

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ



Відповідальний редактор – проф., д-р техн. наук В. Д. Рудь

№37 2019

*м. Луцьк
Видавництво Луцького національного технічного університету*

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ:
ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

№37 2019р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
проф., д.т.н. Рудь В.Д.	(м. Луцьк)
Заступники головного редактора:	
проф., д.т.н. Андрушак І.Є.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Пех П.А.	(м. Луцьк)
Відповідальний секретар:	
мол.наук.співробітник Свиридюк К.А.	(м. Луцьк)
Члени редакційної колегії:	
проф, PhD. Milosz Marek	(Польща, м. Люблін)
проф, PhD. Alison McMillan	(Великобританія)
проф, PhD. Дехтяр Ю.Д.	(Литва, м. Рига)
проф., д.т.н. Мазур М.П.	(м. Хмельницький)
проф., д.т.н. Мороз Б.І.	(м. Дніпро)
проф., д.т.н. Степанов М.М.	(м. Київ)
проф., д.т.н. Тарасенко В.П.	(м. Київ)
проф., д.ф-м.н. Пастернак Я.М.	(м. Луцьк)
проф., д.т.н. Грабар І.Г.	(м. Житомир)
проф., д.е.н. Рудь Н.Т.	(м. Луцьк)
проф., д.т.н. Мельник А.О.	(м. Львів)
доц., к.т.н. Драган О.В.	(м. Брест, Білорусія)
доц., к.т.н. Лотиш В.В.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Гуменюк Л.О.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Заблоцький В.Ю.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Самчук Л.М.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Ткачук А.А.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Решетило О.М.	(м.Луцьк)
доц., к.т.н. Сичук В.А.	(м. Луцьк)

Адреса редколегії:

Луцький національний технічний університет,
кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки
вул. Львівська 75, ауд.141
м.Луцьк, 43018
тел. (0332) 74-61-15
E-mail: cit@lntu.edu.ua,
сайт журналу: **ki.lutsk-ntu.com.ua**

Журнал засновано у грудні 2010 р.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 16705–5277 Р.
Засновник: Луцький національний технічний університет

**Рекомендовано до друку Вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол №5 засідання від 26.12.2019)**

Журнал рішенням МОН України
наказом №515 від 16.05.2016р,
включено в перелік наукових фахових видань.

**Видання індексується у
наукометричних та реферативних базах:**

[Index Copernicus Journal Master List](#)
[Open Academic Journals Index](#)
[Academic Resource Index ResearchBib](#)
[Rootindexing](#)
[Information Matrix for the Analysis of Journals](#)

ISSN 2524-0560 (Online)

ISSN 2524-0552 (Print)

ЗМІСТ

ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Andrushchak I. Ye., Martsenyuk V. P., Androshchuk I. V, Chudovets V. V., Dorosh V. Yu., Poteychuk M. I. Cloud computing and analysis features of cloud information security. <i>[Андрущак І.Є., Марценюк В.П., Андросчук І.В., Чудовець В.В., Дорош В.Ю., Потейчук М.І.: Хмарні обчислення та аналіз особливостей інформаційної безпеки в хмарі.]</i>	5
Асєєва А. В., Кулаковська І. В. Аналіз проблем вибору технології для розробки програмного забезпечення.	10
Багнюк Н. В., Кузьмич О. І., Мельник В. М., Тимошук П. В.. Концепція формалізації взаємин з зовнішніми клієнтами та інтеграція CRM-системи.	19
Багнюк Н. В., Кузьмич О. І., Мельник В. М., Шепелюк Г. С., Чорний М. А. Графічний інтерфейс MATLAB для моделювання процесів самоорганізації в біосистемах.	25
Кузьмич О. І., Мельник В. М., Капши В. Ю. Дослідження аналітики закупівель на базі конфігурації УНФ платформи 1С:Підприємство 8.3.	31
Лавренчук С. В., Ілюшик Р. С. Дослідження технології обробки природної мови та машинного навчання при створенні chat-bot засобами Python.	36
Поліщук М. М., Костючко С. М., Христинець М. О. Порівняння методів оптимізації нейронних мереж на прикладі задачі класифікації зображень.	43
Терейковська Л. О. Метод нейромережевого аналізу клавіатурного почерку.	53
АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Грінченко Л. Г. Метод колокацій систем лінійних рівнянь зі змінними коефіцієнтами.	60
Ісмаїлова Н. П., Елісєєв І. П. Моделювання спряжених поверхонь за допомогою метода кругового перетворення в системі MATLAB.	66
Кулаковська І. В. Нелінійне множинне регресійне рівняння для оцінювання розміру програмного забезпечення з відкритим кодом типу mp3players на JAVA.	72
Марценюк В. П., Сверстюк А. С., Козодій Н. В., Дзядевич С. В., Стравський Т. Я. Функціональні особливості біосенсорів та їх моделювання.	81
V. Moroz, A. Shcherbakov. Research and development of an automated video surveillance system to perform special functions. <i>[Мороз В. І., Щербаков А. Г. Аналіз досліджень і розробок автоматизованої системи відеоспостереження для виконання спеціальних функцій.]</i>	89
Поліщук М. М., Гринюк С. В., Янчук Д. І. Тесла-свіч 4-х батарей на основі системної плати Arduino Uno.	97
Приходько О. С., Приходько Г. В. Розробка програмного забезпечення для автоматизованого визначення крайових кутів змочування.	106
Томенко М. Г., Томенко В. І., Корецька О. О. Визначення на ранніх стадіях аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв за рахунок фіксації змін в вібрації обладнання.	111

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-1

УДК: 004.05(075.8)

¹Андрущак І.Є., ²Марценюк В.П., ¹Андрошук І.В., ¹Чудовець В.В., ¹Потейчук М.І.

¹Луцький національний технічний університет

²Університет в Бельсько Бяла

CLOUD COMPUTING AND ANALYSIS FEATURES OF CLOUD INFORMATION SECURITY

Андрущак І.Є., Марценюк В.П., Андрошук І.В., Чудовець В.В., Потейчук М.І. Хмарні обчислення та аналіз особливостей інформаційної безпеки в хмарі. У статті розглядається сучасний стан застосування та розвитку хмарних обчислень, основні переваги та недоліки їх використання в державах, на підприємствах і в науковій діяльності. Визначаються і аналізуються стандарти, нормативні та керівні документи в галузі інформаційної безпеки хмарних обчислень, розроблені Cloud Security Alliance (CSA), Європейським агентством мережевої та інформаційної безпеки (ENISA) і Національним інститутом стандартів і технологій (NIST), а також наводяться результати детального аналізу питань інформаційної безпеки в хмарі.

Ключові слова: хмарні обчислення, інформаційна безпека, порівняльний аналіз, недоліки та переваги обчислень в хмарах.

Андрущак И.Е., Марценюк В.П., Андрошук И.В., Чудовець В.В., Потейчук М.И. Облачные вычисления и анализ особенностей информационной безопасности в облаке. В статье рассматривается современное состояние применения и развития облачных вычислений, основные преимущества и недостатки их использования в государствах, на предприятиях и в научной деятельности. Определяются и анализируются стандарты, нормативные и руководящие документы в области информационной безопасности облачных вычислений, разработанные Cloud Security Alliance (CSA), Европейским агентством сетевой и информационной безопасности (ENISA) и Национальным институтом стандартов и технологий (NIST), а также приводятся результаты детального анализа вопросов информационной безопасности в облаке.

Ключевые слова: облачные вычисления, информационная безопасность, сравнительный анализ, недостатки и преимущества вычислений в облаках.

Andrushchak I.Ye., Martsenyuk V.P., Androshchuk I.V., Chudovets V.V., Poteychuk M.I. Cloud computing and analysis features of cloud information security. The article discusses the current state of application and development of cloud computing, the main advantages and disadvantages of their use in the states, enterprises and in scientific activity. The standards, regulations and guidance documents in the field of cloud computing information security are developed and analyzed, developed by the Cloud Security Alliance (CSA), the European Network and Information Security Agency (ENISA) and the National Institute of Standards and Technology (NIST), and the results of a detailed analysis of the issues information security in the cloud.

Keywords: cloud computing, information security, benchmarking, disadvantages and benefits of cloud computing.

Formulation of the problem. The rapid development of broadband Internet has become one of the impetus for the emergence of cloud services as an IT outsourcing tool. Today, the Internet is widely used in many industries. Given the rapid growth of the IT industry and the number of services it can provide, the use of IT technologies for business development is right strategically. Modern business uses technological developments not only to automate business processes, but also to translate new ideas and ways to gain competitive advantage. Becoming a leader in any business is not enough today. Having achieved the desired result, it is important for managers to be able to retain leadership both in an accurate and strategic perspective, based on a rational approach taking into account the development of the IT industry. With the rapid development of information technologies and the improvement of technical means, the management of companies raises the problem of how to promptly track the emergence of technological innovations and timely implement them in the social and technological processes of their activities.

Currently, no educational institution can operate effectively without the use of modern information technology. At the same time, the maintenance and development of each IT center's own IT infrastructure is very expensive. Institutions spend large sums on computer equipment, telecommunication equipment and software. Cloud computing is a good alternative to the classic training model. Its main advantage can be considered significant savings of the educational institution in which they are used. In this case, the computer infrastructure and / or information services are provided as "cloud" provider services. The only thing that cloud teachers need to offer to teachers and students is access to the Internet. The domestic cloud technology model is becoming one of the most important in the development of information technology outsourcing. Today, cloud technologies are being actively implemented in the day-to-day operations of organizations. This is facilitated by the current conditions of the market economy of Ukraine, where a culture of providing services and supporting complex information systems has already been created. Experience has shown that working for the cloud is practically an economical step for virtually all sectors of the consumer business. First of all, this applies

to large corporations as well as to small and medium-sized enterprises, regardless of their field of activity. However, it is now doubtful whether cloud services are feasible for small companies because their computer resources are too low. The attractiveness of cloud products increases as the company's presence on the Internet increases. In the current reality, clouds are a new way of developing the IT industry. The vast majority of Ukrainian business participants are already using cloud services.

It is not easy to understand which cloud to apply to a particular business, but it is not too difficult. To begin with, we need to start with how the internal information component of an organization's activity is developed. If the company has its own developed IT infrastructure, it is not always logical to completely abandon the available resources and move to the cloud. If strict control requirements are required, and confidential information (eg financial sphere) is available, then hybrid clouds should be used here. It is recommended to use public clouds (e-commerce, analytics) to solve specific problems. If the business is tasked with improving the efficiency of the current IT infrastructure, then in this case it would be more advisable to introduce a private cloud, which will minimize the cost of its support, increase its flexibility and reduce the timeframe of IT projects [1].

Analysis of research. Cloud is a new business model for providing and receiving information services. This model promises to reduce operating and capital costs. It allows IT departments to focus on strategic projects rather than the routine tasks of managing their own data center.

There are many definitions of "cloud computing" to date. Most often they differ in their meaning and accents. Let's look at some of these definitions to understand what "cloud computing" is from different perspectives. Cloud computing is a dynamically weighted way to access external computing resources in the form of an Internet-based service, without the user having any particular knowledge of the cloud infrastructure or management skills of that cloud. technology. Cloud computing is software that is accessible to the user over the Internet or on a LAN as a service, allowing the use of a convenient interface for remote access to dedicated resources (computing resources, applications and data). The computer acts as an average terrestrial connected to the Network. Computers that perform cloud computing are called "cloud computing." In this case, the load between the computers included in the "cloud" is split automatically.

Cloud computing is not only a technological innovation in IT, but also a way to create new business when small IT vendors, including in the regions, have the opportunity to quickly market their services and few a costly way to embody your business ideas. Cloud computing, combined with investment in young companies, creates a rapidly evolving ecosystem of innovative industries. Cloud is an innovative IT concept for the IT infrastructure organization consisting of distributed and shared configured hardware and network resources, as well as software deployed at remote (cloud) vendor (provider) centers). That is, the cloud is a new approach in the organization of IT infrastructure. Cloud computing is a model of providing ubiquitous and convenient on-demand network access to a pool of shared configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be quickly deployed and released with minimal effort to manage or interact with the provider (provider). This cloud model is represented (described) by five main features, three service models and four deployment models. [2].

Presentation of the main material and the justification of the results. "Cloud" means a complex infrastructure with many technical details hidden in "clouds". The NIST Definition of CloudComputing v15 defines "cloud computing" as follows: the cloud computing model provides convenient network access to a shared pool of computing resources that configurable (eg, networks, servers, storage, application, services); the cloud model promotes accessibility and is characterized by five basic elements (self-service on demand, wide network access, pooled resources, independent location, fast flexibility, measurable services). There are many cloud solution providers available today. Big companies like Amazon, Google, Microsoft, etc. offer significant discounts to educational institutions, giving them access to cloud services virtually free of charge.

Before every business, sooner or later the question arises which cloud to choose. There can be no single answer here. Because every business has its own peculiarities, advantages and specific risks. It is recommended to take into account at least two major factors: how much the desired IT services will address and the level of potential information security risks. Based on practical and theoretical research in the field of cloud technology, seen as a tool for business outsourcing, it is important to highlight the point where a significant proportion of large companies use public cloud services for end customers or for external (remote) employees. And the core systems for full-time employees are concentrated in a private cloud. However, big business and most mid-level entrepreneurs prefer private or hybrid clouds (technology). This is due to a factor such as the availability of an advanced IT service, which makes it more profitable and easier to manage your private cloud than to move your entire computing

infrastructure to the public domain. Given the current situation, in the presence of potential IT security problems, the attractiveness of cloud services is still actively growing, and today there is considerable interest from the business community in this trendy outsourcing trend.

Increasing the attractiveness of cloud products for Ukrainian businesses is directly dependent on the mass of the company's presence on the Internet's global network. Equally important factor in the active use of cloud services is the rapid development of IT outsourcing, which makes the business gain geometric optics as a result of the interference of the direct beam and the beam reflected from the earth's surface a number of benefits from using new development mechanisms. Speaking of cloud computing, one has to say about a possible evolution of IT that the market may reach in the future. Analysts call this model IT as a Service (ITaaS). The name implies that this model assumes the consumption of all IT resources, be it hardware or software or service. In practice, this means bringing all the facilities to specialized data centers, placing the necessary applications in them, and renting the equipment to access these resources. Rental equipment is also serviced by the service provider. So far, such organization of supplier-customer interaction is practically not widespread in the Ukrainian market. It should be noted that in addition to the aforementioned advantages of cloud models, outsourcing non-core business processes to outsourcing companies and reducing capital expenditures on IT by translating them into operating systems makes the company more attractive to financial institutions [3-4].

If the model (concept) of providing distributed and shared configured computing resources meets the above characteristics, then it is cloud computing. Cloud computing service models or cloud computing:

- software as a Service (SaaS) is software as a service. In this cloud computing model, the consumer uses vendor applications running on a cloud infrastructure that are accessible to the client via a web browser or application interface. Consumers cannot manage and control the underlying cloud infrastructure, including networks, servers, operating systems, data warehouses, or even modify the parameters of a specific application.

- platform as a Service (PaaS) is a platform as a servant. A cloud computing model in which a consumer gains access to the use of a software platform: operating systems, database systems, application software development and testing tools. In fact, the consumer leases a computer platform with the operating system installed and specialized development tools. The consumer does not manage the underlying cloud infrastructure, including networks, servers, operating systems, or data warehouses, but manages deployed applications and possibly configuration settings for the environment.

- infrastructure as a Service (IaaS) - infrastructure as a service. A cloud computing model in which the consumer is able to manage processing and storage, as well as other basic computing resources (virtual servers and network infrastructure), on which he can independently install operating systems and applications for his own purposes. Essentially, the consumer leases abstract computing power (server time, disk space, and network bandwidth) or uses IT infrastructure outsourcing services. The consumer does not manage the underlying cloud infrastructure, but manages operating systems, storage, and deployed applications [5].

Cloud computing deployment models, ie cloud computing:

- private cloud is an infrastructure designed to use cloud computing in the headquarters of one organization.

- community cloud is a cloud-based infrastructure that is designed to exclusively use cloud computing by a specific consumer community from organizations that solve common problems.

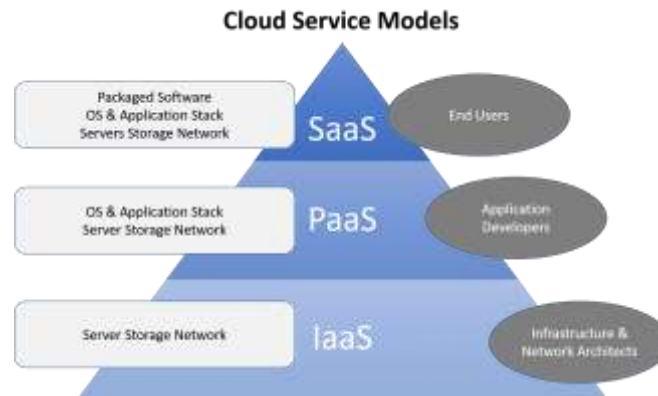
- public cloud is an infrastructure designed for the free use of cloud computing by the general public.

- hybrid cloud is a combination of various cloud infrastructures (private, public) that remain unique objects but are interconnected by standardized or private technologies that enable data and application sharing.

Current information technologies allow the management of companies to completely abandon the installation and use of special software, from their systematic updating. The essence of cloud technology is that Ukrainian businesses may not have any programs on their computer. Only one thing is fundamentally important: having a stable high-speed Internet. Everything you need is presented on the Internet. Therefore, cloud technology for domestic businesses is a kind of Internet-based service model, a list of hardware and software required to process and execute client applications from a growing business. The benefits of cloud technology as an IT outsourcing tool can hardly be overestimated. Clouds make it possible to take small and narrow-minded areas of business beyond the boundaries of business, enabling business directors to focus on core business processes without distracting themselves from secondary tasks [6].

Today, there are many attractive offers in the market for outsourcing services in the field of cloud technologies and at least 9 models, including: IaaS (renting of IT structure), BPaaS (services for solving business problems), SaaS (renting of applications), PaaS (application development), DaaS (virtual desktop), CCaaS (virtual convention center), SecaaS (information security for rent), BaaS (backup as a service), DRaaS (disaster solution). Based on these models, a business understanding of cloud service practices is formed, which essentially enables a business to abandon its own information infrastructure by offering services and assistance to a software-based platform or software from a specialized organization.

Leading global developers, including well-known scientists, are working hard to further develop service clouds. Given the current realities and trends of information technology development, the cloud is divided into three types: private (public cloud), public (public cloud) and hybrid (hybrid cloud) (Pic 1).



Pic 1. Types of "cloud" services

For some educational institutions it may be advantageous to move to the cloud of internal learning management systems (LMS). This is a good opportunity for those institutions that cannot afford to buy and maintain expensive hardware and software that can optimize IT infrastructure costs in today's environment.

Cloud programming. Modern programming practice involves the active use of specialized integrated development tools (IDE - Integrated Development Environment). Their use has two complexities:

- configuring and installing IDEs requires a high level of system administrator skills. This leads to the need to hire highly qualified staff to become a system administrator, whose salaries may be a significant cost item in the educational institution's budget;
- modern IDEs are quite demanding for the resources of the machine they are using. For example, one of the most common IDEs of Microsoft Visual Studio 2012 requires a processor with a power of 1.6 GHz or higher, 1 GB of RAM (or 1.5 GB for a virtual machine), 10 GB of free disk space. Most educational tasks do not require computers with such high performance, so buying them may be an unacceptable luxury [7].

Email was one of the first cloud services to be used by European educational institutions. E-mail service outsourcing is not a difficult task, which clearly does not play a key role in the work of an educational institution. Google and Microsoft provide employees and students with access to e-mail for free. In addition to email services, these corporations provide the ability to use the standard office suite in the cloud to collaborate with electronic documents, spreadsheets and create presentations. Cloud services for Google Apps for Education and Microsoft Office 365 for education allow you to use built-in messaging, shared scheduling calendars and shared address books. Each cloud user receives a large amount of disk space to store any information received as a result of the cloud operation. The free delivery of services to educational institutions is explained as follows. In today's cloud market, there is high competition between software vendors, so they try to provide their services to educational institutions for free. The calculation goes to future graduates who, after receiving their education, will get a job and will be able to persuade future employers to buy a software product that they already know about. If data security is not a priority for an educational institution, then it may be advantageous to use low-level IaaS Services as storage systems, such as video and audio [8].

The disadvantages of using cloud computing in terms of information security include:

- system complexity: A shared cloud is extremely complex compared to a traditional data center. The large number of components that make up the cloud allows you to attack at different levels of abstraction. In addition to components for general computing, such as application deployments, virtual

machine monitors, guest virtual machines, storage, there are also components that include controls: self-service, accounting resource, quota management, data replication and recovery, service level monitoring, management workload.

Common multi-user environment: The main drawback of public clouds is that they share resources and components with users who are not logically aware of them, allowing the attacker to exploit the mechanism of resource sharing among users and gain unauthorized access to resources by exploiting vulnerabilities inside the cloud. The uniformity of the software and hardware of the platform means that the only drawback will be visible throughout the cloud and potentially affect all users of services. Internet Usage: Cloud Services, as well as administering and managing cloud services and applications settings, uses an unsecured Internet network. As the organization moves to cloud computing, internal secure networks and resources have new information hazards that need to be addressed. There is also a need for remote administration using an unsecured data channel. Loss of control: When using cloud services, the user transfers control of the information to the cloud provider, which carries additional risks for information security. The user becomes dependent on the cloud provider and may lose not only logical control over the information, but also physical [9].

Conclusion and prospects for further research

Thus, the introduction of innovative technologies, in particular cloud, in various fields of educational activity (educational process, management and monitoring, research, exchange of pedagogical experience, etc.) can contribute to the modernization of education as a whole, its transition to a qualitatively new level, the development of principles of openness and humanism. Of course, the process of upgrading education cannot be limited to the use of cloud computing. Successful implementation of new technologies requires updating pedagogical approaches, methods and techniques, creative focus and personal motivation.

Further research we consider appropriate to focus on the creation of techniques for the use of cloud services in various fields of educational activity. Cloud computing is a combination of several key technologies that have been developed over the years and are considered by many researchers as the next generation of enterprise IT architecture. With all the benefits of cloud computing, there are many security issues that are not well understood today and are still under discussion.

As the article showed, the main problem that has not been resolved in the field of cloud computing today is user trust in the service provider. This problem is acute not only for companies and enterprises using third-party vendors, but also for ordinary users, whose personal data also need protection and security guarantees. If in the case of a large enterprise, it can protect itself against threats by conducting a security audit of a cloud service provider and analyzing risks and threats to information security, as well as insuring them or creating their own private cloud, then small companies or ordinary users do not have this opportunity. It is therefore necessary to implement controls for cloud service providers at the international or national level, with the aim of conducting a security audit and verifying their compliance with international or national standards and the conditions imposed on them. Future work plans to review and analyze existing cloud construction architectures in terms of their security.

