обробку комп'ютерними методами. Слід відмітити, що прогнозування зміни сигналу, представленого графічно, під впливом певних параметрів є практично неможливим. Для усунення вказаних недоліків достатньо

відійти від фізичних параметрів носія сигналу та представити сигнал, що має фіксоване число рівнів квантування, у вигляді набору логічних значень у відповідні дискретні значення часу. В такому варіанті наочність зникає, але з'являється можливість використання комп'ютерної обробки, зазвичай за наперед заданими алгоритмами. Створення ж нових алгоритмів є результатом аналітичної обробки людиною віхідних сигналів і даних, отриманих в результаті комп'ютерного аналізу.

Аналітична обробка цифрових сигналів в графічному чи в чисто цифровому представленні практично дещо обмежена. Уявляється доцільною ідея заміни довільного цифрового сигналу (змінної), що змінюється в часі, якоюсь часовою логічною функцією, що може бути представлена, наприклад, поліномом. Це дає можливість полегшити попередню аналітичну обробку цифрових сигналів та змінних, використовуючи властивості таких функцій. Тому актуальною буде розробка математичного апарату, який в простій і доступній формі дозволить здійснювати аналітичну обробку цифрових сигналів, що змінюються в часі та здійснювати прогнозування змін параметрів сигналів суто засобами математики.

Логіко-часовими функціями (ЛЧФ) будемо називати такі логічні k -значні ($k \geq 2$) функції, які змінюються в дискретному часі і можуть набувати одне із значень від 0 до $k-1$ на кожному Δ -інтервалі, що входить до якогось фіксованого кінцевого часового інтервалу існування змінних, за межами цього інтервалу функція дорівнює нулю [4]. При $k > 2$ – k -значну функцію будемо називати логіко-часовою функцією багатозначної логіки (БЛЧФ). Моменти початку часових інтервалів існування t_i та їх тривалість T_i дискретні. Значення t_i та T_i називають часовими координатами змінних. Наприклад, елементарна ЛЧФ (рис.1), область визначення якої складається лише з одного відрізка існування, в загальному вигляді має вид:

$$f(t, t_1, T_1, a_1) = \begin{cases} a_1, & \text{якщо } t_1 \leq t \leq t_1 + T_1 \\ 0, & \text{якщо } t_1 + T_1 < t < t_1 \end{cases}$$

де t – поточне дискретне значення параметру;
 T_1 – інтервал існування функції;
 a_1 – одне із k значень функції
 t_1 – початок часового інтервалу
 $t_1 + T_1$ – кінець часового інтервалу

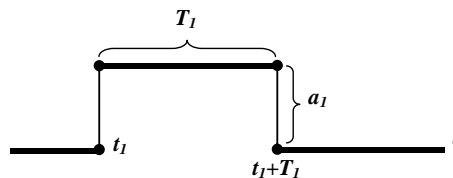


Рисунок 1 – Логіко-часова функція

Метою даної статті є представлення нового математичного апарату опису логіко-часових функцій багатозначної логіки та окремих операцій над ними з використанням моделювання відомих схем реалізації.

Основні положення

В загальному вигляді БЛЧФ з n відрізками існування можна записати так:

$$f(t, t_1, \dots, t_n, T_1, \dots, T_n, a_1, \dots, a_n) \quad (1)$$

Зауважимо, що запис (1) ЛЧФ не використовує значення $a_i \leq 0$ і така форма подання є досить громіздкою та незручною для обробки. В роботі [4] було доведено, що існує три функціонально повні класи ЛЧФ:

1. ЛЧФ, що між двома нулями приймає стале значення. Можливий вигляд такої функції наведено на рис. 1.
2. ЛЧФ, що має m часових координат, відрізки існування яких не перетинаються (див. рис. 2).
3. Монотонні ЛЧФ.