References

1. Arkipov T.L., Zaitseva T.V. Cloud computing technologies in educational institutions // Cloud technologies in education. Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Methodological Internet Seminar (Krivoy Rog - Kyiv - Cherkasy - Kharkiv, December 21, 2012). Kryvyi Rih: KII Publishing Department, 2012. - P.72.
2. Aleksanyan GA Use of cloud services Yandex in organizing independent activity of students of VET [Text] / GA. Aleksanyan // Pedagogy: Traditions and Innovations (II): International Materials. in absentia. scientific Conf. (Chelyabinsk, October 2012). - Chelyabinsk: Two Komsomol members, 2012. - P. 150-153.
3. Cloud technologies in education: materials of the All-Ukrainian scientific-methodological Internet-seminar (Krivoy Rog - Kiev - Cherkasy - Kharkiv, December 21, 2012). Kryvyi Rih: KII Publishing Department, 2012. - 173 p.
4. Koroleva A.S. On the possibility of using cloud technologies in education [Report]. Magadan: Municipal Autonomous Educational Institution "Gymnasium 24", 2012.
5. Neil Sclater. Cloud computing in education: A case study. Moscow: UNESCO Institute for Information Technologies in Education, 2010.ISO/IEC 17788:2014(E). Information technology – Cloud computing – Overview and vocabulary : International Standard. – Switzerland : ISO/IEC, 2014. – 14 p.
6. The NIST Definition of Cloud Computing : Recommendations of the National Institute of Standards and Technology [Electronic resource]. – Access mode: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>
7. Seydametova Z. S., Seytvelieva S. N. Cloud services in education // Information Technologies in Education. 2011, N9.
8. Sultanova N, Tishchenko D. Promotion of the use of information and communication technologies in technical and vocational education and training in the CIS countries [Report]. Moscow: UNESCO, 2012.
9. Voronkin O.S. Cloud Computing as a Basis for Forming Personal Educational Environments // Collection of Scientific Papers: Proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference FOSS Lviv 2012, Lviv, April 26-28, 2012 - Lviv, 2012. - P. - 143-146.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-2

УДК: 004.891

Асєєва А.В., Кулаковська І. В.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Асєєва А.В., Кулаковська І.В. Аналіз проблем вибору технології для розробки програмного забезпечення. У розробників є досить широкий вибір технологій для реалізації розробки програмного забезпечення інформаційних систем, з часом зростає і складність таких проектів. Проведено аналіз найвідоміших методологій Agile і Waterfall, щоб визначити, яка є найбільш підходящою для різних програмних проектів, обрано критерії оцінювання. Проведено практичне дослідження шляхом опитування експертів, аналізу результатів та розроблено моделі з метою врахування досвіду розробників за вищезгаданими методологіями. В статті проаналізовані існуючі технології розробки програмного забезпечення, обрано математичну модель для створення системи підтримки прийняття рішень, досліджено питання вибору в умовах багатокритеріальності. Методом для вирішення поставленої задачі став метод Парето-оптимальності та метод звуження множини Парето на основі інформації про відносну важливість критеріїв. Методом дослідження є комп'ютерна програма для моделювання СППР. Практичне значення системи полягає у використанні її у разі прийняття рішення вибору технології розробки ПЗ ІС на основі методу Парето-оптимальності.

Ключові слова: програмне забезпечення, розробка, сервіс, життєвий цикл програмного забезпечення, Парето-оптимальність.

Асєєва А.В., Кулаковская И. В. Анализ проблем выбора технологии для разработки программного обеспечения. У разработчиков есть достаточно широкий выбор технологий для реализации разработки программного обеспечения информационных систем, со временем растет и сложность таких проектов. Проведен анализ известных методологий Agile и Waterfall, чтобы определить, которая является наиболее подходящей для различных программных проектов, выбраны критерии оценки. Проведено практическое исследование путем опроса экспертов, анализа результатов и разработанной модели с целью учета опыта разработчиков по вышеуказанным методологиями. В статье проанализированы существующие технологии разработки программного обеспечения, выбрано математическую модель для создания системы поддержки принятия решений, исследован вопрос выбора в условиях многокритериальности. Методом для решения поставленной задачи стал метод Парето-оптимальности и метод сужения множества Парето на основе информации об относительной важности критериев. Методом исследования является компьютерная программа для моделирования СППР. Практическое значение системы заключается в использовании ее в случае принятия решения выбора технологии разработки ПО ИС на основе метода Парето-оптимальности.

Ключевые слова: программное обеспечение, разработка, сервис, жизненный цикл программного обеспечения, Парето-оптимальность.

Asieieva A.V., Kulakovska I.V. Analysis of technology selection problems for software development. The developers have a wide choice of technologies for the implementation of information systems software development, and over time the complexity of such projects increases. The most well-known Agile and Waterfall methodologies are analyzed to determine which is most appropriate for different software projects, and the evaluation criteria are selected. Practical research was conducted by interviewing experts, analyzing the results and developing a model to take into account the experience of developers using the methodologies mentioned above. The article analyzes the existing technologies of software development, the mathematical model for creation of the decision support system, the choice of choice in terms of multicriteria. The Pareto-optimality method and the Pareto set narrowing method based on information about the relative importance of the criteria became the method for solving this problem. The method of research is a computer program for modeling the DSS. The practical importance of the system is to use it when deciding to choose the technology of IP software development based on the Pareto-optimality method.

Keywords: software, development, service, software life cycle, Pareto optimality.

Постановка наукової проблеми. На сьогоднішній день у розробників є досить широкий вибір технологій для реалізації програмного забезпечення інформаційних систем. Також з вибором зростає і складність таких систем. На даний момент, виходячи з аналізу літературних даних, розробка програмного забезпечення (ПЗ) залишається не на достатньому рівні. Відомо, що 30-40% всіх проектів не завершуються взагалі. 70% проектів не реалізують поставленої задачі повністю, а середній проект завершується з запізненням в 220%. В 10% проектів результат не відповідає вимогам. В 12% замовник недостатньо залучався до роботи для того щоб забезпечити характеристики продукту. В 22% проектів не всі зміни які вносилися приймалися до уваги.

При реалізації проектів з розробки програмного забезпечення інформаційних систем (ПЗ ІС) доцільно використовувати різні технології, які зменшать відсоток невдалих проектів та зменшить час виконання проекту. Залишається відкрите питання вибору технології для розробки програмного

забезпечення. Одна технологія може бути кращим варіантом для однієї задачі, а інша технологія може навпаки загальмувати або взагалі призвести до краху проекту. Існує багато методологій управління проектами, які можна вибрати, починаючи новий проект. Метою цієї статті є аналіз найвідоміших методологій Agile і Waterfall, щоб визначити, яка є найбільш підходящою для програмного проекту. Планується практичне дослідження шляхом аналізу результатів опитування експертів, розробленого з метою врахування досвіду розробників з вищезгаданими методологіями. Ми зупинимося на методах Agile та Waterfall для аналізу результатів дослідження. Метою роботи є поліпшення вибору технології програмного забезпечення шляхом створення системи підтримки прийняття рішень, що веде до зменшення ризиків невдало завершених проектів.

Для цього необхідно проаналізувати існуючі технології розробки програмного забезпечення. обрати актуальну платформу для створення системи підтримки прийняття рішення, дослідити питання вибору в умовах багатокритерійності. Проаналізувати математичну модель прийняття рішення та створити власну систему підтримки прийняття рішення, проаналізувати отримані результати та виробити рекомендації для їх практичного застосування. Методом для вирішення поставленої задачі став метод Парето-оптимальності та метод звуження множини Парето на основі інформації про відносну важливість критеріїв. Методом дослідження є комп'ютерна програма для моделювання СППР.

Аналіз досліджень. Дослідження базується на працях таких видатних авторів у галузі розробки програмного забезпечення як К. Петерсона [1], Д. Шора [2], Л. Марка [3], К. Бека [4], Б. Бохема [5]. У своїх дослідженнях Вільямс [6,7] представляє кілька відомих планових та швидких SDM (System Development Model). Порівнюють дві моделі Agile і Waterfall в дослідженні [12].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження
Найчастіше, коли необхідно прийняти рішення про вибір методології занадто багато різномірної інформації і важко зрозуміти, що саме краще підійде для проекту. Існує схема вибору методології, що дозволяє звернути увагу на деякі найбільш важливі аспекти.

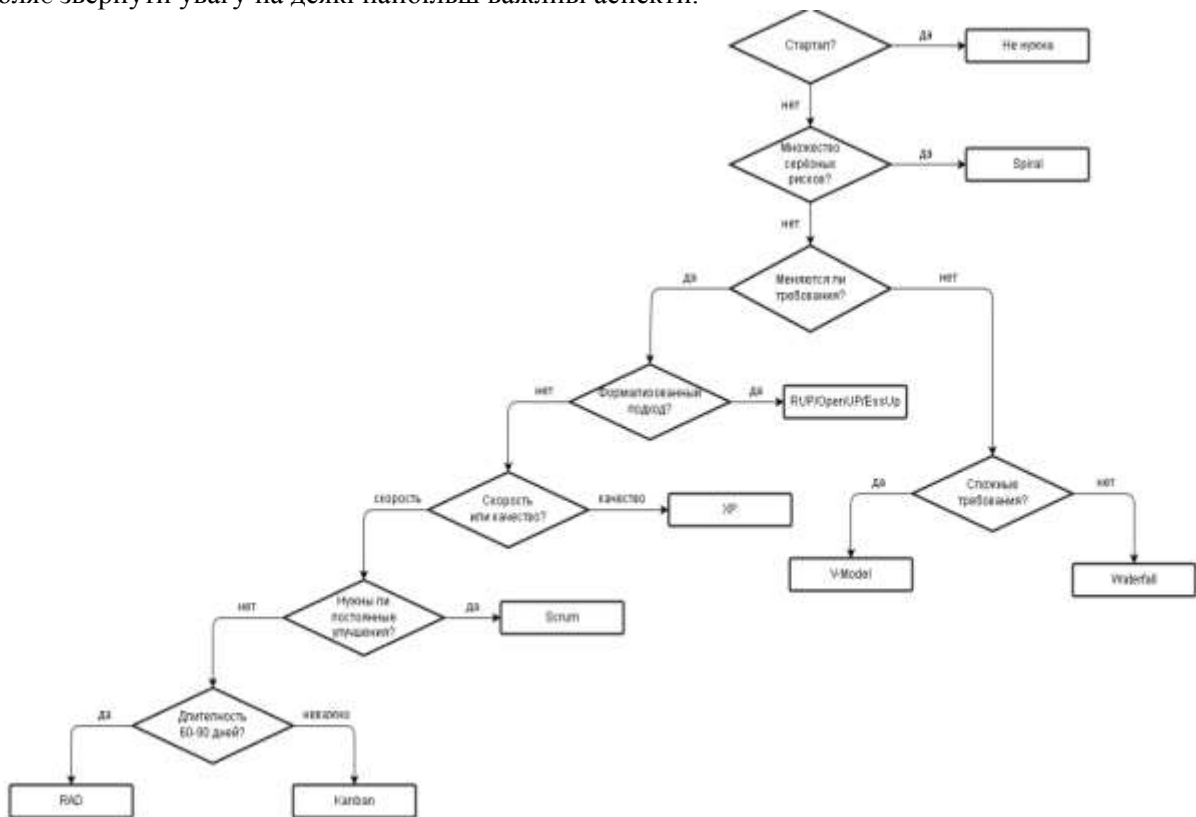


Рис.1. Схема вибору методології розробки ПЗ

Універсального набору умов для всіх ситуацій при виборі тієї чи іншої методології не існує. у кожному разі РМ(ОПР) повинен орієнтуватися на специфіку свого проекту. Блок-схема лише

позначає головні аспекти та дозволить пригадати особливості основних методологій. Неможливо ставитися до неї, як до єдиного правильного керівництва за вибором методології. Тим більше не варто поширювати її на такі складні проекти яких потребують сучасні замовники. Вибравши методологію її потрібно адаптувавши під свій проект. Щось можна викинути, щось додати з інших методологій, внести щось своє.

Каскадна методологія

Однією з перших почала застосовуватися каскадна модель, де кожна робота виконується один раз і в такому порядку, який подано на рис.2.а.[8]

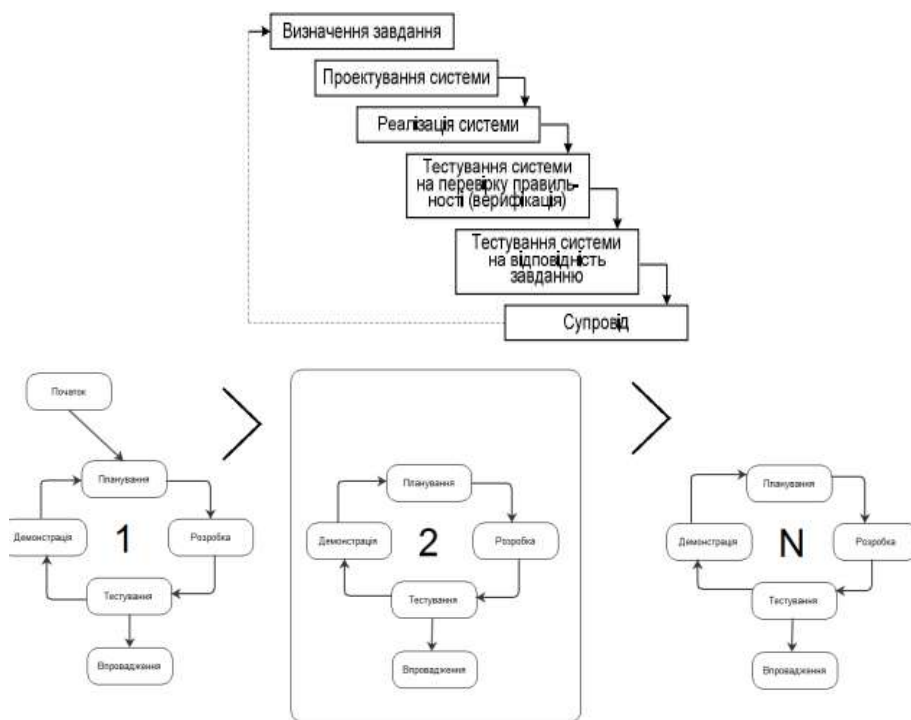


Рис. 2.

а) Каскадна модель ЖЦ програмних систем

б) Життєвий цикл гнучкої методології

Вважається, що кожна робота має бути виконана настільки ретельно, що після її закінчення і переходу до наступного етапу, повертатися до попереднього не буде потреби. Розробник перевіряє проміжний результат відомими методами верифікації і фіксує його як готовий еталон для наступного процесу. Згідно з даною моделлю роботи і завдання процесу розроблення зазвичай виконуються послідовно, як це наведено у схемі. Проте допоміжні і організаційні процеси (контроль вимог, керування якістю і ін.), як правило, виконуються разом з процесами розробки ПЗ. У даній моделі повернення до початкового процесу передбачається після супроводження і виправлення помилок. Особливість такої моделі полягає у фіксації послідовних процесів розроблення програмного продукту. В її основу покладена модель фабрики, де продукт проходить стадії від задуму до виробництва, потім його передають замовнику у вигляді готового виробу, де заміна не передбачена, хоча можна подати інший подібний виріб.

Недоліки цієї моделі такі: – процес створення ПЗ не завжди вкладається в таку жорстку форму і послідовність дій; – не враховуються змінювані потреби користувачів, нестабільні умови зовнішнього середовища, які впливають на зміни вимог до ПЗ під час її розроблення; – значний розрив між часом внесення помилки (наприклад, на процесі проектування) і часом її виявлення (при супроводі), що призводить до суттєвої переробки ПЗ.

При застосуванні Waterfall моделі можуть спостерігатися такі чинники ризику: – вимоги до ПС недостатньо чітко сформульовані, або не враховують перспективи розвитку ОС, середовищ і т.п.; –

громіздка система, що не допускає компонентної декомпозиції, може викликати проблеми щодо розміщення її в пам'яті або на платформах, не передбачених у вимогах; – внесення швидких змін до технології і у вимоги може погіршити процес розроблення окремих частин системи або системи в цілому; – обмеження на ресурси (людські, програмні, технічні і ін.) в ході розробки можуть звужити окремі можливості реалізації системи; – отриманий продукт може виявитися не придатним для застосування внаслідок нерозуміння розробниками вимог або функцій системи або недостатньо проведеного тестування. [1]

Переваги реалізації системи за допомогою каскадної моделі такі: – всі завдання підсистем і системи реалізуються одночасно, завдяки чому не можна забути жодного завдання, а це сприяє встановленню стабільних зв'язків між ними; – повністю розроблену систему з документацією на неї легше супроводжувати, тестувати, фіксувати помилки і вносити зміни не хаотично, а цілеспрямовано, починаючи з вимог, наприклад, додавати або замінювати деякі функції і повторювати процес.

Каскадну модель можна розглядати як модель ЖЦ, придатну для створення першої версії ПЗ з метою перевірки реалізованих в ній функцій. При супроводі і експлуатації можуть бути виявлені різного роду помилки, виправлення яких спричинить повторне виконання всіх процесів, починаючи з уточнення вимог.

Гнучка методологія

Гнучка методологія використовується для проектування впорядкованого управління процесом розробки котрий дозволяє вносити постійні зміни в розробку проекту [8,9,10,11]. Ця методологія являється однією з концептуальних основ для створення різних проектів в галузі розробки програмного забезпечення. Ця модель використовується для максимального зменшення ризику при розробці продукту в короткі часові проміжки котрі називаються ітераціями і зазвичай тривають від одного тижня до одного місяця. Життєвий цикл методології наведено на рис. 2.б. Цю модель слід застосовувати коли потреби користувачів постійно уточнюються в динамічному процесі. Зміни на Agile реалізуються за меншу ціну із-за постійних спринтів. На відміну від каскадної моделі, в гнучкій моделі для старту проекту досить лише невеликого планування. [2,9,11]

Переваги моделі: — гнучка методологія має адаптивний підхід котрий дозволяє змінювати вимоги клієнтів; — безпосередній зв'язок та постійні відгуки замовників або їх представників не залишають місця для невизначеностей.

Недоліки моделі:— ця методологія зосереджена на створенні програмного забезпечення раніше, ніж документації, звідси може бути нестача документації; — процес розробки може вийти з під контроль, якщо замовник чітко не представляє кінцевий результат проекту.

В статті [12, Summer 2019] проведено аналіз найвідоміших методологій Agile і Waterfall для визначення, яка є найбільш підходящою для програмного проекту. Запропоновано практичне дослідження шляхом аналізу результатів опитування, розробленого з метою врахування досвіду розробників з вищезгаданих методологій. З огляду на результати дослідження, дійшли висновку, що ідеального рішення не існує, оскільки необхідно враховувати численні фактори. Результати порівняння наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняння гнучкої та каскадної технологій

	Agile	Waterfall
Зміст, створення, розробки	Гнучка модель розробки, заснована на ітеративних принципах, 2001 р., Група ІТ-фахівців (США)	Каскадна система розробки, заснована на жорсткій послідовності процесу розробки, 1956 року, 1961 р, 1970 г. Г. Беннінгтон, Хозьєр, В. Уолкер Ройс
принципи застосування	<ul style="list-style-type: none"> • найвищий пріоритет в задоволенні потреб замовника • протягом усього проекту команда і замовник щодня взаємодіють між собою і один з одним • працює продукт - головний показник прогресу • роботу можна довірити тільки самоорганізованої, мотивованій команді • оптимальні терміни випуску робочого 	<ul style="list-style-type: none"> • жорстка послідовність етапів розробки • перехід до нового етапу - тільки після успішного завершення попереднього • фіксована вартість продукту • замовник не залучається до безпосереднього процесу розробки • зміни можуть бути внесені тільки після завершення всього процесу розробки.

	продукту - від 2 тижнів до 2 місяців.	
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> високий рівень взаємодії між членами команди проекту швидкий результат (робочий код) в результаті «спринтів» стимулювання зміни і поліпшень продукту під час його розробки безпосереднє залучення замовника до робочого процесу. 	<ul style="list-style-type: none"> зрозуміла і чітка схема робочого процесу можливість прорахунку точної кількості витрачених на проект ресурсів не вимагає витрат по налагодженню комунікацій між усіма членами команди.
недоліки	<ul style="list-style-type: none"> ризик нескінченних змін продукту велика залежність від рівня кваліфікації та досвіду команди практично неможливо точно підрахувати підсумкову вартість проекту. 	<ul style="list-style-type: none"> пріоритет формального підходу до послідовності процесу роботи неможливість внесення змін замовником до закінчення розробки продукту в разі нестачі ресурсів страждає якість проекту через скорочення етапу тестування.
Критерії так	<ul style="list-style-type: none"> над проектом працює досвідчена, висококваліфікована команда ви працюєте над стартапом необхідно швидко отримати робочу версію продукту замовник виступає в якості партнера, а не інвестора продукт розробляється в сфері, схильною до постійних змін. 	<ul style="list-style-type: none"> більшість або вся робота над проектом проводиться на аутсорс у вас є чітка концепція продукту, який хочете отримати ви не обмежені в часі і ресурсах створення продукту створення продукту або бізнесу побудовано на дотриманні суворой послідовності виконання завдань.
ні	<ul style="list-style-type: none"> ви не готові витратити додаткові ресурси на налагодження щоденної стабільної комунікації між усіма учасниками процесу продукт повинен бути створений до конкретного терміну бюджет проекту строго обмежений вам потрібна детальна документація по всім процесам розробки. 	<ul style="list-style-type: none"> ви хочете створити інноваційний продукт або великий проект ви не впевнені в концепції пропонованого проекту фінансові ресурси не є ключовим обмежувачем в вашому проекті.

Проблеми прийняття рішень в останній час все більше привертають до себе увагу науковців. Проблема вибору технології створення програмного забезпечення інформаційних систем не залишилося осторонь. На даний момент все більше і більше нових технологій й вони стають все складнішими та являються рішенням для малого кругу завдань. Тож керівники (ОПР) стикаються з проблемою прийняття рішення щодо застосування окремої технології для створення кінцевого продукту. Прийняття рішення – це комплексний та неоднозначний у часі динамічний процес, що виникає у випадку, коли необхідно обрати найкращий у певному сенсі варіант серед множини альтернативних варіантів для досягнення бажаного або заданого результату.

Для реалізації використання критеріїв, на які звертають уваги експерти, яких долучали до попереднього опитування. Концепція ПР БКЗПР полягає у свідомому виборі з множини альтернатив однієї. Цей вибір робить ОПР, яка прагне до досягнення своєї певної цілі. В ролі ОПР може виступати чи конкретний індивід, чи група осіб, яка одночасно приймає дане рішення. Метод для розв'язання поставленої задачі обрано метод Парето-оптимальності та метод звуження множини Парето на основі інформації про відносну важливість критеріїв. Сформовано критерії для вирішення задачі. Проаналізовано багатокритерійні задачі.

Було виділено наступні локальні критерії оцінки технології розробки ПЗ.

1. Можливість виділення окремих частин програм у вигляді модулів.
2. Контроль коректності роботи з типами даних.
3. Робота з даними складної структури.
4. Контроль інтерфейсів програмних модулів при роздільній компіляції.
5. Читабельність програм.
6. Захист від помилки програміста.
7. Гнучкість технології.

8. Повнота реалізації функціональності.

Вибір множини Парето проводиться таким чином:

- всі альтернативи попарно порівнюються одна з одною за всіма критеріями;
- якщо при порівнянні будь-яких альтернатив виявляється, що одна з них не краща за іншу ні за одним критерієм, то її можна виключити з розгляду;
- виключену альтернативу не потрібно порівнювати з іншими альтернативами, так як вона явно безперспективна.

Скорочення множини відбувається наступним чином:

1. Перш за все, необхідно встановити пари «нерівноцінних» на думку ОПР критеріїв. Нехай, наприклад, серед них виявилася пара, що складається з i -го і j -го критерію і при цьому згідно інтуїтивним уявленням ОПР про важливість для нього i -й критерій важливіший, ніж j -й.