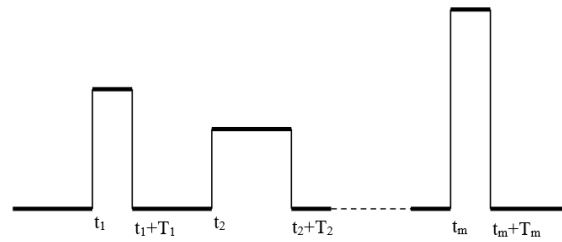


Рисунок 2 – Можливий варіант ЛЧФ, що має m часових координат відрізки існування яких не перетинаються



Рисунок 3 – Можливі варіанти монотонної ЛЧФ: а) зростаюча ЛЧФ, б) спадна ЛЧФ

Можна показати, що функції другого та третього класів можна подати у вигляді накладання (суперпозиції, логічного додавання) ЛЧФ першого класу. Тоді, для позначення таких функцій доцільно використати модифікований плюс: « \oplus ». Крім того, дискретизація часу дозволяє координати початку часового інтервалу і інтервал існування конкретної функції задавати числом Δ -інтервалів (тактів) [4]. Пропонується вказувати ці значення відповідно як нижній та верхній індекси змінної. Для БЛЧФ, зображених на рис. 4, записуючи всі інтервали існування в порядку зростання початкового часового інтервалу, отримуємо:

$$x(t) = x_1^3 \oplus x_{10}^1,$$

$$y(t) = y_1^1 \oplus 2y_2^1 \oplus y_3^2 \oplus y_9^2.$$

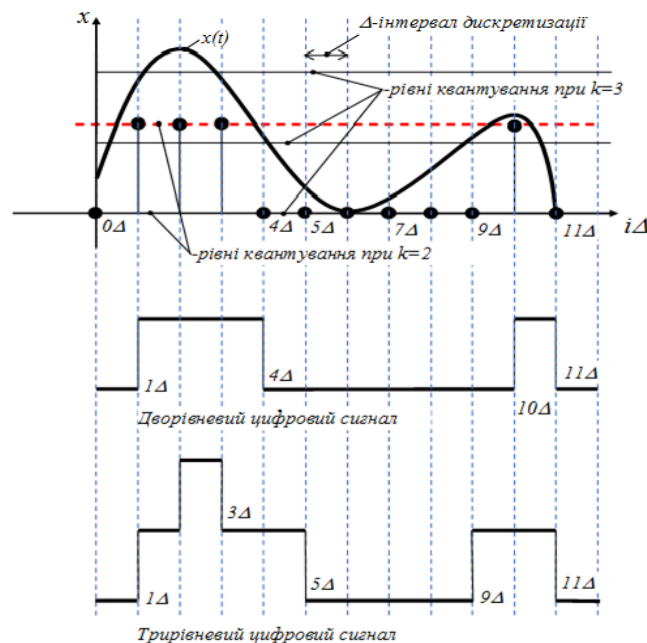


Рисунок 4 – Одержання ЛЧФ сигналу, шляхом квантування та дискретизації

Вираз типу $2y_2^1$ (або $a_{t_i} z_{t_i}^{T_i}$) традиційно сприймається як множення 2 на y_2^1 , хоча 2 – це значення змінної амплітуди. Для виключення подвійного трактування логічні значення a_i записуємо у верхньому попередньому індексі: $y(t) = {}^1y_1^1 \oplus {}^2y_2^1 \oplus {}^1y_3^2 \oplus {}^1y_9^2$

В загальному вигляді для індексів використовуємо прийняті раніше позначення T і тоді маємо:

$$z(t) = a_1 z_{t_1}^{T_1} \oplus a_2 z_{t_2}^{T_2} \oplus \dots \oplus a_i z_{t_i}^{T_i} \oplus \dots \oplus a_n z_{t_n}^{T_n} \quad (2)$$

Запис (2) назвемо індексним. Фактично індексний запис тривалості амплітуд a_i , k -значних функцій, разом з початком інтервалів існування t_x , повністю характеризують ЛЧФ.

Для подальшого спрощення символічного позначення ЛЧФ введемо поняття продукуючого слова. Одномірним продукуючим словом A логіко-часової функції називається сукупність упорядкованої за часом множини одномісних аргументів тривалістю Δ типу $\{a_0, a_1, a_2, \dots, a_{T-1}\}$ довжиною T :

$$A = {}^z A_{t_z}^{T_z} = W_{t_z}^{T_z} a_i \quad (3)$$

де W – оператор впорядкування за часом та розбиття значень аргументів ЛЧФ на одиничні Δ -інтервали, $T_z = T_0 + T_1 + T_2 + \dots + T_{N-1}$. i – порядковий номер інтервалу. Правий нижній та верхній індекси t_z і T_z , що записується у разі усунення неоднозначного трактування, вказує на початок та довжину слова, i -показує положення аргументу в слові та пробігає всі значення $0, 1, 2, \dots, (T-1)$.

Тепер в найбільш загальному вигляді, маємо повну форму запису ЛЧФ k -значної логіки

$${}_k z(t_i) = {}_k z_{t_z}^{T_z}(t_i) = \left(W_{t_z}^{T_z} a_i \right) \Big|_k z_{t_z}^{T_z} \quad (4)$$

де t_i , як часова координата a_i , визначається співвідношенням $t_i = t_z + i$

$t_i \in \{t_z + 0, t_z + 1, t_z + i, \dots, t_z + T_z - 1\}$, $a_i \in \{0, 1, \dots, k-1\}$, індекс k вказує значність ЛЧФ.

Для конкретної 4-значної ЛЧФ (рис. 5) використання оператора впорядкування одномісних аргументів має такий вигляд:

$${}_4 x(t) = {}_4 x_{t_x}^{T_x} = W(1^1, 2^2, 1^1, 3^4) \Big|_4 x_{t_x}^8 = (12213333) \Big|_4 x_{t_x}^8$$

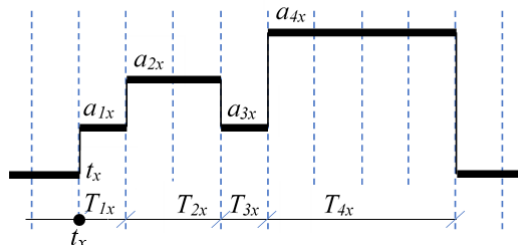


Рисунок 5 – Можливий варіант 4-значної ЛЧФ

В цілому, значення a_i – це логічні змінні, а числові змінні – це значення тривалості інтервалу існування і час його початку. З цього можна зробити висновок, що БЛЧФ допускають як логічні, так і арифметичні (алгебраїчні) операції.

Розглянемо, наприклад, функцію заперечення Лукасевича (інверсії), що для звичайної k -значної змінної визначається формулою: $\tilde{x} = (k - 1) - x$. Для БЛЧФ в інтервалі існування $(t_x, t_x + T_x)$, це описується в загальному вигляді таким виразом:

$$\tilde{x} = \left((k - 1) - a_0^{T_0}, (k - 1) - a_1^{T_1}, \dots, (k - 1) - a_N^{T_N} \right) \Big|_k x_{t_x}^{T_x}, \tag{5}$$

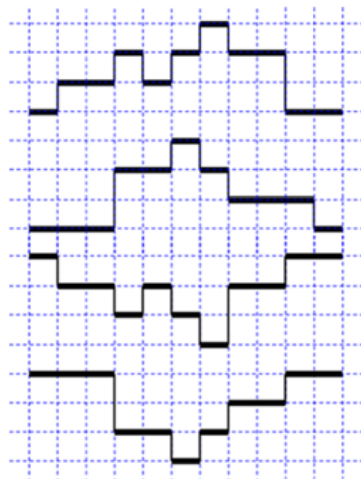
або в повній формі

$$\tilde{z}(t) = \tilde{z}_{t_z}^{T_z} = \prod_{i=0}^{T_z-1} \left((k - 1) - a_i \right) \Big|_k z_{t_z}^{T_z}. \tag{6}$$

В разі потреби врахування значення функції за межами інтервалу існування потрібно вказати значення БЛЧФ в інтервалах $0 - t_0$ та $(t_n + T_n) - \infty$:

$$\tilde{x} = \left((k - 1)_{t_0}^{t_0}, (k - 1) - a_0^{T_0}, (k - 1) - a_1^{T_1}, \dots, (k - 1) - a_N^{T_N}, (k - 1)_{t_N + T_N}^{\infty} \right) \Big|_k x_{t_x}^{T_x}. \tag{7}$$

Приклади графіків заперечень Лукасевича для чотиризначної ЛЧФ наведено на рис. 6.



$${}_4x(t) = \left(1^2 2^1 1^2 3^1 2^2 \right) \Big|_4 x_1^8$$

$${}_4y(t) = \left(2^2 3^1 2^1 1^3 \right) \Big|_4 y_3^7$$

$${}_4\tilde{x}(t) = \left(3^1 2^2 1^2 1^2 0^1 2^2 3^\infty \right) \Big|_4 x_0^\infty$$

$${}_4y(t) = \left(3^3 1^2 0^1 1^1 2^2 3^\infty \right) \Big|_4 y_0^\infty$$

Рисунок 6 – Приклади реалізації заперечення Лукасевича

Для k -значних функцій часто використовується циклічне заперечення або заперечення Поста, що визначається формулою:

$$\bar{z}(t) = \bar{z}_{t_z}^{T_z} = \left(\prod_{i=0}^{T_z-1} (a_i + 1) \bmod k \right) \Big|_k z_{t_z}^{T_z},$$