2. Тепер можна приступити до визначення конкретної величини коефіцієнта відносної важливості i -го критерію в порівнянні з j -м. При цьому потрібно враховувати той факт, що чим більше виявиться цей коефіцієнт, тим змістовнішим буде інформація i , тим самим, на більшу ступінь звуження множини Парето можна розраховувати. Ступінь звуження розраховуються за наступною формулою:

$$\theta_{ij} = \frac{1}{\frac{w_{i+1}}{w_j}} \quad (1)$$

3. Припустимо, що зазначеним вище способом виявлено цілий набір інформації про відносну важливість критеріїв, що складається в тому, що i_k -й критерій важливіше j_k -го критерію з заданим коефіцієнтом відносної важливості $\theta_{ij} \in (0,1)$, $k = 1, 2, \dots, M$, де $M \leq m/2$. При цьому вважається, що жоден з критеріїв не може бути важливіше самого себе, тобто ні для якого номера $k = 1, 2, \dots, m$ не виконується рівність $i_k = j_k$. Далі слід перерахувати всі менш важливі критерії (номерів певної набору j_1, j_2, \dots, j_m) за формулою

$$\hat{f}_j = \theta_{ij} f_i + (1 - \theta_{ij}) f_j \quad (2)$$

і підставити їх в вихідний векторний критерій f замість колишніх f_{j_k} . В результаті виконаної підстановки утворюється новий векторний критерій f . Далі потрібно знайти множини Парето щодо цього нового векторного критерію. Тим самим, відбудеться звуження множини Парето за рахунок використання набору взаємно незалежної інформації про відносну важливість критеріїв.

Певні аспекти застосування експертних методів багатокритеріальної ОПР потребують подальшої розробки. В майбутніх дослідженнях з теми пропоную зосередити увагу на:

- забезпеченні повноти та узгодженості експертних даних;
- підвищенні рівня довіри до них з боку осіб, що приймають рішення (ОПР);

Розв'язання задачі з допомогою методу Парето-оптимальності

В даній задачі вибору ми будемо вибирати між 4 технологій розробки програмного забезпечення інформаційних систем. $y^{(1)}$ – Каскадна технологія, $y^{(2)}$ – Спіральна, $y^{(3)}$ – V-подібна, $y^{(4)}$ – Ітераційна технологія. Для рішення даної задачі було залучено 20 експертів, які дали свою експертну оцінку для кожної технології за восьмома критеріями: f_1 – модульний принцип, f_2 – контроль коректності роботи з типами даних, f_3 – робота з даними складної структури, f_4 – контроль інтерфейсів програмних модулів при роздільній компіляції, f_5 – удобочитаємість програм, f_6 – захист від помилки програміста, f_7 – гнучкість технології, f_8 – повнота реалізації функціональності. Експерти виставляли свою оцінку за 10-ти бальною шкалою в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 балів.

Кількість критеріїв $m=8$. Позначемо множини з п'яти можливих векторів (оцінок) відповідних технологій розробки програмного забезпечення інформаційних систем через $Y = \{y^{(1)}, y^{(2)}, y^{(3)}, y^{(4)}\}$.

Для усереднення підрахунку біллів для всіх критеріїв використовуємо формулу:

$$\bar{a}_{ij} = \frac{\sum_{i=0}^n a_{ij}}{n}; \quad (3)$$

де a_{ij} – оцінка експерта, n – кількість експертів.

В результаті отримали таблицю:

Таблиця 2. Таблиця усереднених оцінок експерта

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	5,5	6,3	5	4,5	6,3	6,4	4,1	3,5
$y^{(2)}$	4,5	7,8	4,5	6,3	5,4	6	9,0	5
$y^{(3)}$	7,3	4,5	5,5	5	5,7	5,5	5,0	3,5
$y^{(4)}$	7,1	9,8	5,4	7,2	5,3	6,5	9,4	5,3

У відповідності до описаним вище алгоритмом вважаємо, що $P(Y) = Y$ й починаємо порівнювати вектори з іншими. Порівнюємо вектор $y^{(1)}$ с векторами

$$y^{(2)}, y^{(3)}, y^{(4)}$$

Пару $y^{(1)}, y^{(2)}$ не можна порівняти по відношенню \geq . Пару $y^{(1)}, y^{(3)}$ не можна порівняти по відношенню \geq . Пару $y^{(1)}, y^{(4)}$ також не можна порівняти по відношенню \geq .

Порівнюємо вектор $y^{(2)}$ с векторами $y^{(3)}, y^{(4)}$. Пару $y^{(2)}, y^{(3)}$ не можна порівняти по відношенню \geq . Пару $y^{(2)}, y^{(4)}$ не можна порівняти по відношенню \geq .

Порівнюємо вектор $y^{(3)}$ с векторами $y^{(4)}$. Пару $y^{(3)}, y^{(4)}$ не можна порівняти по відношенню \geq .

Отже, $P(Y) = \{y^{(1)}, y^{(2)}, y^{(3)}, y^{(4)}\}$. Звуження не відбулося і з всіх чотирьох технологій і слід робити вибір.

Припустимо, що ОПР прийняв таке рішення, що критерій f_8 – повнота реалізації функціональності є важливішим ніж f_3 – робота з даними складної структури на другому. ОПР дав такі параметри: $w_8=4, w_3=1$. Розрахуємо коефіцієнти відносної вартості, за формулою (1) :

$$\theta_{83} = \frac{1}{4/1 + 1} = \frac{1}{5} = 0.2$$

Розрахуємо нові коефіцієнти за формулою (2) \hat{f}_3 :

Таблиця 3. Перерахунок коефіцієнта \hat{f}_3

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	5,5	6,3	$3,5*0,2+(1-0,2)* 5$	4,5	6,3	6,4	4,1	3,5
$y^{(2)}$	4,5	7,8	$5*0,2+(1-0,2)* 4,5$	6,3	5,4	6	9,0	5
$y^{(3)}$	7,3	4,5	$3,5*0,2+(1-0,2)* 5,5$	5	5,7	5,5	5,0	3,5
$y^{(4)}$	7,1	9,8	$5,3*0,2+(1-0,2)* 5,4$	7,2	5,3	6,5	9,4	5,3

В результаті отримали наступну таблицю:

Таблиця 4. Результат перерахунку коефіцієнта \hat{f}_3

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	5,5	6,3	4,7	4,5	6,3	6,4	4,1	3,5
$y^{(2)}$	4,5	7,8	4,84	6,3	5,4	6	9,0	5
$y^{(3)}$	7,3	4,5	5,1	5	5,7	5,5	5,0	3,5
$y^{(4)}$	7,1	9,8	5,38	7,2	5,3	6,5	9,4	5,3

Як ми бачимо, все вектори залишилися Парето-оптимальними. Наступне рішення ОПР було: критерій f_4 – контроль інтерфейсів програмних модулів при роздільній компіляції важливіший ніж f_1 – модульний принцип на четвертому. ОПР дав такі параметри: $w_8=6, w_3=1$. Розрахуємо коефіцієнти відносної вартості, за формулою (1) :

$$\theta_{41} = \frac{1}{6/1 + 1} = \frac{1}{7} = 0.14$$

Розрахуємо нові коефіцієнти за формулою (2) \hat{f}_1 :

Таблиця 5. Перерахунок коефіцієнта \hat{f}_1

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	$4,5*0,14+(1-0,14)*5,5$	6,3	4,7	4,5	6,3	6,4	4,1	3,5
$y^{(2)}$	$6,3*0,14+(1-0,14)*4,5$	7,8	4,84	6,3	5,4	6	9,0	5
$y^{(3)}$	$5*0,14+(1-0,14)*7,3$	4,5	5,1	5	5,7	5,5	5,0	3,5
$y^{(4)}$	$7,2*0,14+(1-0,14)*7,1$	9,8	5,38	7,2	5,3	6,5	9,4	5,3

В результаті отримали наступну таблицю:

Таблиця 6. Результат перерахунку коефіцієнта \hat{f}_1

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	
$y^{(1)}$	5,36	6,3	4,7	4,5	6,3	6,4	4,1	3,5	
$y^{(2)}$	4,75	7,8	4,84	6,3	5,4	6	9,0	5	
$y^{(3)}$	6,3	4,5	5,1	5	5,7	5,5	5,0	3,5	≤
$y^{(4)}$	7,17	9,8	5,38	7,2	5,3	6,5	9,4	5,3	

Порівнюючи вектори, ми можемо переконатися в тому, що $y^{(3)}$ вийшов з Парето оптимальності. Тобто цей вектор ми виключаємо.

Отримали наступну таблицю:

Таблиця 7. Таблиця після скорочення вектора $y^{(3)}$

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	5,36	6,3	4,7	4,5	6,3	6,4	4,1	3,5
$y^{(2)}$	4,75	7,8	4,84	6,3	5,4	6	9,0	5
$y^{(4)}$	7,17	9,8	5,38	7,2	5,3	6,5	9,4	5,3

Далі ОПР прийняв рішення згідно яким критерій f_2 – контроль коректності роботи з типами даних на п'ятому є важливішим ніж критерій f_5 – удобочитаємість програм. ОПР дав такі параметри: $w_2=3$, $w_5=1$. Розраховуємо коефіцієнти відносної вартості, за формулою(1) :

$$\theta_{25} = \frac{1}{3/w_1 + 1} = \frac{1}{4} = 0.25$$

Розраховуємо нові коефіцієнти \hat{f}_5 :

Таблиця 8. Перерахунок коефіцієнта \hat{f}_5

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8
$y^{(1)}$	5,36	6,3	4,7	4,5	$6,3*0,25+(1-0,25)*6,3$	6,4	4,1	3,5
$y^{(2)}$	4,75	7,8	4,84	6,3	$7,8*0,25+(1-0,25)*5,4$	6	9,0	5
$y^{(4)}$	7,17	9,8	5,38	7,2	$9,8*0,25+(1-0,25)*5,3$	6,5	9,4	5,3

В результаті отримали наступну таблицю:

Таблиця 9. Результат перерахунку коефіцієнта \hat{f}_5

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	
$y^{(1)}$	5,36	6,3	4,7	4,5	6,3	6,4	4,1	3,5	
$y^{(2)}$	4,75	7,8	4,84	6,3	6	6	9,0	5	
$y^{(4)}$	7,17	9,8	5,38	7,2	6,425	6,5	9,4	5,3	≥

Порівнюючи вектори, ми можемо переконатися в тому, що вектори $y^{(1)}$ та $y^{(2)}$ більше не є Парето-оптимальні. Тобто ці вектор ми виключаємо. Тобто в результаті звуження множин Парето на основі інформації про відносну важливість критеріїв ми прийшли до висновку, що в даному випадку найбільш оптимальною є технологія $y^{(4)}$, тобто Ітераційна технологія.

Висновки дослідження. Зростаючий попит на програмне забезпечення створює необхідність правильної постановки процесів в підрозділах розробки, аби вони могли задовольняти потреби бізнесу та створювати якісний, підтримуваний та функціональний продукт. Існуючі методології розробки були створені та перевірені часом, але їх недоліки інколи є критичними для їх користувачів, що відкриває простір для покращення та створення новий підходів до розробки програмного забезпечення.

Були представлені дві СРПЗ, орієнтовані на модель Waterfall та Agile методологій. Обидві моделі мають свої переваги та недоліки. Невеликі проекти завжди підходять для Agile підходу і майже ніколи для підходу Waterfall. Великий і складний проект з декількома командами, що працюють одночасно над різними частинами програми, майже завжди є проектом Waterfall. Така неоднозначність потребує зміти процедури в до підходу вибору технології розробки ПЗ. Питання вибору технології для розробки програмного забезпечення ми вирішуємо за допомогою аналізу думок експертів в галузі розробки та привівши їх оптимізацію за Парето. Концепція ПР БКЗПР полягає у свідомому виборі з множини альтернатив однієї. Цей вибір робить ОПР, яка прагне до досягнення своєї певної цілі. В ролі ОПР може виступати чи конкретний індивід, чи група осіб, яка одночасно приймає дане рішення.

В результаті запропоновано використання методу Парето оптимальності до звуження критеріїв за рахунок використання набору взаємно незалежної інформації про відносну важливість критеріїв. Певні аспекти застосування експертних методів багатокритеріальної ОПР потребують подальшої розробки. В майбутніх дослідженнях з теми пропоную зосередити увагу на забезпеченні повноти та узгодженості експертних даних та підвищенні рівня довіри до них з боку осіб, що приймають рішення (ОПР).

Список бібліографічного опису

1. Петерсон К. Модель водоспаду у великомасштабному розвитку; Кай Петерсон. - 386 с
2. Шор, Д. Мистецтво спритного розвитку, Джеймс 440, 440 с.
3. Марк Л. Agile Управління проектами для манекенів; Лейтон Марк. - Hoboken, NJ: Для чайників, 2012. - 360 с.
4. Бек К. Екстремальне програмування пояснено: обійняти зміну; К. Бек, К. Андрес. - 224 сек.
5. Bohem B. Модель спіральної інкрементальної відданості: принципи та практики для успішних систем та програмного забезпечення ;B. Bohem, D. Lane, S. - Kulmanojong, R. Turner, 2014. - 336 с.
6. Вільямс Л. Огляд методологій розвитку, орієнтованої на плани, 2004 р.
7. Вільямс Л. Огляд методів гнучкої розробки, 2007 р.
8. RabbitMQ: Вступ до AMQP [Інтернет-ресурс] - Режим доступу до ресурсів: <https://habrahabr.ru/post/64192/>.
9. Майк Кон. Scrum: Гнучка розробка програмного забезпечення = Успіх з Agile: Розробка програмного забезпечення за допомогою Scrum (серія підписів Addison-Wesley). - М.: Вільямс, 2011. - С. 576. - ISBN 978-5-8459-1731-7.
10. Офіційний веб-сайт AngularJS. - Режим доступу <https://angularjs.org>
11. Cohen D., Lindwal M., Costa P. Agile Розробка програмного забезпечення. Звіт про DACS SOAR, 11, 2003.
12. Андрій, Богдан-Олександр та ін. Дослідження водоспадних та спритних методів управління програмними проектами; Андрей, Б.А., Касу-Поп, А.С., Георге, С.С., Боянгиу, С. А - Журнал інформаційних систем та управління операціями (2019): 125-135

References

1. Peterson K. The Waterfall Model in Large-Scale Development ;Kai Peterson. - 386 p
2. Shore, D. The Art of Agile Development, James 440, 440 p.
3. Mark L. Agile Project Management For Dummies ; Leighton Mark. - Hoboken, NJ: For Dummies, 2012. - 360 p.
4. Beck K. Extreme Programming Explained: Embrace Change; K. Beck, K. Andres. - 224 sec.
5. Bohem B. The Incremental Commitment Spiral Model: Principles and Practices for Successful Systems and Software / B. Bohem, D. Lane, S. - Kulmanojong, R. Turner, 2014. - 336 p.
6. Williams L. A survey of plan-driven development methodologies, 2004.
7. Williams L. A survey of agile development methodologies, 2007.
8. RabbitMQ: Introduction to AMQP [Online Resource] - Resource Access Mode: <https://habrahabr.ru/post/64192/>.
9. Mike Cohn. Scrum: Flexible Software Development = Succeeding with Agile: Software Development Using Scrum (Addison-Wesley Signature Series). - М.: Williams, 2011. - P. 576. - ISBN 978-5-8459-1731-7.
10. AngularJS Official Website. - Access mode <https://angularjs.org>
11. Cohen D., Lindwal M., Costa P. Agile software development. DACS SOAR Report, 11, 2003.
12. Andrei, Bogdan-Alexandru, et al. A study on waterfall and agile methods in software project management./ Andrei, B. A., Casu-Pop, A. C., Gheorghe, S. C., & Boiangiu, C. A - Journal of Information Systems & Operations Management (2019): 125-135

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-3

УДК: 004.4

Н. В. Багнюк, О. І. Кузьмич, В. М. Мельник, П. В. Тимошук.
Луцький національний технічний університет

КОНЦЕПЦІЯ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ВЗАЄМИН З ЗОВНІШНІМИ КЛІЄНТАМИ ТА ІНТЕГРАЦІЯ CRM-СИСТЕМИ

Н. В. Багнюк, О. І. Кузьмич, В. М. Мельник, П. В. Тимошук. Концепція формалізації взаємин з зовнішніми клієнтами та інтеграція CRM-системи. В даній статті реалізовано проект з розробки концепції формалізації взаємин з зовнішніми клієнтами типового торгового підприємства з великим товарооборотом. Розроблену концепцію використано для розробки та інтеграції модуля CRM-системи.

Ключові слова: управління відносинами з клієнтами, автоматизація підприємства, 1С Підприємство.

Н. В. Багнюк, Е. И. Кузьмич, В. М. Мельник, П. В. Тимошук. Концепция формализации взаимоотношений с внешними клиентами и интеграция CRM-системы. В данной работе исследуются особенности процесса автоматизации учета закупок торгового предприятия с большим объемом товарооборота, или торговой компании. Разработанный программный модуль реализует рекомендующую функцию программы, которая помогает пользователю (менеджеру) в принятии управленческого решения и дает возможность оперативно определиться с поставщиком.

Ключевые слова: управление взаимоотношениями с клиентами, автоматизация предприятия, 1С Предприятие.

N. V. Bagniuk, O. I. Kuzmych, V. M. Melnyk, P. V. Timoshuk. Concept of formalization of relations with customers and integration of CRM-system. This article implements a project to develop the concept of formalizing relationships with external customers of a typical trading enterprise with high turnover. The developed concept was used for designing and integration the CRM system module.

Keywords: Customer relationship management, enterprise automation, 1C Enterprise.

Постановка наукової проблеми. У сучасному світі існує величезна кількість підприємств, і головним фактором успіху будь-якого з них є грамотна автоматизація всіх його бізнес процесів. Новітні інформаційні технології надають найкращі методи обробки та аналізу інформації, що значною мірою дозволяють розширити можливості ефективного управління. Разом з тим, реалізація цього нашоветується на певні проблеми. Сучасний споживач продукції отримує величезні обсяги різноманітної інформації про компанії, підприємства, при цьому досить часто підприємствам не вдається скоординувати роботу всіх своїх комунікаційних каналів.

В результаті споживач не може розібратися в потоку повідомлень і пріоритетах потенційного звернення. Проблема полягає в тому, що всі ці відомості часто мають різні джерела. Рекламні звернення розробляються та втілюються у життя відділами збуту, за стимулювання збуту, прямий маркетинг, корпоративний web-вузол та інші форми маркетингових комунікацій відповідають різні спеціалісти.

Таким чином, на сьогодні все більше підприємств приймають концепцію інтегрованих маркетингових комунікацій, які дозволяють забезпечити ефективний збут, скоординувати дії підприємства і створити цілісний імідж підприємства. На типовому торговому підприємстві повинна бути вироблена єдина концепція маркетингу та комунікацій, тобто комплекс заходів, які використовуються фірмою для інформування, переконання чи нагадування споживачам про свої товари та послуги. Використовуючи цю концепцію, підприємство розробляє єдину стратегію комунікацій, що дозволяє постійно демонструвати, як торгове підприємство та товари, які воно реалізовує, допоможуть споживачам вирішити їхні проблеми. Ефективна маркетингова політика комунікацій - це комплекс заходів, які використовуються фірмою для інформування, переконання чи нагадування споживачам про свої товари (послуги). В цьому контексті, побудова ефективної системи управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM-системи) являється основою формування комунікаційної політики між організацією та кінцевим споживачем. Адже перехід від масового до цільового маркетингу, а також бурхливий розвиток комунікаційних каналів та інструментів просування поставили перед маркетологами нове завдання. Побудова ефективної системи управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM-системи) являється основою формування комунікаційної політики між організацією та кінцевим споживачем. Саме тому в даній статті реалізовано проект з розробки концепції формалізації взаємин з зовнішніми клієнтами типового торгового підприємства з великим товарооборотом, яку використано при розробці та інтеграції модуля CRM-системи.

Аналіз досліджень. Вагомий внесок у розробку теоретичних основ та прикладних застосувань управління взаємовідносинами з клієнтами зробили вітчизняні та іноземні науковці

[1-5]. У працях цих авторів охарактеризовано основні концепції та зміст управління взаємозв'язками підприємства із споживачами з позицій маркетингу, визначено проблеми та позитивні результати управління цими взаємозв'язками. Проте, відсутність єдиного підходу щодо механізму управління взаємовідносинами з клієнтами, впровадження ефективної концепції CRM на підприємствах та методів оцінювання ефективної та надійної взаємодії компаній і споживачів, потребують подальшого дослідження. Це призведе до забезпечення ефективної діяльності та конкурентоспроможності підприємств на ринку. Саме тому в даній статті реалізовано проект з розробки концепції формалізації взаємин з зовнішніми клієнтами типового торгового підприємства з великим товарооборотом. Розроблену концепцію використано при розробці та інтеграції модуля CRM-системи на базі платформи 1С:Підприємство 8.3.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Загалом CRM-система (Customer Relationship Management, або Управління відносинами з клієнтами) – це програмне забезпечення, призначене для автоматизації стратегій взаємодії з клієнтами для підвищення рівня продажів, оптимізації маркетингу і поліпшення обслуговування клієнтів шляхом збереження інформації про клієнтів та історії взаємовідносин з ними, оптимізації бізнес-процесів.

Цілі вдосконалення CRM-системи відображаються у наступних завданнях. Це - необхідність фіксувати кожен вхідний дзвінок, запит потенційного клієнта, автоматизувати накопичення інформації про запити, продажі та клієнтів. Якщо менеджери працюватимуть у звичному режимі, то важлива інформація буде збиратись хаотично і не систематично. Тому необхідним є вироблення єдиного підходу. Другим важливим завданням є накопичувати й аналізувати статистику роботи. Вся інформація, що надходить на підприємство з різних джерел, має збиратись в одному місці та формувати статистичну базу. В результаті керівник може більш усвідомлено приймати рішення та планувати подальшу роботу. Крім того, слід оптимізувати роботу відділу продажів та покращити роботу з клієнтами.

На першому етапі розробки концепції формалізації взаємин з клієнтами необхідно описати наявні бізнес-процеси компанії. Важливо вивчити особливості роботи підприємства, врахувати всі чинники, які впливають на робочі процеси, виявити проблеми. В результаті ми отримуємо ґрунтовний опис бізнес-процесів, які підлягають автоматизації. На другому кроці відбувається реалізація концепції. Далі проектується інформаційна модель і розробляються нові об'єкти конфігурації. Основними етапами є проектування бази даних і розробка клієнтської програми. На завершальному кроці відбувається впровадження і проводиться аналіз ефективності.

Проводячи аналіз структури та бізнес-процесів типової української компанії по продажу газового обладнання з великим товарооборотом, отримуємо наступне. Менеджери з продажу об'єднані в ієрархічну структуру за категоріями: офіс-менеджери; виїзні менеджери. Офіс-менеджер працює з клієнтами тільки в офісі, його завданням є робота з клієнтом, листування, дзвінки. Виїзний менеджер працює з клієнтами і в офісі, і на об'єктах клієнта, його завданням є пошук нових клієнтів, консультації діючим клієнтам на їх об'єктах, комунікація. В кінці робочого дня головний менеджер: обробляє інформацію по продажах; передає керівництву для планування закупівель, обліку грошових коштів; здійснює моніторинг задоволеності клієнтів; визначає статус замовлень.