а також функція мінус x :

$$-x = (k - x) \bmod k. \tag{8}$$

Для позначення зсуву вліво чи вправо (випередження або затримка) використаємо оператор

$$D_t^s : D^s x_{t_x}^{T_x} = \left\{ \forall t : D^s x_{t_x}^{T_x} = x_{t_x+s}^{T_x} = \left(\prod_{i=0}^{T_x-1} W a_i \right) x_{t_x+s}^{T_x} \right\}, \quad (9)$$

де s вказує на величину зсуву в Δ -інтервалах. Якщо s зі знаком «+», то маємо зсув вправо, а зі знаком «-» - зсув вліво. Даний оператор може мати параметри, що вказуються у відповідних індексах. Наявність нижнього індексу t вказує на час, від якого починається зсув. В такому випадку, символ D_t^s оператора зсуву може знаходитись в будь-якому місці виразу БЛЧФ, але раніше за t . Якщо нижній індекс відсутній, то зсув починається від значення функції, що слідує за оператором D^s від початкового Δ -інтервалу. Дія оператора D_t^s поширюється на весь інтервал існування функції, що знаходиться під знаком оператора справа від t до $t+s$. Просто D без індексів вказує на одиничний зсув. Як правило, значеннями функції, що при зсуві опинились за межами інтервалу існування або інтервалу зсуву, ігнорують. Якщо зсув починається з t_i , тоді отримаємо:

$$D_{t_i}^{-R} z(t) = D_{t_i}^{-R} z_{t_i}^T = z_{t_i}^{T_1} \oplus z_{t_i}^{T_2} \oplus \dots \oplus z_{t_i-R}^{T_i} \oplus \dots \oplus z_{t_i-R}^{T_n}. \quad (10)$$

Наприклад, для функції $y(t) = y_1^1 \oplus 2y_2^1 \oplus y_3^2 \oplus y_9^2$, при $s = -2$ БЛЧФ функція зсуву така:
 $D^{-2}_4 y = y_{-1}^1 \oplus y_0^1 \oplus y_1^2 \oplus y_7^2$.

Схемо-технічна реалізація елементів та вузлів багатозначної логіки, як правило, будується на звичайних двійкових елементах з відповідним кодуванням. Наприклад, для трійкової логіки, про яку Д. Кнут сказав, що «заміна двійкового тригера на трійковий обов'язково станеться», можна використати таке кодування: «0» → 00, «1» → 01 та «2» → 10. Трійкові елементи та вузли можуть будуватись, як з використанням різних кодових систем, так і з використанням різних фізичних принципів роботи елементів. Нас цікавлять трійкові вузли, що використовують звичайний двійковий код. Для моделювання розглянутих операцій використаємо трійковий тригер на базі двійкових логічних елементів і коду, що згаданий вище.

Трійковий тригер, що працює по фронту імпульсу, наприклад для регістрів зсуву або лічильний трійковий Т-тригер, можна побудувати по схемі М-S (Master-Slave), синтезувавши відповідну вхідну логіку на сигнали S_1 та S_2 для тригера М. На рис. 7 показано умовне позначення тригера для регістра зсуву.

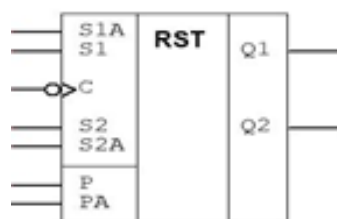


Рисунок 7 – Трійковий MS-тригер

Тут одиниця на вході P дозволяє роботу входів $S1$ та $S2$, а відповідно PA – $S1A$ та $S2A$. Комбінація сигналів 10 на $S1S2$ та $S1AS2A$ встановлює в тригері «1» і навпаки, комбінація на входах 01 – встановлює «2». 11 на входах $S1AS2A$ записує в тригер «0», а 00 зберігає стан тригера. Навпаки, вхідний сигнал 00 на входах $S1S2$ – зберігає інформацію в трійковому тригері рис. 7.

На рис. 8 представлена схема регістра зсуву на чотири тріти, розроблена з використанням програмного пакету NI Multisim 14.0 на віртуальних компонентах. В регістр, по командах генератора слів (XWG1), записується інформація (1201) з перемикача $S3$, а на схемах U109 та U110 реалізована функція заперечення Лукасевича. На рис. 9 маємо діаграми роботи схеми при генерації БЛЧФ правими трітами (розрядами) вперед.

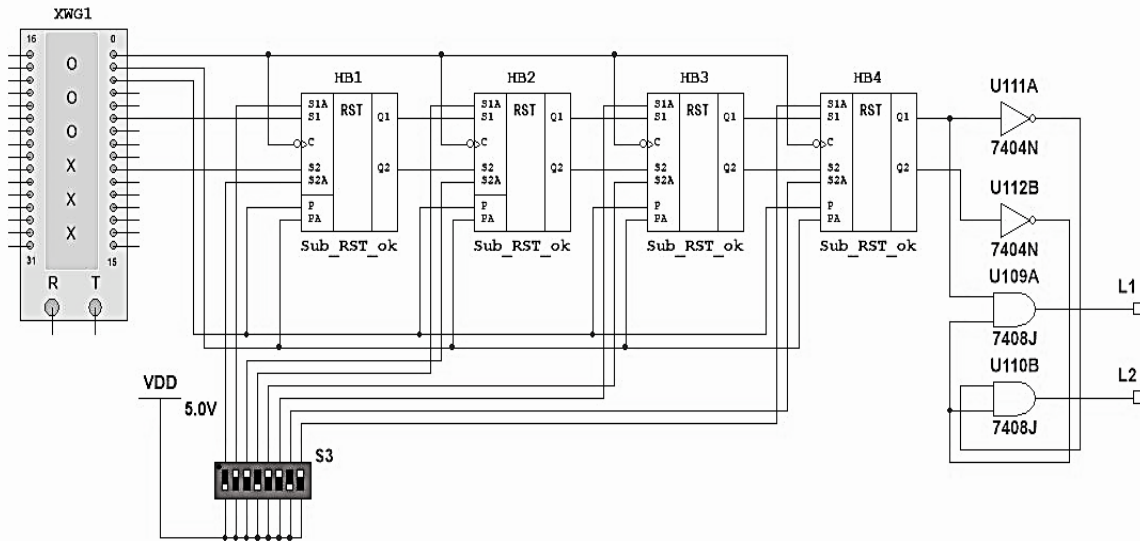


Рисунок 8 – Генерація БЛЧФ регістром зсуву і заперечення Лукасевича

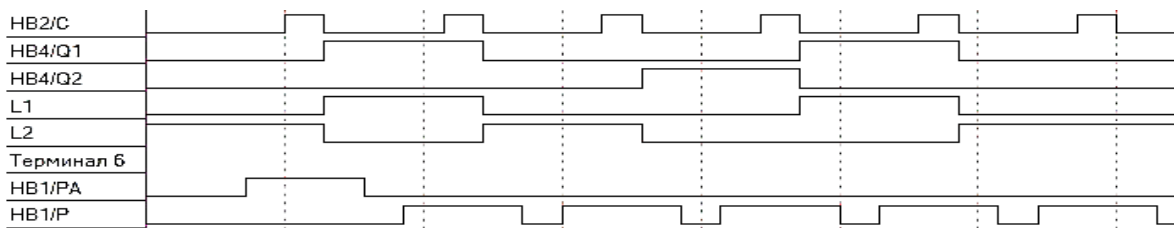


Рисунок 9 – Діаграми генерації БЛЧФ

Висновки

1. Запропонована індексна форма подання БЛЧФ, яка досить легка для сприйняття і дає змогу розглядати будь-які ЛЧФ як числову послідовність.
2. Для подальшого спрощення аналітичного представлення ЛЧФ розглянуто поняття продукуючого слова та введено оператор впорядкування за часом та розбиття значень аргументів на одиничні Δ -інтервали.
3. В якості базових операцій розглянуто операцію заперечення Лукасевича та операцію зсуву, які дозволяють, в подальшому, ввести більш складні операції над БЛЧФ, такі як нерівнозначність, диференціювання та інтегрування і дослідити їх властивості.
4. Змодельовано генерацію БЛЧФ регістром зсуву і заперечення Лукасевича.
5. Запропоноване математичне представлення БЛЧФ дозволить використовувати їх для створення паролів, побудови крипто-ключів, прогнозування розвитку в часі деяких процесів і т. ін. [5].