Концепція, формалізація CRM-системи. Загалом CRM-система (Customer Relationship Management, або Управління відносинами з клієнтами) – це прикладне програмне забезпечення для організацій, призначене для автоматизації стратегій взаємодії з замовниками (клієнтами) з метою підвищення рівня продажів, оптимізації маркетингу і поліпшення обслуговування клієнтів шляхом збереження інформації про клієнтів та історії взаємовідносин з ними, встановлення і поліпшення бізнес-процесів і подальшого аналізу результатів.

Цілі вдосконалення CRM-системи та задачі розвитку відображаються у наступних задачах. Перш за все, це - необхідність фіксувати кожен вхідний дзвінок, кожний запит потенційного клієнта, автоматизувати надходження, накопичення інформації про запити, продажі та клієнтів. Якщо менеджери працюватимуть у звичному режимі, то така важлива для розвитку компанії інформація буде збиратись досить хаотично і в довільній формі, не систематично. Тому необхідним є вирішення питання контролю та стандартизації єдиного підходу до роботи з клієнтами вдосконалення існуючої CRM-системи. Другим важливим завданням є накопичувати й аналізувати статистику роботи.

Завдяки вдосконаленню CRM-системи вся інформація, що надходить на підприємство з різних джерел, збирається в одному місці та формує статистичну базу, в результаті керівник може більш

усвідомлено та з використанням певного обсягу інформації приймати рішення та планувати подальшу роботу підприємства. Завданням є також покращити та оптимізувати роботу відділу продажів. У малому та середньому бізнесі зазвичай побудова роботи відділу продажу (та інших відділів) формується з його власного розуміння та бачення, проте, встановлюючи CRM-систему, власник отримує не лише продукт та інструменти роботи, але й бачення постачальників програмного продукту на те, як повинен працювати відділ продажів. При цьому у самій системі вже встановлено ті інструменти, які нашоухують на те, які кроки необхідно зробити, щоб покращити роботу з клієнтами.

Аналіз бізнес-процесів компанії та процес автоматизації. На першому етапі розробки концепції вдосконалення CRM-системи необхідно описати наявні бізнес-процеси компанії. Важливо вивчити особливості роботи підприємства, врахувати всі чинники, які впливають на робочі процеси, виявити проблеми. В результаті ми отримуємо ґрунтовний та детальний опис бізнес-процесів, які підлягають автоматизації.

На другому відбувається реалізація концепції, на базі якої вдосконалюється програмний модуль для підрозділу по роботі з клієнтами з метою максимальної ефективності продажів.

В процесі реалізації досліджується область застосування CRM-систем, вивчається їх класифікація і види програмних рішень. Розглядаються існуючі типові рішення, представлені на ринку і проводиться їх порівняння. На основі сформульованих вимог до системи проектується інформаційна модель і розробляються нові об'єкти бази даних. Основними етапами програмної реалізації CRM-системи є проектування бази даних і розробка клієнтської програми. На завершальному етапі відбувається впровадження проекту і проводиться аналіз ефективності розробленої системи.

Проводячи аналіз структури та бізнес-процесів типової української компанії по продажу газового обладнання з великим товарооборотом, отримуємо наступне.

Менеджери з продажу об'єднані в ієрархічну структуру за категоріями: офіс-менеджери; виїзні менеджери. Офіс-менеджер працює з клієнтами тільки в офісі компанії, його завданням є робота з клієнтом в офісі, листування, дзвінки. Виїзний менеджер працює з клієнтами і в офісі, і на об'єктах клієнта, його завданням є пошук нових клієнтів, консультації діючим клієнтам на їх об'єктах, листування з клієнтами, дзвінки до них.

Крім цього, реалізується структуризація інформації за день - у «події клієнтів». В кінці робочого дня головний менеджер:

- обробляє інформацію по продажах,
- передає керівництву для планування закупівель, обліку грошових коштів,
- здійснює моніторинг задоволеності клієнтів,
- визначає статус замовлень.

Для реалізації заявленої мети було вибрано CRM-систему на базі «1С Підприємство 8.3», конфігурацію УНФ для України. Ця CRM система автоматизує описані бізнес-процеси, дозволяє легко інтегруватись в бухгалтерію підприємства і володіє наступними перевагами: зв'язана із замовленнями клієнтів, бухгалтерським обліком, не вимагає багато ресурсів і часу на доробку замовнику. Вдосконала CRM-система формалізує взаємини між компанією і клієнтами, вона вирішує ряд завдань - скорочення часу на виконання проектної та операційної діяльності. Рішення типових задач буде задокументовано, що дозволить в подальшому дотримуватися складених інструкцій. Крім того, дана система дозволить проводити оцінку трудомісткості роботи співробітників, адже програма фіксує всі дії співробітників, що в подальшому дозволить підтвердити ефективність роботи підрозділу за допомогою кількісних показників. Наявність таких показників дозволить точніше обчислювати премію для кожного співробітника. Завдяки системі має відбутися спрощення ініціації розробки нових проектів, система фіксує всі звернення клієнтів і дозволяє створювати оперативну звітність. Реалізується реєстр ризиків, які можуть призвести до виходу з ладу ІС підприємства, інших нештатних ситуацій, підвищити універсальність співробітників, взаємозамінність менеджерів.

Найважливіша задача, що вирішується вдосконаленою CRM-системою - зниження порогу входження для нових співробітників. Фактично з першого дня роботи в компанії новий співробітник може бути залучений до вирішення типових професійних задач без спотворень інформації, які неминучі при особистому спілкуванні. Крім того, не всі досвідчені співробітники схильні ділитись своїми знаннями. Нарівні з іншими співробітниками керівник реєструвати звернення (наприклад, вищого начальства) і документувати варіанти своєї поведінки в тих чи

інших ситуаціях. Це дозволить змінити традиційний стиль роботи підрозділу на більш ефективний та сучасний.

Вдосконалена система реалізується наступним чином.

1) Здійснено облік потенційних покупців – вводиться статус «потенційно активних клієнтів» (ПАК). Як тільки ПАК-клієнт здійснить замовлення – його статус як ПАК-клієнта змінюється.

Таким чином, в структуру добавлених в модуль додаткових таблиць входить новий об'єкт метаданих Довідник ПАКи. Реквізити Довідника ПАК наступні – види діяльності, імена відповідальних осіб та відповідального менеджера, який реалізовує операцію продажу товару. Крім того, сюди входить інформація про контактну особу, з якою планується працювати.

2) Реалізується моніторинг статусу клієнта. При цьому клієнтів розділено на кілька категорій: А - активний покупець, В1, В2 - покупці які регулярно щось замовляють, С - покупець, який купує дуже рідко, БАК1, БАК2 - покупці, які давно не купують.



Всю зібрану інформацію за день менеджери оформлюють у «події клієнтів», що знаходиться відображення у новому об'єкті – Документ «События ПАКи». Реквізити цього Документу наступні: тема та предмет звернення, тип та зміст запиту, де відображається інформація стосовно запиту менеджера потенційним покупцем.

При наявності документа, що регламентує співпрацю з клієнтом, це фіксується реквізитом «Документ Основание». Також в документі відповідними реквізитами відображаються дані про співробітника, який зафіксував запит клієнта, дату запиту, ступінь важливості потенційного замовлення. Крім того, зафіксовано дату початку та закінчення події, що відображає динаміку спілкування з клієнтом щодо потенційного замовлення. Всі документи зібрані у новому об'єкті «Журналі Подій». В кінці робочого дня керівник менеджерів обробляє отриману інформацію і передає керівництву актуальну інформацію для планування закупівель, обліку грошових коштів. Кожен клієнт, який змінює статус з вищого на нижчий проходить перевірку керівництвом, вивчаються причини. Реалізуються намагання повернути клієнта.

На Рис. 1 подано відображення актуальних записів у «Журналі Подій» та інформація по події щодо потенційно активного клієнта.

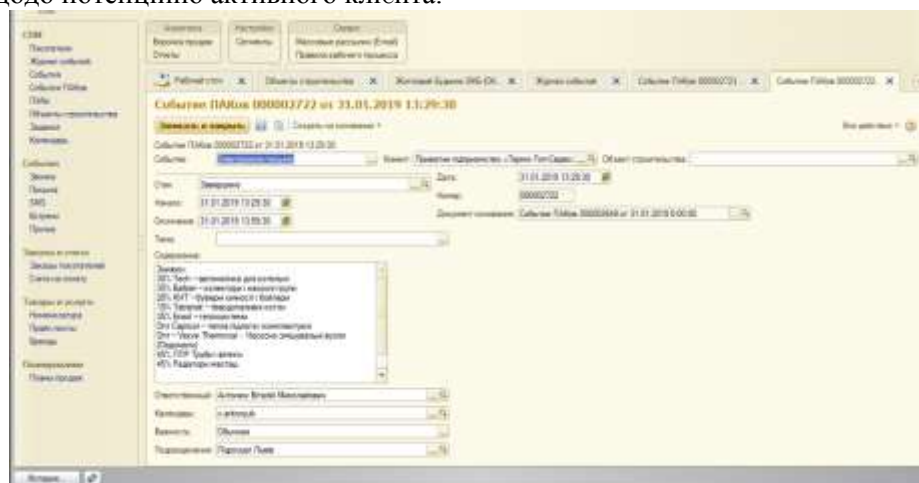


Рис 1. Документ операційних подій.

3) Спроектовано новий елемент менеджменту - «Об'єкт будівництва». Головна мета - організувати поставку максимальної кількості продукції даної компанії. При цьому кожен виїзний менеджер має свої «Об'єкти будівництва», він постійно моніторить їх стан. В даний об'єкт входить інформація про наступне: хто забудовник, хто підрядник, адреса, хто постачає матеріали, коли почали будувати, які темпи будівництва з фото і т.д. Ця інформація відображається у відповідних реквізитах довідника.

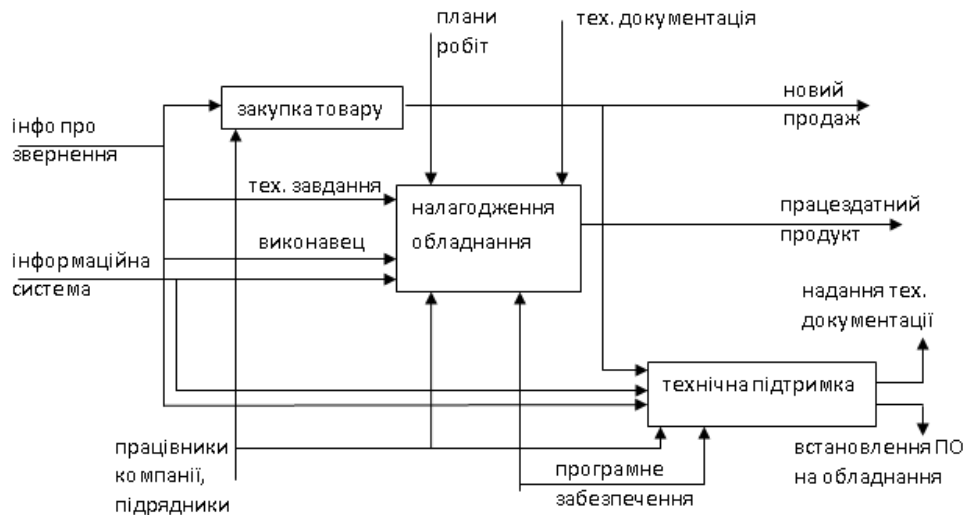


Рисунок 2 – Взаємозв'язок операційних процесів

Всі нові спроектовані об'єкти конфігурації модуля інтегровані в діючу на даний момент стандартну CRM-систему. Таким чином впровадження вдосконаленого модуля CRM-системи – це один з найбільш перспективних напрямків для розвитку компанії, що має на меті підвищити ефективність своєї діяльності за рахунок впровадження ефективного програмного забезпечення та управлінських інформаційних систем.

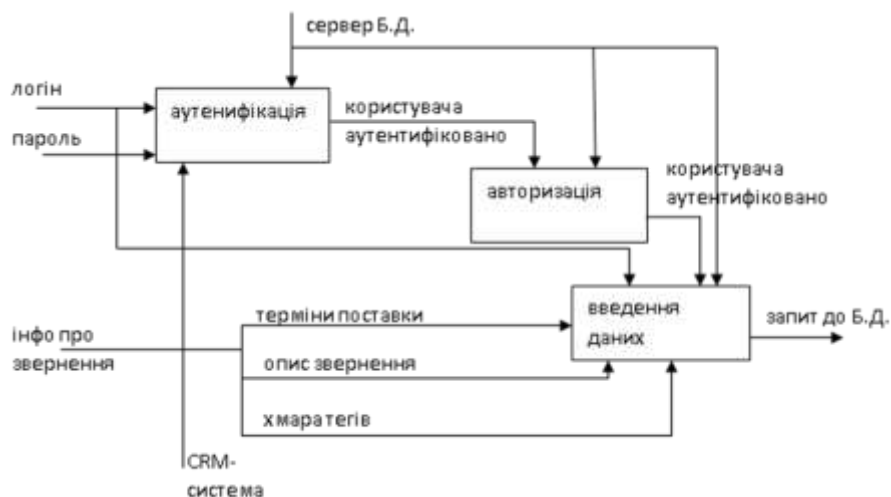


Рисунок 3 – Механізм внесення даних в базу

Функціональні зв'язки та процес розробки конфігураційного модуля.

Основна база даних проектується наступним чином. Для того, щоб результатом налагодження автоматизації операційної діяльності став якісний і працездатний програмний продукт, всі процеси повинні реалізовуватись в сукупності та в оперативній взаємодії з користувачами. Корегування бази даних є можливим завдяки тісному функціональному зв'язку процесів продажу товару з процесами реалізації інших господарських операцій, в т.ч. закупівлі товару. Цей процес відображений на Рис. 2.

Згідно запиту клієнта, інформація про звернення поступає від працівників компанії та підрядників в відділ закупки товару, де формується замовлення на новий продукт з подальшою передачею його для нового продажу менеджерами. При виникненні проблем організації обліку закупівлі, інформація про це передається в відділ технічної підтримки у вигляді технічного завдання для усунення проблеми. Відділ технічної підтримки реалізовує оперативну задачу засобами технічного нагляду та програмної модифікації функціональних модулів.

При виникненні проблем організації обліку закупівлі, інформація про це передається в відділ технічної підтримки у вигляді технічного завдання для усунення проблеми. Формування

запиту менеджером по роботі з клієнтами відбувається наступним чином. Інформація про звернення менеджер передає в базу даних шляхом авторизації в базу даних, подальшої обробки інформації про звернення та формалізації через визначені процедури. Запит обробляється базою даних та вносяться відповідні зміни. Доступ до бази даних, аутентифікація та авторизація реалізовується згідно схеми, поданої на Рис. 3.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Таким чином впровадження вдосконаленого модуля CRM-системи – це один з перспективних напрямків розвитку компанії для підвищення ефективності діяльності. Розроблений програмний модуль може активно використовуватись низкою підприємств та зарекомендувати себе як ефективний інструмент регулювання взаємовідносин з клієнтами. Треба зазначити, що українським підприємствам необхідно досліджувати інноваційні розробки CRM-сегменту та оперативно впроваджувати їх. Інновації потрібні для того, щоб стежити за зростаючим і швидко мінливим попитом і управляти ним. Дуже важливо не тільки відповідати потребам ринку сьогодні, але і мати можливість прогнозувати потреби ринку завтра. Інновації дозволяють залучити більшу кількість клієнтів, оскільки клієнт готовий витратити трохи більше на нові послуги, ніж скористатися більш дешевими послугами конкурентів. Крім цього, інновації дозволяють запросити в компанію більш професійні кадри, забезпечити їх лояльність і утримати. Результатом використання розробленої CRM-системи очікується відчутне зростання продажів. Одночасно знижуються витрати на заходи із залучення клієнтів. В результаті дослідження було виявлено низку переваг, які отримує підприємство при використанні спроектованого модуля: оперативне прийняття рішень завдяки систематизації даних та прискоренню їх обробки, раціональне використання робочого часу, оскільки співробітники можуть швидко отримувати всю інформацію без необхідності тимчасових витрат на її пошук. Крім того, підвищиться продуктивність маркетингових заходів за рахунок індивідуалізації, що є результатом використання інформації про кожного окремого клієнта, забезпечується висока точність звітів, зниження використання паперових документів. Це призведе до покращення якості обслуговування і, як наслідок, мінімізація втрат клієнтського потоку, впорядкування робочих процесів, виключення виконання подвійної роботи співробітниками, покращення адаптації нових співробітників до робочого процесу.

Список бібліографічного опису.

1. Пепперс Д. Управление отношениями с клиентами. Как превратить базу ваших клиентов в деньги /Д. Пепперс, М. Роджерс. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2006. – 336 с.
2. Kumar V. The Future of CRM, in Statistical Methods in Customer Relationship Management / [V. Kumar, J.A. Petersen] / John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2012. doi: 10.1002/9781118349212.ch9.
3. Соломон М. Высокие технологии работы с клиентами. Как превратить случайного потребителя в искреннего приверженца / М. Соломон. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. – 256 с.
4. Богачева Т., Ситосенко Е., Толмачев В. 1С:Предприятие 8. Конфигурация «Управление торговлей». Редакция 11.1. Описание. Часть 2. М.: 1С, 2013. 649 с.
5. Радченко М.Г. 1С:Предприятие 8.2. Практическое пособие разработчика. Примеры и типовые приемы. М.: 1С-Публишинг, 2009. 872 с.
6. Величко В. Етапи розробки бізнес-плану підприємства // Економіка України. – 2012. - № 5. - С. 42-48.

References.

1. Peppers D. Customer Relationship Management. How to turn your customer base into money / D. Peppers, M. Rogers. - M. : Mann, Ivanov and Ferber, 2006. -- 336 p.
2. Kumar V. The Future of CRM, in Statistical Methods in Customer Relationship Management / [V. Kumar, J.A. Petersen] / John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, 2012. doi: 10.1002 / 9781118349212.ch9.
3. Solomon M. High technology customer service. How to turn a random consumer into a sincere adherent / M. Solomon. - M. : Mann, Ivanov and Ferber, 2013. -- 256 p.
4. Bogacheva T., Sitosenko E., Tolmachev V. 1С: Enterprise 8. Configuration "Trade Management". Revision 11.1. Description. Part 2.M. : 1С, 2013.649 p.
5. Radchenko M.G. 1С: Enterprise 8.2. Practical guide developer. Examples and typical techniques. M.: 1С-Publishing, 2009.872 p.
6. Velichko V. Stages of the business plan development for the enterprise // Economy of Ukraine. - 2012. - No. 5. - p. 42-48.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-4

УДК: 004.942

Н. В. Багнюк, О. І. Кузьмич, В. М. Мельник, Г. С. Шепелюк, М. А. Чорний
Луцький національний технічний університет, Волинський коледж НУХТ

ГРАФІЧНИЙ ІНТЕРФЕЙС MATLAB ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ САМООРГАНІЗАЦІЇ В БІОСИСТЕМАХ

Н. В. Багнюк, О. І. Кузьмич, В. М. Мельник, Г. С. Шепелюк, М. А. Чорний. Графічний інтерфейс MATLAB для моделювання процесів самоорганізації в біосистемах. В даній статті наведено проект по розробці графічного інтерфейсу MATLAB та результати моделювання, що дозволяють як візуально, так і кількісно оцінювати стан, функціонування, динаміку і характер взаємин популяцій в біосистемах.

Ключові слова: популяція, динаміка, диференціальні рівняння, програма MATLAB.

Н. В. Багнюк, Е. И. Кузьмич, В. М. Мельник, Г. С. Шепелюк, М. А. Чорний. Графический интерфейс MATLAB для моделирования процессов самоорганизации в биосистемах. В данной статье представлен проект по разработке графического интерфейса MATLAB и результаты моделирования, позволяющие как визуально, так и количественно оценивать состояние, функционирование, динамику и характер взаимоотношений популяций в биосистемах.

Ключевые слова: популяция, динамика, дифференциальные уравнения, программа MATLAB.

N. V. Bagniuk, O. I. Kuzmych, V.M. Melnyk, G.S. Shepelyuk, M. A. Chornij. MATLAB GUI for modeling self-organization processes in biosystems.

This article presents a project to develop the MATLAB graphical interface and simulation results that allow both visually and quantitatively assessing the state, functioning, dynamics and nature of the relationships of populations in biosystems.

Keywords: population, dynamics, differential equations, MATLAB program.

Постановка наукової проблеми.

Бажання людини передбачати події та впливати на майбутнє є невід'ємною частиною еволюції з давніх давен. З розвитком науки та комп'ютерних технологій прогноз та передбачення стало певною мірою можливим, за рахунок побудови математичної моделі та застосування засобів системного аналізу. В цьому аспекті особливо актуальні дослідження в біології, адже вони пов'язані з необхідністю побудови деякої прийнятної математичної моделі біологічного процесу. Перші спроби математично описати біологічні процеси відносяться саме до моделей популяційної динаміки, що має застосування в екології, в мікробіології, імунології, для еволюційних процесів і т.д. Сам термін «популяція» – це сукупність організмів, що займають обмежений ареал, мають спільне походження за фенотипом та географічно ізольовані від інших популяцій даного виду. Важливим питанням вивчення популяції є дослідження її росту – співвідношення народжуваності і смертності та динаміки цього росту. Існує досить багато математичних моделей, що описують динаміку росту популяції для різних природних умов та інших факторів. У цій статті пропонується огляд методів моделювання, що дозволяють кількісно оцінювати стан, функціонування, динаміку і характер взаємин популяцій в біосистемах.

Одними з поширених методів моделювання процесів розвитку популяцій є методи динамічної теорії систем на базі диференціальних рівнянь, методи якісної теорії систем, комп'ютерної симуляції. На основі цього методу можливе вирішення таких задач аналізу біосистеми як: з'ясування механізмів взаємодії елементів системи, ідентифікація та верифікація параметрів моделі за експериментальними даними, прогноз поведінки системи при різних зовнішніх впливах, оптимальне керування системою відповідно до обраного критерію.

Згідно проведених природних спостережень за популяціями тварин, коливання чисельності рисей і зайців, що припадає на певну площу соснового лісу Канади мають періодичний характер. Коливання чисельності пов'язані з реакцією популяції на зовнішні впливи і внутрішні зміни в біоценозі. Період і амплітуда коливань залежать від механізмів регуляції чисельності популяції, особливостей виду і від умов його існування. Розглянемо, яким чином модельні експерименти на базі методу диференціальних рівнянь, що застосований в статті до аналізу популяційної динаміки та прогнозу розвитку популяцій, узгоджується з даними цих спостережень (Рис.1) [1]. В контексті даної постановки задачі у цій статті проводиться аналіз методів математичного та комп'ютерного моделювання в застосуванні до процесів популяційної динаміки, наводяться приклади застосування таких моделей в різних галузях науки та перспективи подальших впроваджень. Крім того, порівнюються результати моделювання з результатами природних спостережень.

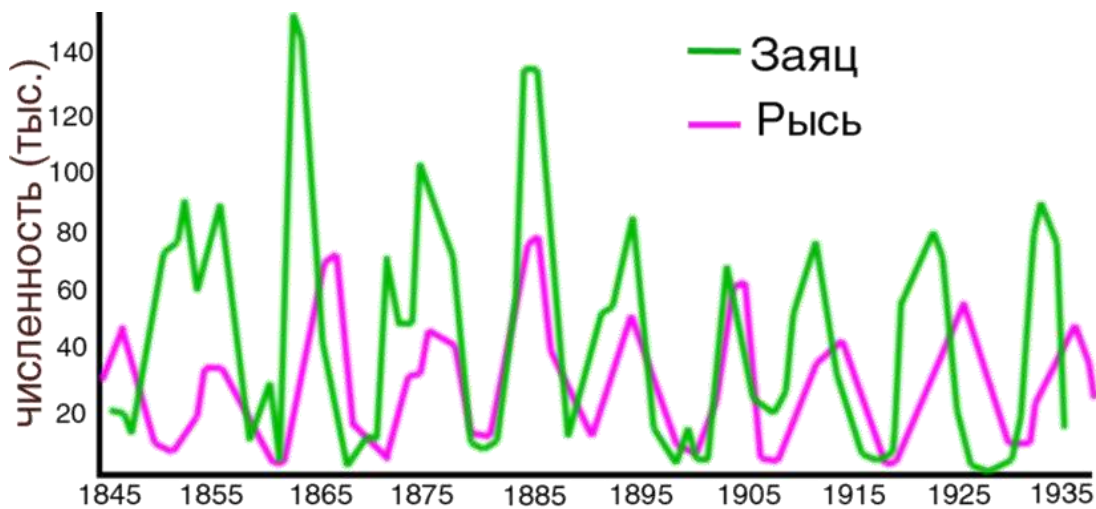


Рисунок 1. Дані природніх спостережень.

Аналіз досліджень.

В якості об'єкта дослідження обрано одну з найбільш відомих моделей опису динаміки популяцій – модель Лотки-Вольтерри, запропоновану в 1931 р. Ця модель (часто її називають моделлю «хижак-жертва») застосовна для опису різних процесів в біології, екології, медицині, в соціальних дослідженнях, в історії, в радіофізиці і інших науках. Вона по своїй суті є математичним описом дарвінського принципу боротьби за виживання, викладеного у [2]. Дарвін знайшов підтвердження своїх висновків у працях Мальтуса [3]. В подальшому ці ідеї знайшли розвиток у працях Вольтерри [5], а саме: якщо в системі “хижак-жертва” обидва види знищуються рівномірно і пропорційно числу особин, то середнє число жертв зростає, а хижаків зменшується. Наприклад, під час першої світової війни лов риби в Адріатичному морі було суттєво скорочено, що несподівано призвело до збільшення числа хижаків і зменшення числа жертв.

Дана модель має ряд цікавих і різнопланових застосувань у різних галузях - в біології, екології, медицині, соціальних науках, радіофізиці, ін. [5-10]. Характерним є циклічність процесів, що відбуваються. Так, в праці Арнольда [7] розглядається видозмінена модель Лотки-Вольтерри, що враховує конкуренції жертв за їжу і хижаків за жертв. Дана модель має цікаву інтерпретацію динамічної системи взаємодії законотруслих громадян і соціально небезпечних осіб. Представляє інтерес модель взаємодії забруднення з природнім навколишнім середовищем [6] та модель очистки стічних вод, яка основана на пропозиції розглядати забруднювач як “жертву”, а біологічно активний мул в якості “хижака”, що здатен нейтралізувати забруднювач через процес біохімічного окислення [8].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.

Таким чином, проведемо комп'ютерну реалізацію моделі Лотки-Вольтерри з застосуванням програмного середовища MATLAB. При цьому вирішується задача прогнозування систем, що мають широке застосування у екології та біології, аналізу біологічних популяцій. На базі цього можливим є рішення таких практичних задач як збереження зникаючих і рідкісних видів тварин і рослин, прогнозування чисельності промислових популяцій в екосистемі, розробка оптимальних стратегій промислу, вивчення впливу антропогенних факторів на чисельність біологічних видів, і інших.

Розглянемо диференціальну модель боротьби за існування двох популяцій Лотки-Вольтерра. При цьому спочатку будується математична модель системи або процесу. Далі відбувається моделювання системи шляхом пошуку розв'язку систем диференціальних рівнянь та засобами системного аналізу. Можна спостерігати реакцію системи на різні вхідні дані та робити висновки про поведінку реальної системи за модельованим прототипом.

Нехай на деякій замкнутій території мешкають два види: вегетаріанці-жертви, що харчуються рослинами, які є в достатній кількості і хижаки, що полюють на жертв. Побудуємо чисельний розв'язок (динаміку) системи Лотки-Вольтерра в MATLAB. Створимо графічний інтерфейс програми з використанням інструментарію GUI.

Розглянемо випадок, коли система має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(\alpha - \beta y) \\ \frac{dy}{dt} = -y(\gamma - \delta x) \end{cases}$$

Динаміка системи має вигляд неправильних еліпсів. Особлива точка – центр. Поблизу особливої точки фазові траєкторії є еліпсами. При заданні значень змінних $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ було враховано, що вибір вектора початкових умов (вектора y_0 , см. нижче) залежить від координат точки перетину прямих $\frac{\gamma}{\delta}, \frac{\alpha}{\beta}$.

Графічний інтерфейс програми показаний на Рис.2. В лівій частині вікна GUI (Graphical User Interface) знаходиться блок задання параметрів системи, а саме – час моделювання, початкові чисельності хижаків і жертв. В середній частині вікна задаються модельні параметри, такі як коефіцієнти розмноження та вимирання обої популяцій відповідно. В лівій частині вікна внизу показано часові залежності динаміки обох популяцій, а в правій нижній частині – фазові траєкторії.

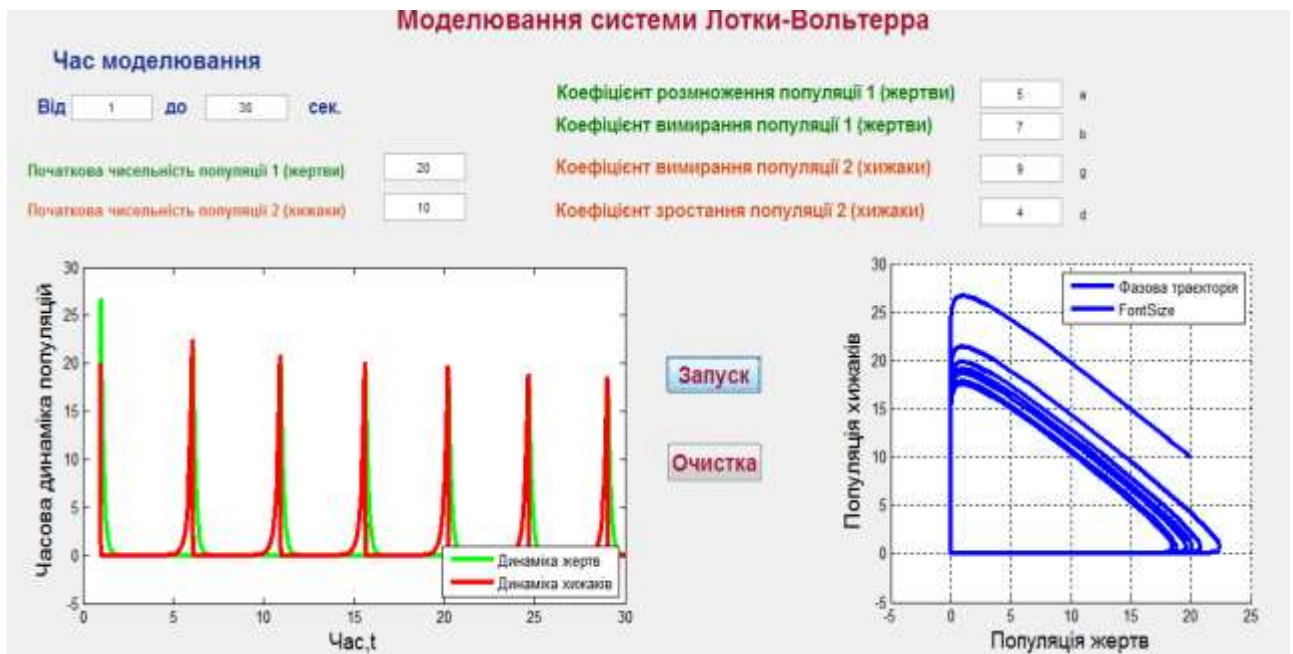


Рисунок 2 – Графічний інтерфейс в програмі MATLAB

Задання значень змінних $\alpha, \beta, \gamma, \delta$, виконано описом їх з допомогою функції *sums*. Використовуючи солвер *ode45* програми MATLAB побудуємо графіки.

На Рис.2 зображено графік залежності чисельності хижаків від чисельності жертв при різних початкових умовах. Червоною точкою позначено точку рівноваги системи, якою є точка перетину прямих $\frac{\gamma}{\delta}, \frac{\alpha}{\beta}$. На Рис. 3 показано фазові траєкторії чисельностей популяцій, а на Рис.4 зображено

графік залежності числа жертв від часу та графік залежності числа хижаків від часу в одному вікні при варіюванні параметрів моделі.

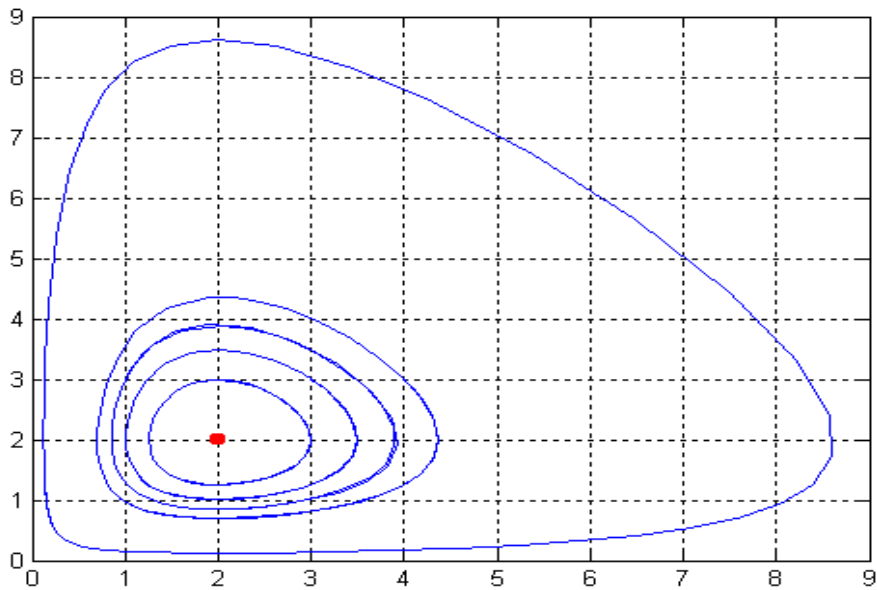


Рисунок 3 – Графік залежності числа жертв від числа хижаків

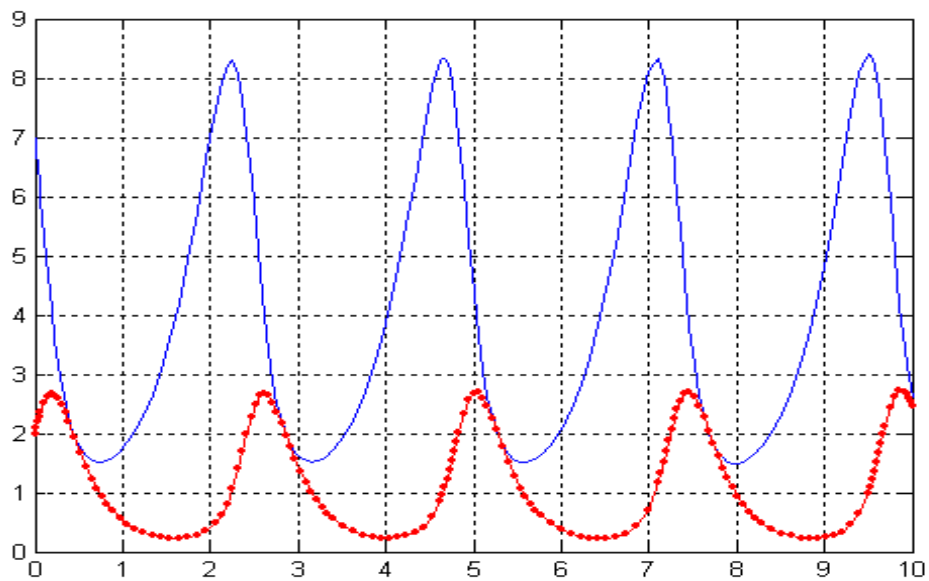


Рисунок 4 – Часові залежності числа жертв (графік з більшою амплітудою вгорі) та числа хижаків (внизу).

Система диференційних рівнянь Лотки-Вольтерра розв'язувалась в програмі MatLab з такими початковими значеннями: початкова чисельність популяції жертв становила 7 вим.од., популяція хижаків – 2 вим.од. Початкові коефіцієнти приросту чисельності популяції рівні $\alpha = 4$.

Графік на Рис. 2 демонструє залежність числа хижаків від числа жертв в цьому випадку (фазова залежність), та на Рис. 3 часові графіки популяцій. Далі при зростанні числа жертв до 8 вим.од. на графіку (Рис. 3) бачимо суттєве зменшення амплітуд фазових коливань.

На графіках фазових траєкторій (Рис. 2) також показано особливі точки для кожного випадку, які відповідають стаціонарному стану системи. Стаціонарний стан знаходимо наступним чином. Якщо чисельність популяції стала, то її похідна по часу рівна нулю. Тобто

$$\begin{cases} 0 = x(\alpha - \beta y) \\ 0 = -y(\gamma - \delta x) \end{cases}$$

Звідси, $x_1 = 0, y_1 = 0, x_2 = \gamma/\delta, y_2 = \alpha/\beta$.

Отже, результати моделювання показують, що чисельності популяцій відчують не співпадаючі по фазі коливання (Рис.2). Зі зростанням коефіцієнта народжуваності жертв спостерігаємо циклічну зміну амплітуд коливань обох популяцій. При $\alpha = \beta$ чисельність популяції залишеться сталою при умові відсутності хижаків. В цьому випадку розв'язком рівняння (1) є рівноважна величина $N(t) = N(0)$. Рівновага між народжуваністю і смертністю нестійка у тому сенсі, що навіть невелике порушення рівності $\alpha = \beta$ призводить з часом до все більшого відхилення функції $N(t)$ від рівноважного значення $N(0)$. При $\alpha < \beta$ чисельність популяції зменшується і прямує до нуля при $t \rightarrow \infty$. При $\alpha > \beta$ чисельність зростає по експоненціальному закону, і прямує до нескінченності при $t \rightarrow \infty$.

Таким чином, розроблений програмний продукт придатний для дослідження важливого питання вивчення популяції - дослідження її росту, тобто співвідношення народжуваності і смертності та динаміки цього росту. Також, є можливість прогнозувати поведінку системи для різних природних умов та інших факторах, які можна врахувати через модифікацію моделі. Програмний продукт дозволяє кількісно оцінювати стан, функціонування, динаміку і характер взаємин популяцій в біосистемах, що добре узгоджується із природними спостереженнями (Рис.1).

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Дані результати моделювання, що отримані з допомогою розробленого програмного продукту дозволяють як візуально, так і кількісно оцінювати стан, функціонування, динаміку і характер взаємин популяцій в біосистемах. З результатів моделювання видно, що графіки часових залежностей числа хижаків від числа жертв демонструють періодичний характер. Це добре узгоджується з експериментальними вимірюваннями (Рис.1). У природних умовах зміна чисельності популяції носить коливальний характер, коливання чисельності пов'язані з реакцією популяції на зовнішні впливи і внутрішні зміни в біосистемі. Період і амплітуда коливань залежать від механізмів регуляції чисельності популяції, особливостей виду і від умов його існування.

За умов модифікації моделі даний програмний продукт може бути використаний екологами для аналізу проблем екосистем, наприклад, небезпеки промислового вилування тварин, і прийняття рішень щодо можливих рішень таких проблем, за яких екосистемі не буде нанесено шкоди. Цікавою інтерпретацією моделі Лотки-Вольтерри, яка буде предметом подальших досліджень є модель взаємодії забруднення з навколишнім середовищем, яка розглядалась у [6]. Ситуацію «забруднення-природа» можна трактувати як окремий випадок моделі Лотки-Вольтерра «хижак-жертва», коли природне середовище виступає в якості жертви, а популяція забруднювача – в якості хижака. Головне припущення, що лежить в основі такої моделі, полягає в тому, що навколишнє середовище активно абсорбує і переробляє забруднення аж до певної межі. З якісних міркувань в системі «навколишнє середовище – забруднення» можливі три наступних принципово різні сценарії взаємодії, які можна дослідити на базі розробленого програмного продукту та аналізу фазових траєкторій. Серед них наступні: а) при малих викидах забруднення, довкілля його повністю переробляє (стійка ситуація), б) при збільшенні викидів забруднення в залежності від зовнішніх умов і випадкових причин навколишнє середовище може знаходитися в задовільному стані, а може і загинути (бістабільна ситуація). Нарешті, третій випадок відповідає ситуації екологічної катастрофи - повного вимирання природнього середовища, що взаємодіє із забрудником. Припустимо, що загальний фон забруднення і стан навколишнього середовища можна характеризувати наступними змінними: концентрацією забруднення і щільністю біомаси, відповідно. У тому випадку, якщо існує постійно діюче джерело забруднення, процес еволюції забруднення можна описати рівнянням, що містить параметри потужності джерела забруднення за одиницю часу, а також коефіцієнт природного знищення забруднення. Дана динамічна система функціонує так, що з часом концентрація забруднення змінюється природним чином. Тоді процес взаємодії забруднювача з навколишнім середовищем можна описати системою рівнянь динаміки і ставити задачу прогнозу та аналізу стану рівноваги такої екологічної системи, що і планується реалізувати в наступних дослідженнях.

Список бібліографічного опису.

1. Яблоков Я.В. Популяционная экология. -М.: Высш. шк., 1987. -303 с.
2. Ch. Darwin. Autobiography.- New York: Norton, 1958.-120 p.
3. Malthus T.H. An essay on the principle of population, as it affects the future improvement of society. – Penguin: Harmondsworth, 1978.- pp. 613–637.
4. Братусь А.С. Динамические системы и модели биологии //А.С. Новожилов, А.П. Платонов.- М.: Физматлит, 2010.-400 с.
5. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование.-М.: Наука, 1976.-288 с.
6. Трубецков Д. И. Феномен математической модели Лотки-Вольтерры и сходных с ней // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. — 2011. — Т. 19. — № 2. — с. 69–88.
7. Арнольд В.И. Жесткие и мягкие модели// Природа.-1998.- №4.-с.3.
8. Братусь А.С. Математические модели взаимодействия загрязнения с окружающей средой / А.С. Мещерин, А.С. Новожилов// Вестник МГУ. Сер. вычислительная математика и кибернетика.-2001.-Т.6.-с.140.
9. Занг В.Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории.-М: Мир, 1999.- 335 с.
10. Малков С.Ю. Социальная самоорганизация и исторический процесс: возможности математического моделирования. -М: Либроком /URSS, 2009.

References.

1. Yablokov Ya. V. Population ecology. -M.: Higher. school., 1987. -303 p.
2. Sh. Darwin. Autobiography.- New York: Norton, 1958.-120 p.
3. Malthus T.H. An essay on the principle of population, as it affects the future improvement of society. - Penguin: Harmondsworth, 1978.- pp. 613-637.
4. Bratus A.S. Dynamic systems and models of biology // A.S. Novozhilov, A.P. Platonov.- M.: Fizmatlit, 2010.-400 p.
5. Volterra V. The mathematical theory of the struggle for existence.-M.: Nauka, 1976.-288 p.
6. Trubetskov D. I. Phenomenon of the Lotka-Volterra mathematical model and similar ones. Izvestiya of High Schools. Applied nonlinear dynamics. - 2011. - Vol. 19. - No. 2. - p. 69–88.
7. Arnold V.I. Hard and soft models // Nature.-1998.- No. 4.-p.3.
8. Bratus A.S. Mathematical models of the interaction of pollution with the environment / A.S. Mescherin, A.S. Novozhilov // Bulletin of Moscow State University. Ser. Computational Mathematics and Cybernetics.-2001.-Vol.6.- p.140.
9. Zang V.B. Synergetic economy. Time and Changes in Nonlinear Economic Theory.-M: Mir, 1999.-335 p.
10. Malkov S.Yu. Social self-organization and the historical process: the possibilities of mathematical modeling. -M: Librocom / URSS, 2009.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-5

УДК: 004.4

О. І. Кузьмич, В. М. Мельник, В. Ю. Капиш
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ АНАЛІТИКИ ЗАКУПІВЕЛЬ ТА МЕХАНІЗМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ 1С:ПІДПРИЄМСТВО.

О. І. Кузьмич, В. М. Мельник, В. Ю. Капиш. Дослідження аналітики закупівель на базі конфігурації УНФ платформи 1С:Підприємство 8.3. В даній роботі досліджуються особливості процесу автоматизації обліку закупівель торгового підприємства з великим об'ємом товарообороту, або торгівельної корпорації. Розроблений програмний модуль реалізує рекомендувальну функцію програми, яка допомагає користувачу (менеджеру) в прийнятті управлінського рішення та дає можливість оперативно визначитись з постачальником.

Ключові слова: автоматизація підприємства, облік закупівель, 1С Підприємство.

Е. И. Кузьмич, В. М. Мельник, В. Ю. Капиш. Исследование аналітики закупок на базе конфигурации УНФ платформы 1С: Предприятие 8.3. В данной работе исследуются особенности процесса автоматизации учета закупок торгового предприятия с большим объемом товарооборота, или торговой компании. Разработанный программный модуль реализует рекомендующую функцию программы, которая помогает пользователю (менеджеру) в принятии управленческого решения и дает возможность оперативно определиться с поставщиком.

Ключевые слова: автоматизация предприятия, учет закупок, 1С Предприятие.

O. I. Kuzmych, V. M. Melnyk, V. Yu. Kapish. Research of Procurement Analytics Based on UNF Configuration of 1С: Enterprise 8.3. This paper explores the specialities of the automation process of the accounting of high-volume trading company or corporation. The developed software module implements the recommending function of the program, which helps the user (manager) in making management decision and allows to quickly determine the supplier.

Keywords: enterprise automation, accounting of purchases, 1С Enterprise.

Постановка наукової проблеми. Автоматизація операційної та виробничої діяльності типового торгового підприємства з великим товарооборотом - це складний соціально-технологічний процес, пов'язаний зі значними змінами в способі життя населення. Він вимагає серйозних зусиль на багатьох напрямках, включаючи ліквідацію комп'ютерної неграмотності, формування культури використання новітніх інформаційних технологій. В цьому контексті, процес закупівель - один із важливих бізнес-процесів, що відбуваються у господарюючих суб'єктів. Тому, забезпечення ефективного функціонування сучасного торгового підприємства великою мірою визначає процес закупівель, який суттєво впливає на стійкість, ефективність та конкурентоспроможність підприємств. Відповідність такому поняттю, як конкурентоспроможність, значною мірою визначається можливістю підприємств задовольняти вимоги, які ставлять потреби користувачів, шляхом пропозиції своїх якісних товарів або послуг за прийнятними ринковими цінами у прийнятні терміни. Цей факт вимагає налагодження оптимальних і комплексних рішень, розрахованих на тривалу перспективу, які, в кінцевому рахунку, знаходять своє відображення в маркетинговій, логістичній та виробничій стратегіях підприємства.