Список літератури

- [1] Ю. Я., Базилевский, *Вопросы теории временных логических функций*. В кн.: *Вопросы теории математических машин*, сб. 1. М., 1958, 30 с.
- [2] Д. А. Поспелов, «Синтез схем, работа которых описывается временными булевыми функциями», *Автоматика и телемеханика*, том 21, выпуск 10, с. 1410–1413, 1960.
- [3] З. Л. Рабинович, «Векторно-временные переключательные функции (ВП-функции) как язык для описания схем и процессов переработки информации», *Кибернетика*, № 3, с. 36–42, 1968.
- [4] Н. В. Сачанюк-Кавецька, В. П. Кожем'яко, *Елементи око-процесорної обробки зображень в логіко-часовому середовищі. Монографія*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2004, 135 с.
- [5] Н. В. Сачанюк-Кавецька, І. О. Бондаренко, «Ідентифікація суб'єктів в системах контролю доступу за допомогою ідентифікаційної логіко-часової функції, як ефективний метод комплексного захисту інформації», *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(35), с. 14–23, 2018.

- [6] N. Sachaniuk-Kavets'ka, V. Kozhemiako, W. Wojcik, D. Kassymkhanova, A. Kalizhnova (2015). «The use polynomials as a possible variant analytical processing on logic-time functions», *Optical Fibers and Their Applications 2015 Proceedings of SPIE*, 9816, Lublin, Poland.
- [7] D. Michael Miller, Mitchell A. Thornton, *Multiple-Valued Logic: Concepts and Representations*, 2007, 127 p. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6813012/metrics#metrics>. Accessed on: Jan. 05, 2022.

Стаття надійшла: 10.01.2022.

References

- [1] Ju. Ja., Bazilevskij, *Voprosy teorii vremennyh logicheskikh funkcyj. V kn.: Voprosy teorii matematicheskikh mashin*, sb. 1. M., 1958, 30 p. [in Russian].
- [2] D. A. Pospelov, «Sintez shem, rabota kotoryh opisyyvaetsja vremennymi bulevymi funkciya-mi», *Avtomatika i telemekhanika*, tom 21, vypusk 10, s. 1410–1413, 1960 [in Russian].
- [3] Z. L. Rabinovich, «Vektorno-vremennye pereklyuchatel'nye funkicii (VP-funkcii) kak jazyk dlja opisaniya shem i processov pererabotki informacii», *Kibernetika*, № 3, pp. 36–42, 1968 [in Russian].
- [4] N. V. Sachaniuk-Kavetska, V. P. Kozhemiako, *Elementy oko-protsesnornoj obrobky zobrazhen v lohiko-chasovomu seredovyschi. Monohrafiia*. Vinnytsia, Ukraina: UNIVERSUM, 2004, 135 p. [in Ukrainian].
- [5] N. V. Sachaniuk-Kavetska, I. O. Bondarenko, «Identyfikatsiia subiektiv v systemakh kontroliu dostupu za dopomohoiu identyfikatsiinoi lohiko-chasovoi funktsii, yak efektyvnyi metod kompleksnoho zakhystu informatsii», *Optoelectronic Information-Energy Technologies*, №1(35), pp. 14–23, 2018 [in Ukrainian].
- [6] N. Sachaniuk-Kavets'ka, V. Kozhemiako, W. Wojcik, D. Kassymkhanova, A. Kalizhnova (2015). «The use polynomials as a possible variant analytical processing on logic-time functions», *Optical Fibers and Their Applications 2015 Proceedings of SPIE*, 9816, Lublin, Poland.
- [7] D. Michael Miller, Mitchell A. Thornton, *Multiple-Valued Logic: Concepts and Representations*, 2007, 127 p. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6813012/metrics#metrics>. Accessed on: Jan. 05, 2022.

Відомості про авторів

Сачанюк-Кавецька Наталія Василівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики.

Прозор Олена Петрівна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики.

N. Sachaniuk-Kavets'ka, O. Prozor

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF LOGIC-TIME FUNCTIONS OF MULTIPLE-VALUED LOGIC AND SOME OPERATIONS OVER THEM

Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу
<http://itce.vntu.edu.ua/>