Зважаючи на це, ціллю даної статті є автоматизація процесу закупівлі товару та обладнання торгової компанії та реалізація механізму прийняття рішень. Дослідження процесу автоматизації обліку закупівель торгового підприємства, або торгівельної корпорації на даний час є актуальним та важливим завданням. Діяльність такого підприємства здійснюється з використанням новітніх інформаційних технологій, що дозволяє якісно та оперативно реалізовувати товар в максимально стислі терміни з використанням мінімальної кількості персоналу.

Аналіз досліджень.

В даній статті проаналізовано та досліджено аналітику закупівель та розроблено проект по автоматизації цього процесу на прикладі технічного завдання від типового торгового підприємства, яке займається продажем газового обладнання. Проблематика та методологічна база цього питання висвітлена у [1-3], існуючі програмні методи рішення у [6-8]. Використання розробленої методології та технічно-програмних рішень дозволить максимально скоротити час від надходження замовлення товару, аж до доставки, та оптимізувати операційну діяльність підприємства, що обумовлює практичну значущість роботи. В процесі реалізації поставленої мети було розглянуто економічну базу процесу обліку закупівель товарів [4-5], проаналізовано процеси інформатизації та обліку ресурсів типового торгового підприємства з великим товарооборотом. Також проаналізовано стан автоматизації та комп'ютеризації операційних процесів, і на основі цього - рівень

автоматизації процесів закупівель. В контексті цього, наводиться реалізація проекту автоматизації закупівель з урахуванням оптимізації обліково-аналітичних робіт.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Матеріальною і технологічною базою інформатизації суспільства та впровадження сучасних ІТ технологій у організацію виробничої діяльності стають різного роду системи на базі комп'ютерної техніки, комп'ютерних мереж, телекомунікаційного зв'язку, серед яких програмні продукти на базі платформи 1С:Підприємство 8.3. Конфігурація УНФ (управління невеликою фірмою) призначена для ведення операційного обліку. Вона найбільш корисна корпораціям та підприємствам малого, середнього розміру, які займаються виробничою діяльністю, наданням сервісних послуг, дрібнооптовою торгівлею. Це - популярна програма управлінського обліку для бізнесу, використання її дозволяє максимально скоротити час від надходження замовлення товару, аж до доставки, та оптимізувати операційну діяльність підприємства.

Термін «корпорація» походить від латинського слова *corporatio* - об'єднання. Цей термін означає об'єднання підприємств, працюючих під централізованим управлінням і які вирішують спільні завдання. Як правило, корпорації включають підприємства, розташовані в різних регіонах і навіть в різних державах (транснаціональні корпорації). Корпорація є складною, багатопрофільною структурою і, внаслідок цього, має розподілену ієрархічну систему управління. В свою чергу, корпоративне управління визначається як система взаємовідносин між суб'єктами правління, що визначені статутом, регламентом і офіційною політикою компанії, а також принципом верховенства права на основі прийнятої бізнес моделі. Бізнес-модель - це опис підприємства як складної системи із заданою точністю. У рамках бізнес-моделі відображаються усі об'єкти (сутності), процеси, правила виконання операцій, існуюча стратегія розвитку, а також критерії оцінки ефективності функціонування системи. Форма представлення бізнес-моделі і рівень її деталізації визначаються цілями моделювання і прийнятою точкою зору. Підприємства, відділення і адміністративні офіси, що входять в корпорацію, як правило, розташовані на достатньому віддаленні один від одного. Їх інформаційний зв'язок один з одним утворює комунікаційну структуру корпорації, основою якої є інформаційна система. Важливим є також програмне забезпечення, конфігурація якого відповідає вимогам інформаційної моделі, адже програмне забезпечення є основним рушієм і, одночасно, механізмом управління інформаційної системи підприємства. Крім того, завжди існують вимоги до постачальника програмного забезпечення, що регламентують процедуру технічної і призначеної для користувача підтримки упродовж усього життєвого циклу. Кадрові ресурси відповідають за налаштування і адаптацію програмного забезпечення, і його відповідність затвердженій інформаційної моделі. Іншими елементами є регламент внесення змін до структур (специфічні налаштування, структури баз даних), що налаштовуються, і конфігурації програмного забезпечення і складу його функціональних модулів, апаратно-технічна база, що відповідає вимогам по експлуатації програмного забезпечення (комп'ютери на робочих місцях, периферія, канали телекомунікацій, системне програмне забезпечення і СУБД).

Таким чином, в рамках дослідження було розроблено концепцію оптимізації модуля закупівель з моделюванням процесу прийняття рішень та механізму рекомендацій менеджера. На базі цього реалізовано проект по автоматизації обліку закупівель товару для типового торгового підприємства з кількома філіалами. Для цього було вдосконалено та інтегровано оновлений модуль процесу закупівель товару. Проаналізувавши інформацію по потребах менеджерів, що займаються продажем, є можливість оперативно здійснити замовлення відсутнього товару, що в разі пришвидшує роботу відділу закупок. Для реалізації поставленої мети потрібно розглянути економічну сутність обліку закупівель товарів, проаналізувати процес обліку ресурсів підприємства, показати вплив на процеси комп'ютеризації підприємства і на їх основі автоматизації господарських процесів закупівель.

Розробка конфігураційного модуля. Першим кроком процесу розробки конфігураційного модуля є розгляд поняття закупівель продукції, аналіз чинних нормативно-правових актів, що регламентують основні процеси обліку та обігу товарно-матеріальних активів та грошових коштів. Далі необхідно вивчити практику автоматизації закупівель на базі системи 1С, і запропонувати проект по його оптимізації. У процесі інтеграції додаткового модуля відмітимо, що програма «Управління невеликою фірмою для України 8.3» дозволяє вести управлінський (оперативний) облік, і реалізовано можливість обміну даними з програмою «Бухгалтерія 8.3». Дана конфігурація ефективно функціонує на торгових підприємствах, реалізовує поставлені задачі для підприємств які займаються оптовою та роздрібною торгівлею.

На цільовому підприємстві функціональність цієї програми реалізує такі завдання як ведення клієнтської бази, управління взаємовідносинами зі споживачами, сегментація клієнтів. Крім того реалізується оформлення замовлення по попередніх домовленостях, проведення реалізації товарів та наданих послуг, грамотно будується складський облік, розраховується потреба в матеріалах для виробництва. Основою роботи конфігурації є можливість планувати і проводити розрахунки з контрагентами і персоналом, нараховувати заробітну плату співробітникам фірми, керувати роботами, наданням сервісних послуг, планувати і враховувати виробничі операції, проводити всебічний аналіз діяльності фірми.

В процесі розробки у програмі особливу увагу приділено функціоналу з планування та обліку виконання робіт, надання послуг, обліку виробничих операцій і завантаження ресурсів підприємства.

Основні функціональні доповнення в порівнянні з базовою діючою версією УНФ є наступні:

1) Реалізовано механізм сегментації товару наступним чином. Додано довідник «Бренди», і при цьому кожен товар має статус «ABC-бренд» (Рис.1) та реалізовано ведення аналітики відносно брендів.

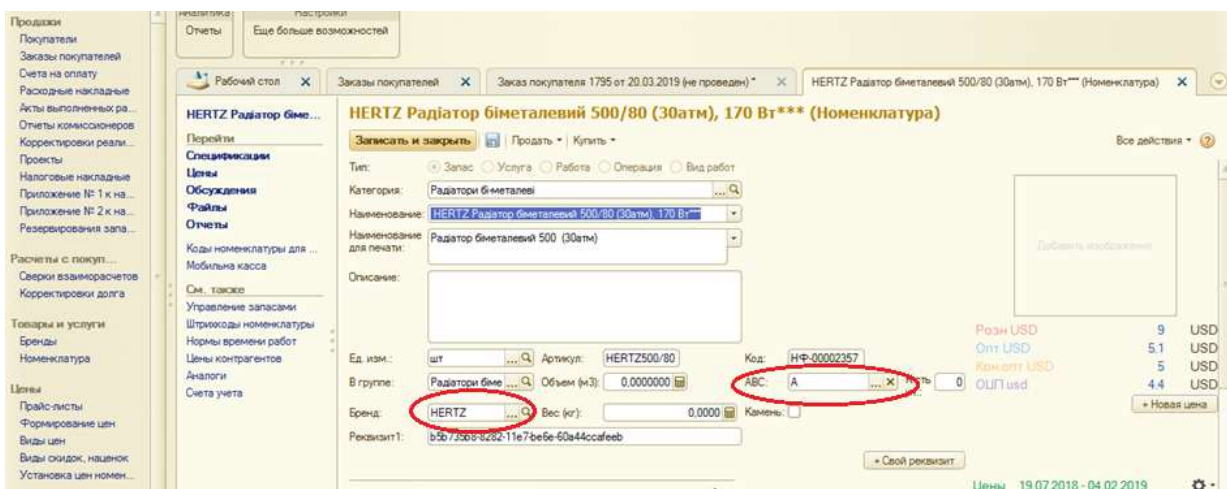


Рис 1. Облік рентабельності - «статус товару».

2) Реалізовано механізм обліку нерентабельного товару. При цьому введено новий термін і відповідний реквізит - «Камінь». Це є товар що продається дуже рідко, або нерентабельний товар. У системі він виділений червоним кольором (Рис. 1).

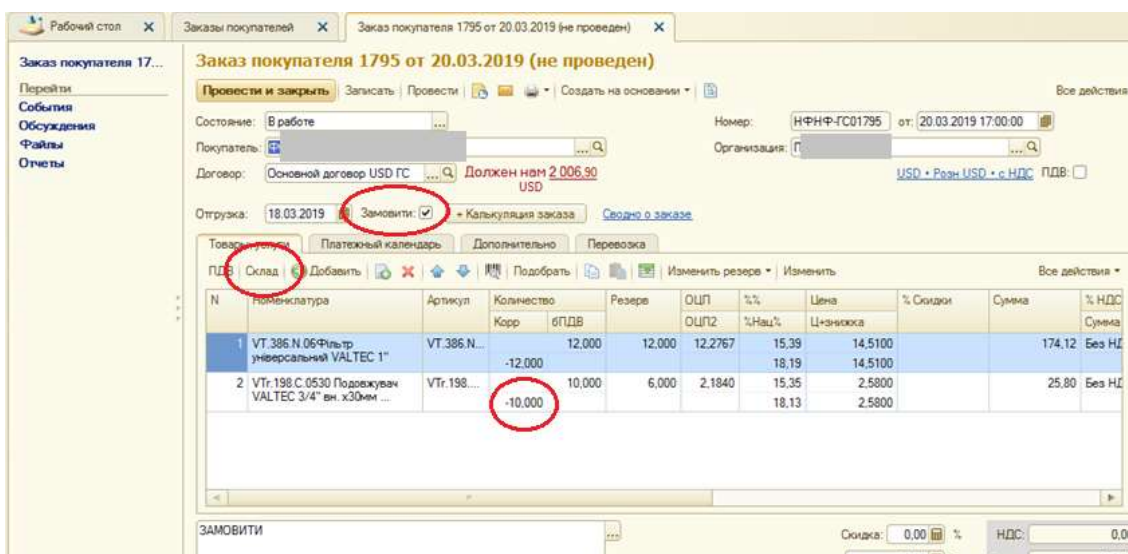


Рис 2. Документ «Замовлення покупця».

3) Реалізовано механізм оцінки залишку товарів на складах. При цьому кожен склад має межі величини залишку.

4) Оперативна перевірка наявності товару. При замовленні покупця, наявність товару повторно перевіряють кнопкою «Склад». У разі відсутності товару роблять помітку "Замовити" (Рис.2).

Механізм прийняття рішень. Основною перевагою клієнтської частини модуля закупівель є те, що він реалізує рекомендації програми, які «підказують» користувачу (менеджеру) потрібне управлінське рішення щодо купівлі партії товару в конкретного постачальника, або переміщення доступного товару з одного з складів, а також - дають можливість визначитись з постачальником.

Рекомендації-підказки менеджеру реалізовані наступним чином. Для закупок використовують новий документ «Расчет потребностей» (Рис.3), перероблений таким чином, щоб аналізувати замовлення покупців. На базі цього реалізується швидкий розрахунок потреб товару в профілі менеджера по закупках. Всі замовлення менеджера на закупку та переміщення розподіляються по типах постачань. Закладка «Закази» - формує замовлення постачальнику.

В результаті підрахунку потреб та їх аналізу система прийняття рішень пропонує варіанти: 1) перемістити товар зі складу, де ще можна його забрати; 2) замовити товар у постачальника.

Номенклатура	Характеристика \ Источники	ABC	Дата поступления	Количество	Цена	Сумма	Валюта	Вид цен
VT.198.C.0530 Подожуван VA...		C	25.03.2019	6,000				
Закупка (основной)	ТОВ Інженерний Сантехніч...		30.03.2019	6,000	63,55	381,31	грн.	Цены для Валтекс I
Закупка (основной)	ФОП Блонська Н.М.		30.03.2019	6,000	2,18	13,10	USD	Цены для Блонск
Производство			30.03.2019	6,000				
VT.386.N.06Фильтр универ...		C	25.03.2019	12,000				
Закупка (основной)	ТОВ Інженерний Сантехніч...		25.03.2019	12,000				
Закупка (основной)	ФОП Блонська Н.М.		25.03.2019	12,000	12,28	147,32	USD	Цены для Блон
Производство			25.03.2019	12,000				

Рис 3. Механізм рекомендацій менеджеру.

Автоматизований запит замовлення постачальнику реалізується через механізм рекомендацій менеджеру. Рекомендації дають можливість визначитись з постачальником наступним чином. Якщо б був товар на іншому склад, то пропонувалось б перемістити товар. Закладка «Закази» - формує замовлення постачальнику.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Впровадження та інтеграція модуля аналітики закупівель має значні переваги, а саме - отримання достовірної і оперативної інформації про діяльність усіх підрозділів компанії, підвищення ефективності управління компанією, скорочення витрат робочого часу на виконання робочих операцій, підвищення загальної результативності роботи за рахунок раціональнішої її організації. Підвищення внутрішньої керованості, гнучкості і стійкості до зовнішніх дій збільшує ефективність компанії, її конкурентоспроможність, а кінець кінцем - прибутковість. Внаслідок впровадження ефективної автоматизації збільшуються об'єми продажів, знижується собівартість, зменшуються складські запаси, скорочуються терміни виконання замовлень, покращується взаємодія з постачальниками.

Але, незважаючи на привабливість приведених тверджень, питання про окупність інвестицій в інформаційну систему підприємства не втрачає свою актуальність. Співвідношення вигоди до використання системи і її вартості є одним з найбільш важливих чинників, що чинять вплив на рішення «купувати або не купувати». Будь-який інвестиційний проект, а впровадження інформаційної системи, поза сумнівом, треба розглядати як інвестиційний проект, є свого роду «купівлею» і, відповідно, вимагає оцінки його вартості і очікуваної вигоди. Пряму окупність програми порахувати непросто, оскільки в результаті впровадження оптимізується внутрішня структура компанії, знижуються важковимірні транзакційні витрати. Складно визначити, наприклад, на якому ступені збільшення доходів компанії стало наслідком роботи ефективної управлінської автоматизованої системи, а в якій - результатом налаштування бізнес-процесів, тобто

результатом управлінських технологій. Проте, в деяких аспектах діяльності компанії оцінка цілком реальна. В першу чергу це стосується закупівельної діяльності, де впровадження ефективної аналітики закупівель призводить до оптимізації матеріальних потоків і до зниження потреби в обігових коштах. Постановка на базі інтеграційного модуля ефективної системи фінансового управління призводить до зниження накладних витрат компанії, ліквідації збиткових підрозділів і виключення з асортименту нерентабельних продуктів.

Як результат проведеного аналізу, було розроблено проект автоматизації обліку закупівель та реалізовано програмний модуль CRM системи. З допомогою представленого в роботі програмного продукту закупівельна діяльність підприємства здійснюється з значно ефективніше, що дозволяє реалізовувати якісний товар в максимально стислі терміни з використанням мінімальної кількості персоналу. В подальших дослідженнях планується провести оцінку ефективності впровадження інтегрованої системи з вдосконаленим модулем аналітики закупівель. Для цього застосуємо методи інвестиційного аналізу, в основі яких лежить оцінка і порівняння вигод від здійснення проекту з витратами на його реалізацію.

Представлену в статті методику рекомендується використовувати для ефективної організації закупівельної діяльності на підприємствах малого та середнього бізнесу. Розроблений програмний засіб може використовуватись також в якості навчального програмного забезпечення в закладах вищої освіти під час вивчення програмних пакетів економічної галузі та нових методів програмування.

Список бібліографічного опису.

1. Архіпов В. В. Організація ресторанного господарства: Навч. пос. [для студ. вищ. навч. закл.] / В.В. Архіпов, В. А. Русавська - К.: Центр учбової літератури, 2009. - 342 с.
2. Барроу К. Бізнес-план : практичний посібник / Барроу К., Барроу П., Браун Р. ; пер. з 4-го англ. вид. – К. : Знання, 2005.
3. Бізнес-планування : навч. посіб. / Т. Г. Васильців, Я. Д. Качмарик, В. І. Блонська, Р. Л. Лупак. – К. : Знання, 2013. – 173с.
4. Бодуан Ж. Управление имиджем компании. - М.: «Инфра», 2001. - 240 с.
5. Буров В.П., Морозкин О.К. «Бизнес-план. Методика составления - реальный пример» - М: ЦИПКК, 2005. - 201с.
6. Величко В. Етапи розробки бізнес-плану підприємства // Економіка України. – 2012. - № 5. - С. 42-48.
7. Богачева Т., Ситосенко Е., Толмачев В. 1С:Предприятие 8. Конфигурация «Управление торговлей». Часть 2. М.: 1С, 2013. 649 с.
8. Богачева Т.Г. 1С:Предприятие 8. Управление торговыми операциями в вопросах и ответах: практическое пособие. М.: 1С-Паблишинг, 2012. 819 с.
9. Радченко М.Г. 1С:Предприятие 8.2. Практическое пособие разработчика. М.: 1С-Паблишинг, 2009. 872 с

References

1. Arkhipov V.V. Organization of the restaurant industry: Educ. textbook. [for students higher. teach. /]. Arkhipov, VA Rusavska - K. : Center for Educational Literature, 2009. - 342 p.
2. Barrow K. Business plan: a practical guide / Barrow K., Barrow P., Brown R.; trans. from the 4th eng. kind. - K.: Knowledge, 2005.
3. Business Planning: Educ. tool. / TG Vasylytsev, Ya. D. Kachmarik, VI Blonskaya, RL Lupak. - K.: Knowledge, 2013. - 173 p.
4. Boduan J. Managing the Company's Image. - M. : Infra, 2001. - 240 p.
5. Burov V.P., Moroshkin O.K.. «Business plan. Compilation methodology is a real example ”- M: CIPCC, 2005. - 201p.
6. Velichko V. Stages of business enterprise plan development // Economy of Ukraine. - 2012. - № 5. - P. 42-48.
7. Bogacheva T., Sitosenko E., Tolmachev V. 1С: Enterprise 8. Trade Management Configuration. Part 2. M. : 1С, 2013. 649 p.
8. Bogacheva T.G. 1С: Enterprise 8. Managing questions and answers trading: a practical guide. M. : 1С-Publishing, 2012. 819 p.
9. Radchenko M.G. 1С: Enterprise 8.2. Developer's Guide. Examples and typical techniques. M. : 1С-Publishing, 2009. 872 p.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-6

УДК: 004.89

Лавренчук С. В., Ілюшик Р. С.

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ПРИ СТВОРЕННІ ЧАТ-БОТ ЗАСОБАМИ PYTHON

Лавренчук С. В., Ілюшик Р. С. Дослідження технології обробки природної мови та машинного навчання при створенні chat-bot засобами Python. У статті розглянуто сучасні технології побудови додатка chat-bot, зокрема досліджено ефективність використання алгоритмів природної обробки мови, машинного навчання, а також застосування нової, більш продуктивної архітектури нейронної мережі.

Ключові слова: Bi Encoder, GloVe, python, chat-bot, Word2Vec, штучний інтелект, нейронні мережі, Tensorflow

Лавренчук С. В., Ілюшик Р. С. Исследование технологии обработки естественного языка и машинного обучения при создании chat-bot средствами Python. В статье рассмотрены современные технологии построения приложения chat-bot, в частности исследована эффективность использования алгоритмов естественной обработки речи, машинного обучения, а также применение новой, более производительной архитектуры нейронной сети.

Ключевые слова: Bi Encoder, GloVe, python, chat-bot, Word2Vec, искусственный интеллект, нейронные сети, Tensorflow

Lavrenchuk S. V., Iliushyk R. S. Research of technology of natural language processing and machine learning through chat-bot creation by Python means. The article discusses modern technologies for building a chat-bot application, in particular, researched the effectiveness of using natural language processing algorithms, machine learning, and the use of a new, more productive neural network architecture.

Keywords: Bi Encoder, GloVe, python, chat-bot, Word2Vec, artificial intelligence, neural networks, Tensorflow

Постановка наукової проблеми та аналіз досліджень.

Із розвитком сучасних технічних можливостей, комунікаційні функції в Інтернеті набувають нових форм. Особливе місце посіли технології, пов'язанні з використанням месенджерів та чат-ботів. Глобальна мережа стає середовищем спілкування, яке займає важливе місце в усіх сферах життєдіяльності суспільства.

Внаслідок отримання підтримки швидкісного доступу до інформації, асинхронної та одночасної роботи в мережі багатьох користувачів, можливістю збору та обміну різноманітною інформацією, навчання і підвищення кваліфікації, комунікацій для вирішення особистих і бізнес-питань з клієнтами і партнерами, проведення всіляких аналітичних досліджень, на сьогоднішній день проблема віртуального спілкування в мережі стала актуальною. Тому дослідження ефективної побудови і навчання чат-ботів за допомогою машинного навчання та з використанням технології природної обробки мови – перспективне завдання.

Метою роботи є вивчення основних принципів побудови сервісів для платформ Телеграм та Фейсбук, застосування та дослідження нейронної мережі та методів природної обробки мови з використанням машинного навчання для покращення універсальності та ефективності чат-бота; провести експерименти із навчанням даних помічників. Об'єктом дослідження є чат-бот, заснований на рекурентній нейронній мережі з використанням машинного навчання та технології обробки природної мови.

Завдання, які треба вирішити:

- дослідити способи та методи застосування технологій машинного навчання нейронних мереж для покращення ефективності чат-бота та його «природного» функціонування;
- виконати вибір засобів та технологій розробки;
- проаналізувати отриманні результати застосування нейронних мереж і вибрати найефективнішу;
- визначити ефективний спосіб для використання технології NLP;
- розробити chat-bot засобами мови Python з використанням машинного навчання та технології обробки природної мови.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у впровадженні нової ефективної архітектури Bi Encoder Recurrent Neural Network з LSTM та її подальшого використання, за допомогою машинного навчання і NLP.

Практична цінність проведеної роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів для ефективного навчання нейромережі, що використовується в задачі обробки

природної мови чат-ботом, також покращення виведення інформації ботом і можливості його застосування в різних сферах. При вирішенні поставленого завдання використовувалися наукові досягнення в областях штучного інтелекту, а саме нейронних мереж і машинного навчання.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.

Залежно від архітектури на якій базується бот, можна поділити їх на дві великі групи: скриптові (працюють на основі заздалегідь заготовлених фраз) та розумні (здатні навчатися).

Перший тип ботів, як правило, використовується для вузько направлених цілей і не розрахований на масового споживача. Дані боти, працюють через команди, опираючись на заздалегідь написані ключові слова, які вони розуміють. Кожна з таких команд повинна бути запрограмована розробником окремо, із впровадженням регулярних виразів або інших форм аналізу термінів. Якщо користувач задав питання, не використавши жодного ключового слова, робот не може зрозуміти його і, як правило, відповідає повідомленнями типу «вибачте, я не зрозумів».

До другої категорії відносяться більш складні програми. Ці боти, опираються на штучний інтелект (ШІ) [1], у вигляді нейронних мереж, щоб спілкуватися з користувачами. Замість заздалегідь підготовлених відповідей, робот генерує адекватні відповіді та пропозиції що стосуються теми. До того ж, всі слова, сказані чи написані в процесі діалогу, зберігаються для подальшої обробки та самонавчання. В поняття нейронних мереж вкладаються моделі, описані математичним способом, а також їх реалізації, що побудовані за правилами функціонування біологічних мереж та їх організації.

Машинне навчання - це підрозділ штучного інтелекту, що вивчає методи побудови алгоритмів, здатних навчатися. Першопрохідцем в цій області вважається фахівець з обчислювальної техніки з компанії IBM Артур Самуель, який написав в 1959 році комп'ютерну програму Checkers-playing для гри в шашки, яка вважається однією з перших самонавчальних програм в світі і є демонстрацією базових понять штучного інтелекту [2].

В даний час, машинне навчання застосовується в областях зазначених на рисунку 1.

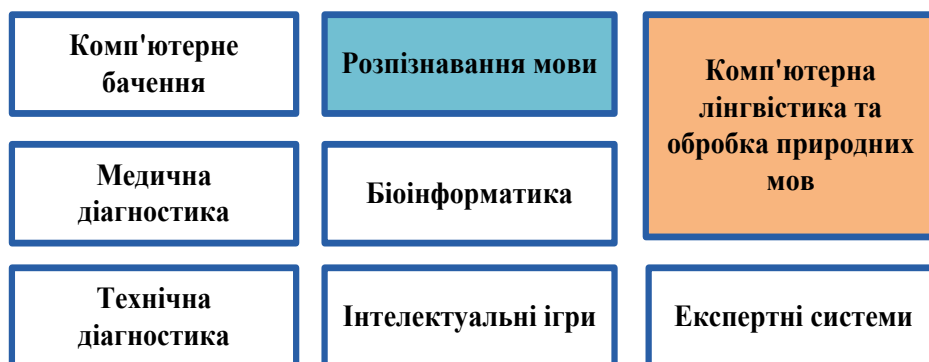


Рисунок 1 – Сфери застосування машинного навчання

Алгоритм навчання мережі прямого поширення називається зворотним поширенням помилки («back propagation»). Алгоритм був представлений в 1970, але основний розвиток отримав в 1986 р. [3].

Алгоритм складається з двох фаз:

1. Пряма фаза. На цій фазі ваги і зміщення нейронів залишаються невідомими. На вхід мережі подаються сигнали і зчитується результат. Потім обчислюється сумарна помилка за різницею очікуваного результату на виході. Як приклад для сумарної помилки часто застосовується середньоквадратичне відхилення [4].

2. Зворотна фаза. Сумарна помилка представляє функцію багатьох змінних, де змінні – це параметри мережі. Обчислення градієнта цієї функції покаже напрямок зростання функції помилки, отже, завдання навчання мережі зводиться до мінімізації функції помилки.

Техніка «back propagation» полягає в обчисленні градієнта і помилки на кожному шарі нейронної мережі. Для навчання мережі необхідно повторювати процес зворотного поширення помилки кілька разів. Існує кілька режимів обчислення помилки [5]:

- online mode: обчислення помилки відбувається для кожного зразка;

- batch mode: кілька зразків проходять пряму фазу, потім обчислюються нові параметри;
- full-batch: використовуються всі навчальні зразки;
- mini-batch: всі зразки розбиваються на групи.

У даній роботі застосовується метод навчання з учителем.

В останні кілька років ми спостерігаємо вибух інтересу до нейронних мереж, які успішно застосовуються в різних областях: бізнесі, медицині, техніці, геології, фізиці. Нейронні мережі увійшли в практику всюди, де потрібно вирішувати завдання прогнозування, класифікації або управління. Однак особливе місце вони посідають у процесі створення віртуальних помічників, з подальшим машинним навчанням та удосконаленням результатів. Таку зацікавленість розробників до даної задачі можна пояснити проблемою заміни дороговартісного утримання працівників більш дешевими програмами, продуктивність яких набагато вища ніж у людей. Було доведено [6], що нейронна мережа може апроксимувати будь-яку функцію. Цей процес називається лінійної регресією.

Одна з найскладніших речей в NLP – це підготовка даних. Для того, щоб нейронна мережа зрозуміла введений текст, слова повинні бути представлені як вектори.

У ролі вчителя нейронної мережі виступає набір даних (дата сет), по якому проводилось навчання і подальша генерація відповідей чат-ботом, був використаний корпус запитань та відповідей. З цього дата сету сформований словник для нейронної мережі. Словник буде оброблений через Word2Vec і сформована матриця ваг.

Нижче представлений результат формування словника (рисунок 2).

```
(venv) roma@roma-HP-ProBook-4535s:~/DIPLOMA/chatbot$ python run_train.py
Size of Vocabulary : 15897
Word embeddings: 20105
Number of words missing from CN: 567
Percent of words that are missing from vocabulary: 2.820 %
Total number of unique words: 15897
```

Рисунок 2 – Формування словника

З результатів видно, що:

- кількість слів, що важливі для контексту: 15897 (це і буде нашим словником);
- всього слів в Word2Vec: 20105;
- кількість слів, які не співпали з сетом Word2Vec: 567;
- відсоток від параметра, зазначеного вище від загального числа слів: 2.820%;
- загальна кількість унікальних слів: 15897.

На наступному етапі програма формує матрицю векторів слів (рисунок 3). Вектор кожного слова формується у 250 вимірів.

```
(venv) roma@roma-HP-ProBook-4535s:~/DIPLOMA/chatbot$ python run_train.py
[
[0.4578445 0.4511225 -0.4564548 ..., 0.1122354 -0.1547874 0.0554472]
[-0.0574175 -0.2336815 0.4427541 ..., 0.0172237 -0.4178941 0.0454545]
[0.4353755 0.0454545 -0.1222121 ..., 0.0100014 0.1455564 0.2404647]
...,
[0.2236891 -0.0684532 -0.1610332 ..., 0.1719013 0.1483761 0.1545497]
[0.0071415 0.1112325 -0.2547811 ..., 0.1124524 -0.0001254 0.0234999]
]
```

Рисунок 3 – Матриця векторів слів розмірністю 250

Від кількості вимірів буде залежати й якість відповідей чат-бота.

Було розглянуто випадкове представлення слів, а потім застосовано векторне представлення Word2Vec, що тестувалося на навчальному діалоговому корпусі. Також використано попередньо підготовлене вбудовування векторів GloVe для порівняння. При тестуванні попередньо навченого, навченого вбудовування в UDC та випадкового вбудовування, найкращим результатом є вбудоване загальне повзання.

Діаграма векторного представлення слів Word2Vec показана на рисунку 4. Як видно на діаграмі, подібні слова (наприклад, "дякую", "спасибі" та "ласка") вбудовуються близько один до одного.

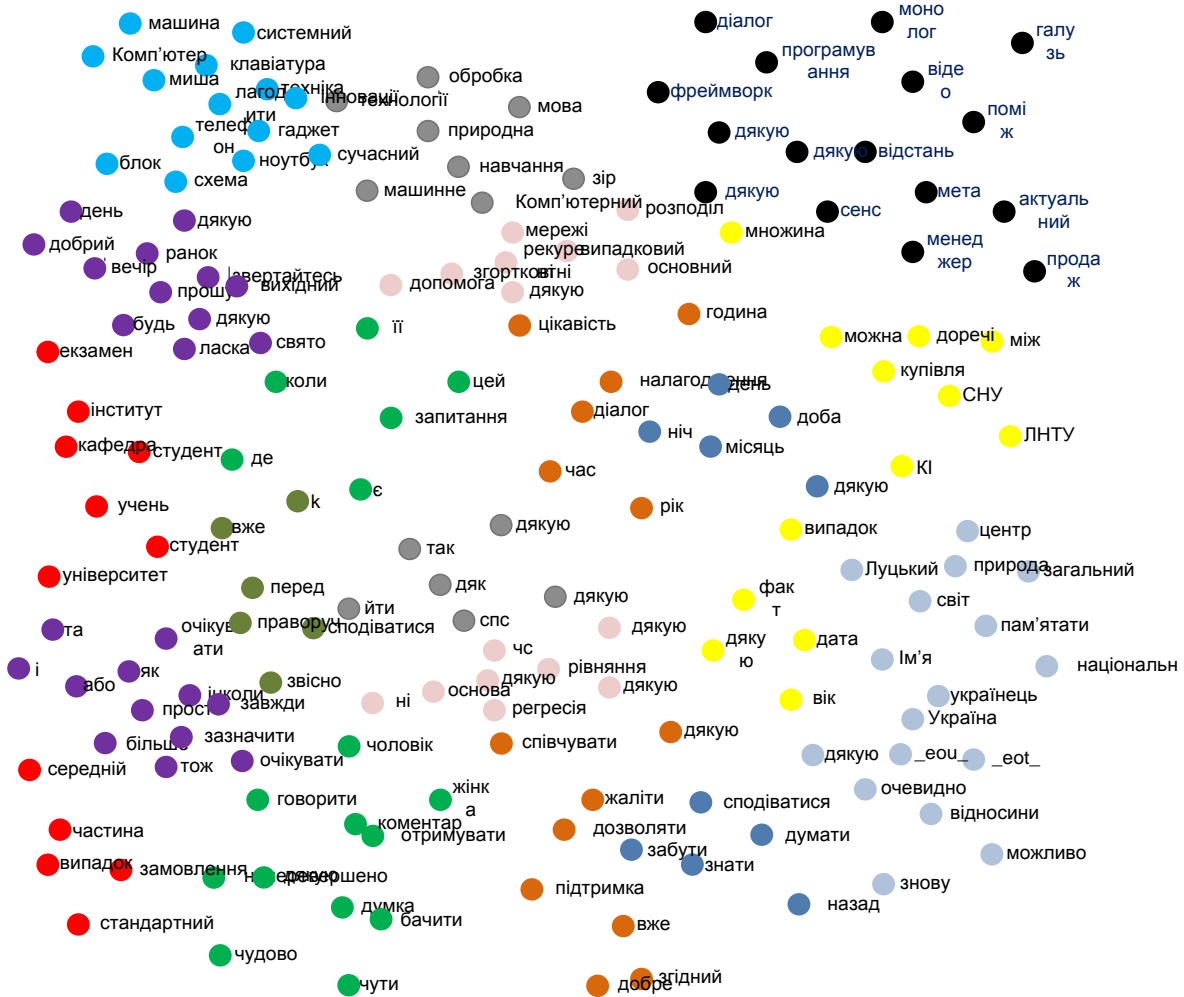


Рисунок 4 – Діаграма векторного представлення деяких слів, що часто зустрічаються

Графіки (рисунки 5,6) показують, що Word2Vec з методом CWOV та Skip-Gram точніше та швидше формують вектори слів, ніж схожі до нього методи. Це стає зрозуміло, тому що GloVe показує набагато кращі результати у своєму підході до представлення слів, коли середня довжина всіх вхідних речень більша, ніж та, яка використовується для даного чат-бота.

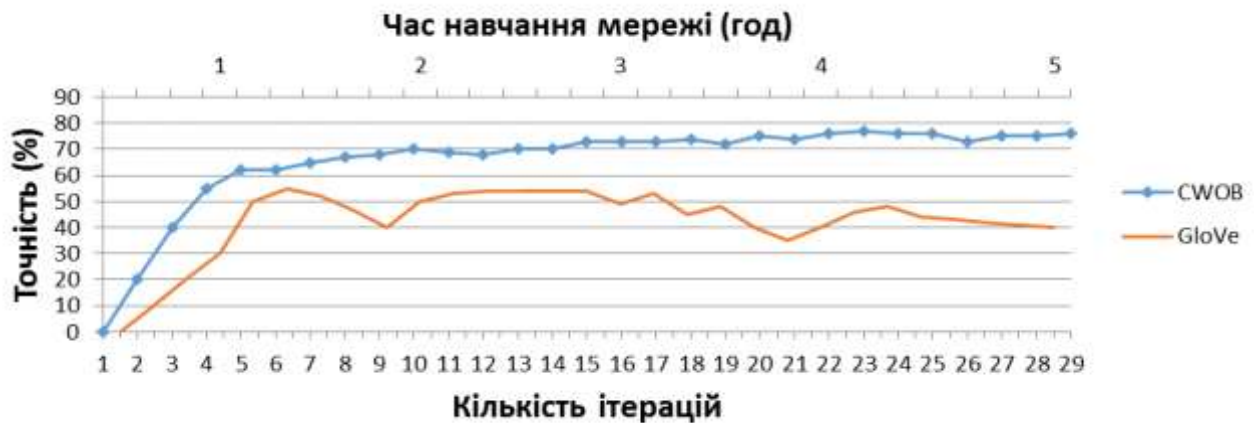


Рисунок 5 – Графік ефективності застосування Word2Vec та GloVe



Рисунок 6 – Графік ефективності застосування Skip-Gram та GloVe

В таблиці 1 наведено узагальнене порівняння алгоритмів, які були протестовані на наборі даних для перевірки.

Таблиця 1 – Порівняння характеристик моделі ВЕ на різних типах векторного представлення слів.

Назва	«Виклик1»	«Виклик2»	«Виклик3»
Random	41.7	61.1	87.8
Word2Vec (CVOB)	56.55	73.61	92.7
GloVe	52.3	71.1	90.3
Word2Vec (Skip-Gram)	56.55	73.61	92.7
Common Crawl	51.5	72.1	88.9

Для визначення ефективної архітектури нейронної мережі було порівняно модель Dual Encoder (DE) та Bi Encoder (BE). На відміну від BE (рисунок 7), модель DE має одну комірку LSTM, що кодує як питання, так і відповідь, тобто нейромережа нечутлива до типу даних (запитання, відповідь) та номеру входу, на який вхід ці дані подаються.

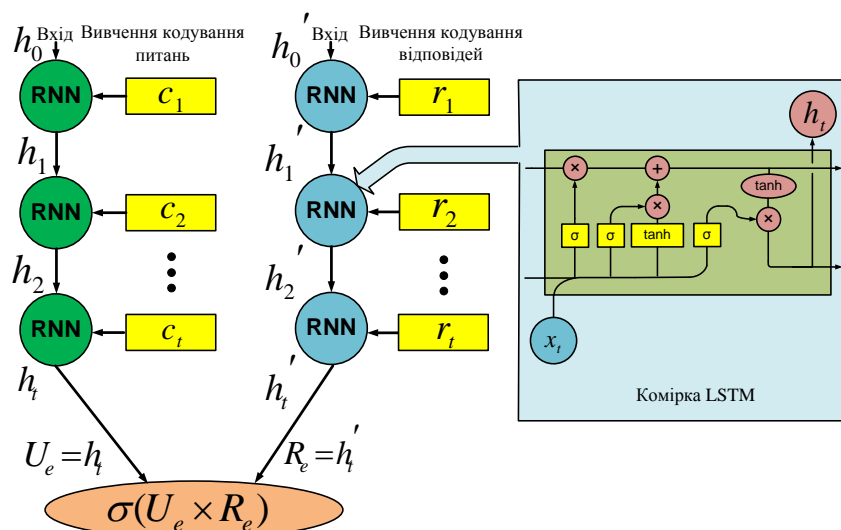


Рисунок 7 – Bi Encoder LSTM

Моделі навчалися на тисячі пар висловлювань та відповідей навчального набору та оцінювались на основі тестового набору. У таблиці 2 порівнюється ефективність різних моделей, заснованих на пошуку. Порівняно з базовою моделлю DE, запропонована модель BE досягає 1,8%, 2,6% та 1,27% вищої точності для «Виклик1», «Виклик2» та «Виклик3» відповідно. Зауважимо, що порівняно з відтвореною моделлю DE модель BE працює краще, ніж коли вона порівнюється з базовою моделлю. Здійснено порівняння між запропонованою моделлю BE і базовою моделлю DE, зокрема порівняно модель BE з регулярною RNN (BE-RNN) з моделлю DE з регулярною RNN (DE-RNN). Це порівняння показано в таблиці 2 із однаковими гіперпараметрами.

Таблиця 2 – Порівняння моделі BE з архітектурою RNN та моделі DE з RNN. Результати з точність % на наборі перевірки

Модель	Опис	«Виклик1» %	«Виклик2» %	«Виклик3» %
DE	Dual Encoder LSTM	54.2	71.09	91.43
BE	Bi Encoder LSTM	56.0	73.15	92.7
DE-RNN	Dual Encoder RNN	37.9	56.00	83.60
BE-RNN	Bi Encoder RNN	34.6	53.10	82.3

Проведені експерименти показали, що кращі результати отримуються з використанням Bi-Encoder LSTM.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Показано потенціал використання chat-bot на основі нейронних мереж для спілкування, консультації або інших видів надання допомоги користувачам.

Був згенерований власний дата-сет діалогів, що задовольняв поставлені вимоги, і на якому проводились всі експерименти та навчання, що налічує близько 4500 тисяч реплік. А також розглянуто і проаналізовано алгоритми та методи векторного представлення слів для машинного навчання нейронної мережі. Визначено найефективніший спосіб подачі корпусу слів у нейронну мережу.

Представлено і досліджено навчання нової RNN-архітектури на основі LSTM та Bi Encoder за допомогою технології машинного навчання. Дана мережа може оцінити набір заздалегідь визначених відповідей.

Досліджено і показано, що нейронна мережа генерує правильну відповідь в середньому у 92,7%, 73,15% та 56,0% у «Виклику 1», «Виклику 2» та «Виклику 3» відповідно, що перевищує точність моделі, яка була використана в якості стандартної. Оскільки створений набір даних відповідає всім вимогам, можна продовжувати подальшу роботу з вивчення моделі BE зі втратою

рангу, поступово розширюючи дата-сет українських діалогів. Досліджувана архітектура може бути розширена на більш ієрархічні шари RNN, захоплюючи довший контекст.

В результаті проведення навчання моделі, було визначено, що для отримання якісних результатів при використанні рекурентних мереж LSTM Bi Encoder, потрібно затратити кілька десятків годин, на графічному процесорі Nvidia GTX GeForce 1070, також можна продовжувати цей процес і на звичайному CPU, проте це займе досить багато часу.

Також, проведено огляд та аналіз бібліотек машинного навчання, визначено найоптимальнішу для проведення даних експериментів. Підходи дослідженні ефективні, і володіють гнучкістю, що дозволяє їх масштабувати для різних застосувань.

В процесі розробки інтелектуального помічника, було протестовано можливість його правильного функціонування в невеликих групах. Таким чином, можна зробити висновок, що всі поставленні задачі виконуються, а мета дослідження досягнута.

Список бібліографічного опису

1. Паскану. Р. Про труднощі навчання періодичних нейронних мереж / Р. Паскану, Т. Міколов, Ю. Бенджо. / arXiv препринт, 1211.5063, 2012.
2. Дж. Куццола, Й. Йованович, Е. Багері та Д. Гасевич, "Еволюційна тонка настройка автоматизованих семантичних анотаційних систем", Експертні системи з додатками, 42, 2015, с. 6864-6877.
3. Рассел, Стюарт Дж.; Норвіг, Пітер (2003), Штучний інтелект: сучасний підхід (2-е видання), Верхнє сідло, річка Нью-Джерсі: Прентіс Холл, ISBN 0-13-790395-2, стор. 939.
4. Принципи нейродинаміки: рецептори та теорія механізмів мозку. - М.:, 1965. - 480 с.
5. Сінцзянь Ши; Чжуронг Чень; Хао Ван; Діт-Ян Єунг; Вай-Кін Вонг; Ван-чун Ву. Конволюційна мережа LSTM: підхід до машинного навчання для випадання атмосферних опадів. Праці 28-ї міжнародної конференції з нейронних систем обробки інформації: журнал. - 2015. - С. 802—810.
6. Барцев С.І., Гілев С.С., Охонін В.А., Принцип подвійності в організації адаптивних мереж обробки інформації, В: Динаміка хімічної та біологічної систем. - Новосибірськ: Наука, 1989. - С. 6-55.

References

1. Pascanu. R. On the difficulty of training recurrent neural networks / R. Pascanu, T. Mikolov, Y. Bengio. / arXiv preprint, 1211.5063, 2012.
2. J. Cuzzola, J. Jovanovic, E. Bagheri and D. Gasevic, "Evolutionary fine-tuning of automated semantic annotation systems", Expert Systems with Applications, 42, 2015, pp. 6864-6877.
3. Russell, Stuart J.; Norvig, Peter (2003), Artificial Intelligence: A Modern Approach (2nd ed.), Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, ISBN 0-13-790395-2, page 939.
4. Principles of Neurodynamic: Perceptrons and the Theory of Brain Mechanisms. — M.:, 1965. — 480 с.
5. Xingjian Shi; Zhouong Chen; Hao Wang; Dit-Yan Yeung; Wai-kin Wong; Wang-chun Woo. Convolutional LSTM Network: A Machine Learning Approach for Precipitation Nowcasting. Proceedings of the 28th International Conference on Neural Information Processing Systems : journal. — 2015. — P. 802—810.
6. Bartsev SI, Gilev SE, Okhonin VA, The principle of duality in the organization of adaptive information processing networks, In: Dynamics of chemical and biological systems. - Novosibirsk: Science, 1989. - P. 6-55.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-7

УДК: 004.852

М. М. Поліщук, С. М. Костючко, М. О. Христинець
Луцький національний технічний університет

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ НА ПРИКЛАДІ ЗАДАЧІ КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

М. М. Поліщук, С. М. Костючко, М. О. Христинець. Порівняння методів оптимізації нейронних мереж на прикладі задачі класифікації зображень. У статті проаналізовано існуючі методи оптимізації та типи розподілених обчислень для тренування нейронних мереж. На основі проведених експериментів досліджено доцільність використання даних методів для різних типів даних та архітектури нейронних мереж.

Ключові слова: нейронні мережі, стохастичний градієнтний спуск, методи оптимізації, тренування нейронних мереж, розподілені обчислення, асинхронний сервер

Н. Н. Полищук, С. М. Костючко, М. А. Христинец. Сравнение методов оптимизации нейронных сетей на примере задачи классификации изображений. В статье проанализированы существующие методы оптимизации и типы распределенных вычислений для тренировки нейронных сетей. На основе проведенных экспериментов исследованы целесообразность использования данных методов для различных типов данных и архитектуры нейронных сетей.

Ключевые слова: нейронные сети, стохастический градиентный спуск, методы оптимизации, тренировки нейронных сетей, распределенные вычисления, асинхронный сервер

M. Polishchuk, S. Kostyuchko, M. Khrystynets Comparison of neural network optimization methods using the image classification problem. The article analyzes existing optimization methods and types of distributed computing for neural network training. On the basis of the conducted experiments, it was investigated the feasibility of using these methods for different types of data and architecture of neural networks.

Keywords: neural networks, stochastic gradient descent, optimization methods, training of neural networks, distributed computing, asynchronous server

Вступ. Нові алгоритми, механізм або винаходи мають характерні риси, що відрізняють їх від застарілих або неперспективних аналогів. Для нейронних мереж також можна виділити основні особливості, які відмінні від традиційних алгоритмів розв'язування практичних і теоретичних завдань. Однією з головних особливостей нейромереж є те, що вони навчаються. Існують різні методи навчання (з учителем, без учителя, змішані), але всі вони засновані на вивченні прикладів з заданої бази даних. Здатністю до навчання нейронні мережі і відрізняються від традиційних алгоритмів, у яких є чіткий порядок обчислень, наявність формул та інше.

Ще однією особливістю нейронних мереж є можливість роботи з різними джерелами даних. Мережа може аналізувати дані різного походження в ході вирішення однієї задачі і на їх основі робити відповідні висновки. Крім того, якщо вхідні дані мають сторонню складову (так звані шуми), то в процесі навчання нейронна мережа вчиться відсіювати ці шуми і залишає тільки необхідне. Порівнюючи з традиційними алгоритмами розв'язання деяких завдань, можна сказати, що у випадку останніх, виникнення сторонніх даних в обчисленнях може привести до помилки всього алгоритму і як наслідок – до невірної кінцевого результату. При правильному навчанні нейромережі можна виявити ще одну важливу особливість, що при роботі з великими обсягами різноманітної інформації нейронна мережа може одночасно розв'язувати кілька завдань.

Постановка проблеми. Частота застосування технології штучних нейронних мереж в різних сферах життя суспільства і в науці, безсумнівно, зростає. Про це свідчать нововведення, які постійно впроваджуються в побут людей. Звичайно, не можна поки сказати, що нейронні мережі оточують нас всюди, але і зворотного також стверджувати не можна. Технології з застосуванням нейронних мереж активно використовуються в області інформаційних технологій. Нейронні мережі також активно використовуються для реалізації технологій розумного транспорту (Tesla, Uber, та інші). Обробкою отриманих даних займається спеціальний алгоритм, який з кожним днем удосконалюється, і, можливо, незабаром дана технологія буде повністю впроваджена в життя [1]. У сфері економіки нейронні мережі найчастіше використовуються для прогнозування цін, курсів валют, а також оптимізації торгівлі на ринку. Найбільш популярна бібліотека для нейромережевого аналізу даних Brain Marker [2], основна мета якої – розв'язання нетрадиційних задач, таких як біржові передбачення, моделювання різних ринкових ситуацій. В його основі лежить нейронна мережа (мережа Хопфілда), яка навчається на багатьох прикладах.

Популярність даної технології, безсумнівно, росте, як і кількість даних які потрібно обробляти, тому оптимізація процесу тренування глибоких нейронних мереж є дуже важливою для зменшення витрат і економії часу.

Мета і завдання дослідження. Проаналізувати та порівняти існуючі методи оптимізації нейронних мереж на різних типах нейромереж та даних, провести експерименти з розподіленим тренуванням нейромереж для дослідження ефективності методів тренування для одного вузла та для тренування на кластерах.

Аналіз попередніх досліджень. В алгоритмах машинного навчання зазвичай доводиться виконувати багато чисельних розрахунків. Як правило, мова йде про застосування методів, які ітеративно уточнюють розв'язки систем рівнянь, а не шукають його аналітично по формулі. Типові операції для таких розрахунків - оптимізація (знаходження мінімуму або максимуму деякої функції) і розв'язання системи лінійних рівнянь. Але навіть саме обчислення математичної функції за допомогою комп'ютера може виявитися важким завданням, якщо у вираз функції містить дійсні числа, які не можна точно задати в пам'яті скінченного розміру.

Фундаментальна складність виконання безперервних математичних операцій на цифровому комп'ютері полягає в тому, як зберегти нескінченно багато дійсних чисел за допомогою скінченного числа комбінацій бітів. Це означає, що майже для всіх дійсних чисел проводиться деяка апроксимація і, отже, виникає помилка округлення. Це може привести до того, що теоретично правильний алгоритм, при проектуванні якого не була передбачена мінімізація накопичення помилок округлення, на практиці не працює, тому важливо обрати оптимальний метод оптимізації, який найкраще підходить для даної задачі машинного навчання.

Алгоритми оптимізації, які використовуються для навчання глибоких нейронних мереж, відрізняються від традиційних алгоритмів оптимізації в декількох аспектах. Машинне навчання зазвичай працює не напряму. У більшості ситуацій оцінюється деяка міра якості процесу навчання P , яка розраховується на основі тестового набору. Тому оптимізація параметру P відбувається не на пряму. Під час тренування оцінюється інша функція вартості $J(\theta)$ і процес відслідковує при цьому покращення міри P .

Це дуже відрізняється від чистої оптимізації, де мінімізація функції вартості J і є кінцевою метою. Крім того, алгоритми оптимізації для навчання глибоких моделей зазвичай включають спеціалізації для конкретної структури цільових функцій.

Типову функцію вартості можна представити у вигляді середнього по тренувальному набору:

$$J(\theta) = E_{(x,y) \sim P_{data}} L(f(x; \theta), y) \quad (1)$$

де L – функція втрат розрахована на одному прикладі, $f(x; \theta)$ - передбачений результат для входу x , а P_{data} - емпіричний розподіл. У разі навчання з учителем y - асоційована з входом мітка.

Рівняння (1) визначає цільову функцію щодо навчального набору.

Найбільш розповсюджені методи оптимізації нейромереж для пришвидшення процесу тренування:

- оптимізація градієнтним методом;
- мінімізація емпіричного ризику;
- пакетні та міні-пакетні алгоритми оптимізації;
- стохастичний градієнтний спуск;
- імпульсний метод оптимізації;
- метод Нестерова;
- стратегії ініціалізації параметрів нейронної мережі;
- алгоритми оптимізації з адаптивною швидкістю навчання;
- наближені методи оптимізації другого порядку.

Виклад основного матеріалу.

Порівняння ефективності алгоритмів оптимізації

Для перевірки ефективності оптимізаторів було використано згорткову нейронну мережу для класифікації зображень на наборі даних CIFAR-10. Перевірено ефективність семи популярних алгоритми оптимізації на основі градієнтного спуску, що використовуються для навчання глибоких нейронних мереж:

- SGD;
- SGD з методом моментів;
- SGD з використанням методу Нестерова;
- RMSProp;
- Adam;
- Adagrad;
- Nadam.

Для тренування нейромереж було використано "Cifar-10" - датасет з 60 тис. зображень розміром 32 x 32 пікселя розподілених на 10 категорій. 50 тис. зображень використовувались для тренування і 10 тис. для тестування моделей.

Всі, описані вище, алгоритми оптимізації були використані під час тренування згорткової нейронної мережі, яка навчалась з однаковим набором гіперпараметрів. Тренування відбувалось впродовж 150 епох.

Нейронна мережа для перевірки ефективності оптимізаторів складається з трьох згорткових шарів з розміром фільтра 3x3 та активаціями ReLu, також після кожного згорткового шару додано MaxPooling для зменшення розмірності після операції згортки. Перед вихідним шаром нейромережі було додано Dropout для уникнення перенавчання. Загальна схема нейронної мережі представлена на рис. 1.

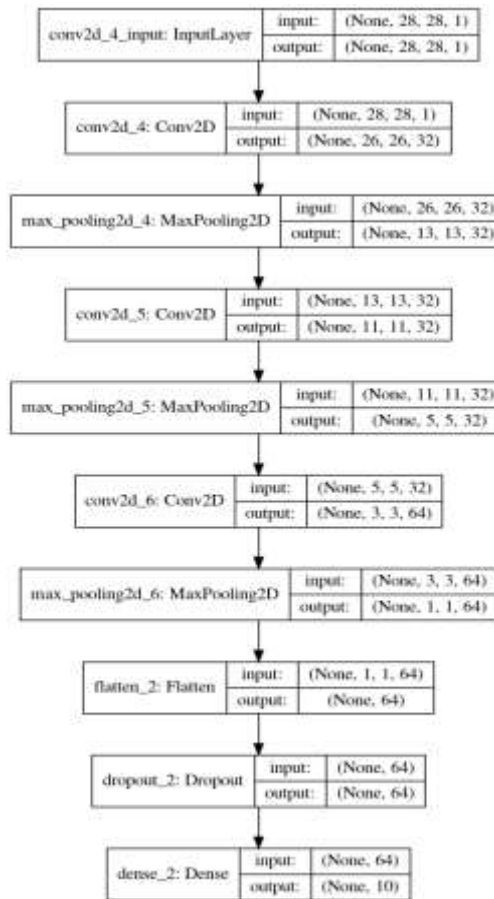


Рис. 1. Загальна структура нейронної мережі

Результати експериментів ефективності методів оптимізації нейронних мереж

На рисунках 2-8 представлені результати, отримані після проведення експериментів. За результатами Adam - найкращий оптимізатор з точки зору точності на тестовому наборі даних та значення функції втрат. Метод Nadam отримав майже аналогічні результати в порівнянні з попереднім методом. RMSProp на тестовому наборі показав точність приблизно 80%. Всі інші методи показали значно гірші результати навчання. Варто відзначити покращення, виявлене для методів AdaGrad та SGD з методом моментів (~40% точності) порівняно з SGD (30%), SGD Nesterov (~25%). Для конвергенції моделей необхідно було 140 епох тренування і в середньому 1,5 години для всіх оптимізаторів.

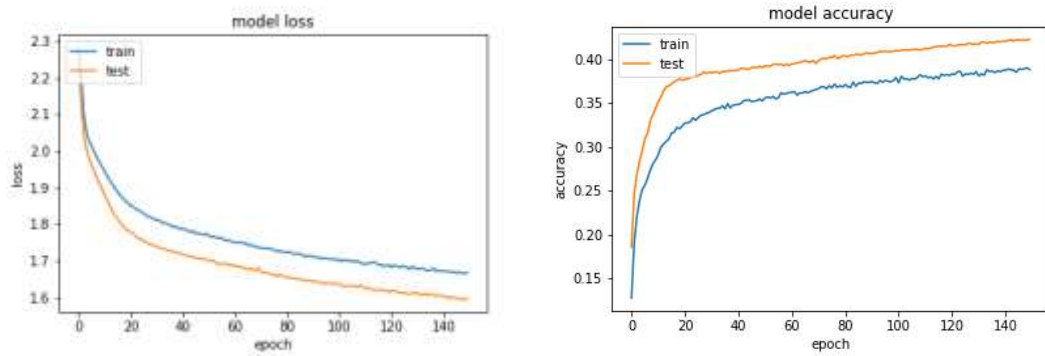


Рис. 2. Графіки результатів тренування нейронної мережі з використанням оптимізатора AdaGrad

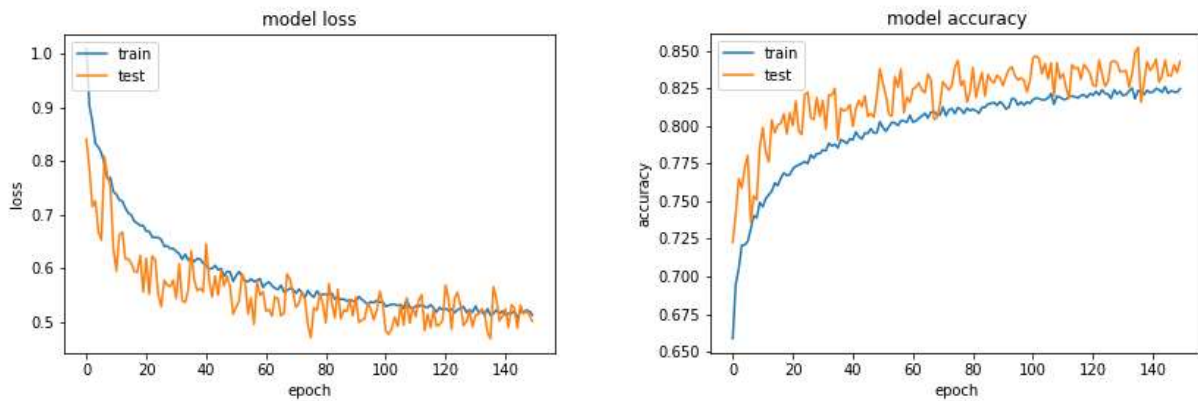


Рис. 3. Графіки результатів тренування нейронної мережі з використанням оптимізатора Adam

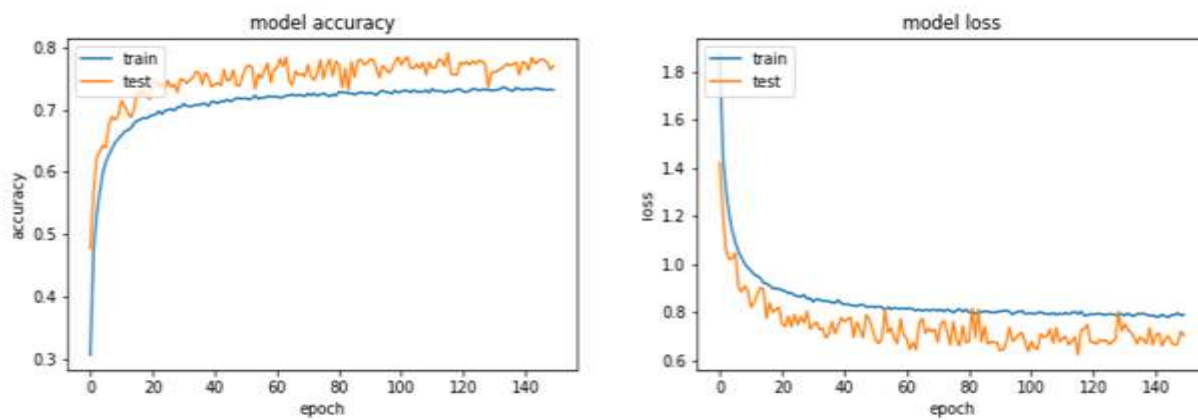


Рис. 4. Графіки результатів тренування нейронної мережі з використанням оптимізатора Nadam

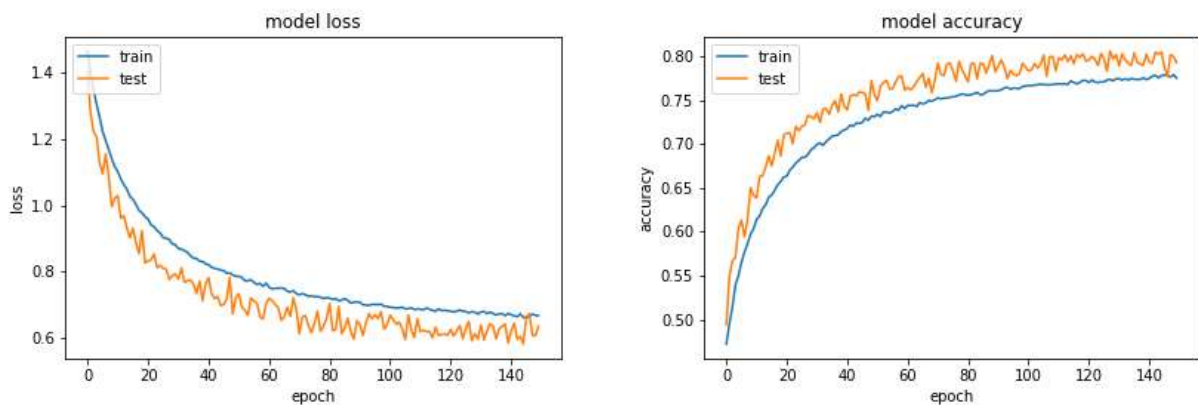


Рис. 5. Графіки результатів тренування нейронної мережі з використанням оптимізатора RMSProp

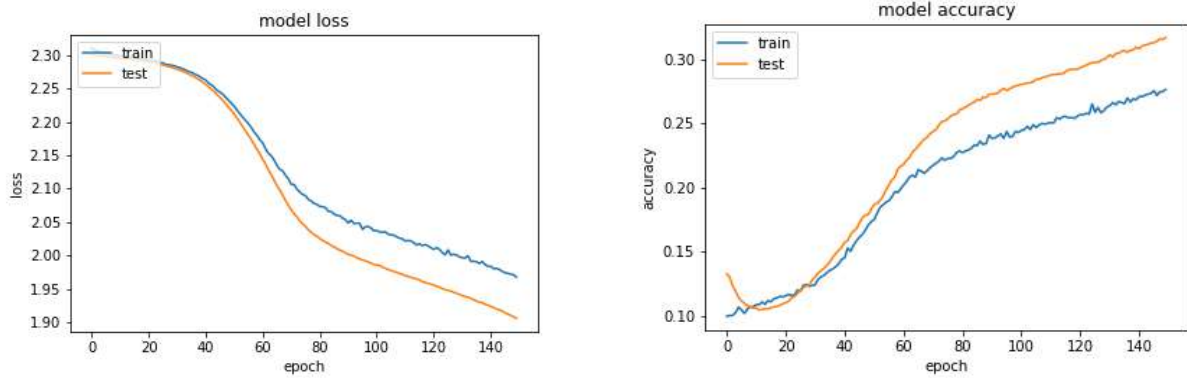


Рис. 6. Графіки результатів тренування нейронної мережі з використанням оптимізатора SGD

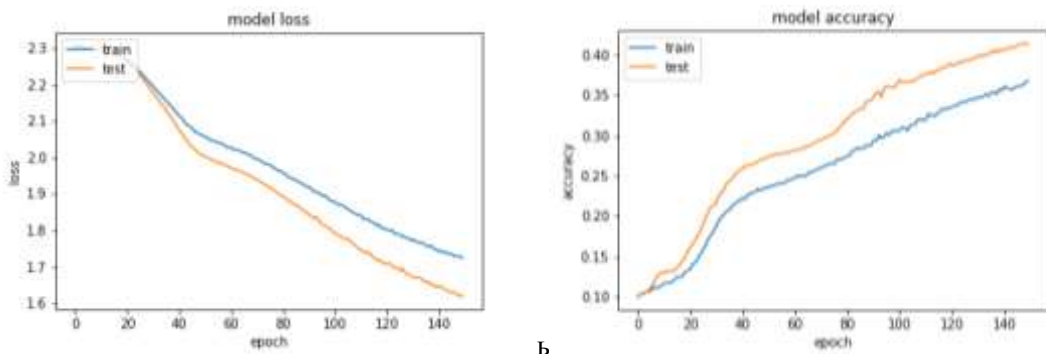


Рис. 7. Графіки результатів тренування нейронної мережі з використанням оптимізатора SGD з використанням методу моментів

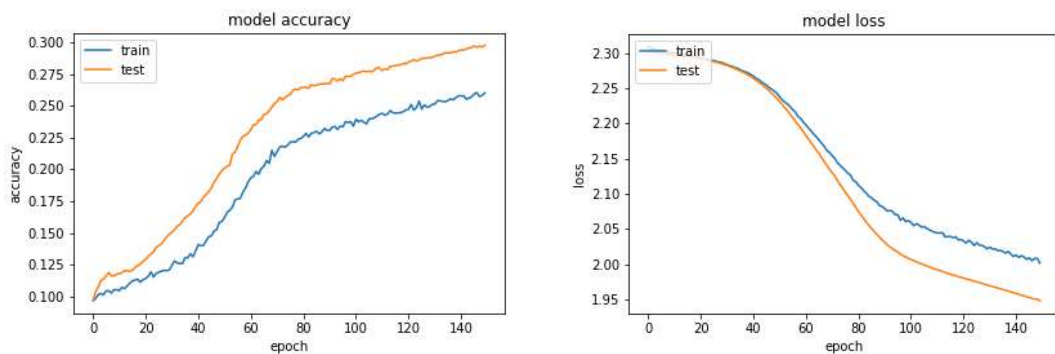


Рис. 8. Графіки результатів тренування нейронної мережі з використанням оптимізатора SGD з використанням методу Нестерова

У даному експерименті було проведено порівняльний аналіз семи алгоритмів оптимізації за допомогою простої архітектури згорткової нейронної мережі для класифікації зображень. Результати показують, що продуктивність кожного оптимізатора відрізнялася під час тренування, що підтверджує вплив типу та розміру даних на продуктивність різних оптимізаторів. На основі декількох проведених експериментів можна зробити висновок, що оптимізатори Adam та Nadam демонструють більш досконалі та надійні показники точності та значення функції втрат, в порівнянні з іншими методами оптимізації. Це можна пояснити тим, що дані методи поєднують в собі найкращі сторони прискореного градієнта Нестерова (NAG) та адаптивного оцінювання градієнта (Adam).

Для аналізу ефективності різних розподілених методів тренування нейронних мереж було використано декілька популярних архітектур глибоких моделей: InceptionV4 [3], ResNet50 [4], VGG19[5], ResNet152[4] та VGG16 [5]. Під час проведення експериментів було використано синтетичний набір даних ImageNet[6] для оцінки продуктивності методів без впливу затримки зв'язку в мережі. Синтетичні набори даних - це випадкові згенеровані значення пікселів, які відповідають розмірам реальних даних (256×256 для ImageNet). Використання синтетичних наборів даних дозволяє перевірити обчислювальну продуктивність та нівелювати комунікаційні витрати \ читання запису з диска.

Моделі, які використовувались для експериментів, є реалізацією оригінальних архітектур за допомогою TensorFlow [7]. Моделі були вибрано для представлення різних архітектур та кількості параметрів. Моделі та їх відповідна кількість параметрів, кількість операцій за секунду, та точність розпізнавання наведена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Моделі, використані для проведення експериментів

Архітектура	Кількість параметрів (млн.)	Кількість операцій в секунду (GFLOPS)	Точність розпізнавання для ImageNet (%)
VGG16	138	30.9	90.0
VGG19	143	39	92.7
ResNet50	25	10	92.9
Inception4	65	20	95.0

Для проведення досліджень було використано кластер AWS p2.16xlarge який складається з:

- 16x відеокарт NVIDIA K80 12GB
- Процесор Intel Xeon E5-2686 v4 (2.3 ГГц)
- 732 ГБ ОЗП

Тренування відбувалось на базі операційної системи Ubuntu 16.04 з використанням наступного програмного забезпечення:

- Open MPI: version 3.0.1
- CUDA Toolkit: version 9.0
- NCCL: version 2.1.15
- cuDNN: version 7.1
- python: 3.6
- Horovod: 0.18.0
- TensorFlow: 1.12

Експерименти проводилися за допомогою тестів TensorFlow benchmarks [7]. В таблиці 2 описано параметри тренувального процесу для кожного з типів розподілених обчислень.

Таблиця 2 – Параметри проведення експерименту

Параметри	Tensorflow Distributed (сервер параметрів)		Horovod
	Синхронний	Асинхронний	
К-ть процесів для формування даних	2-10	2-10	2-20
Розмір міні-пакетів (batch size) для кожного з паралельних процесів	32	32	32
Тип даних	синтетичні	синтетичні	синтетичні
К-ть ітерацій навчання	500	500	500

Результати дослідження продуктивності методів розподіленого тренування нейронних мереж. Сервер параметрів з синхронним оновленням параметрів вимагає від усіх процесів оновлення глобальної моделі, перш ніж градієнти можуть бути передані процесам. В експериментах із синхронним оновленням сервера параметрів оцінювався ефект пливу пропускної здатності мережі на загальний процес тренування. На рис. 9 показані результати в зображеннях на секунду, оброблені різними моделями з використання синхронного сервера параметрів.

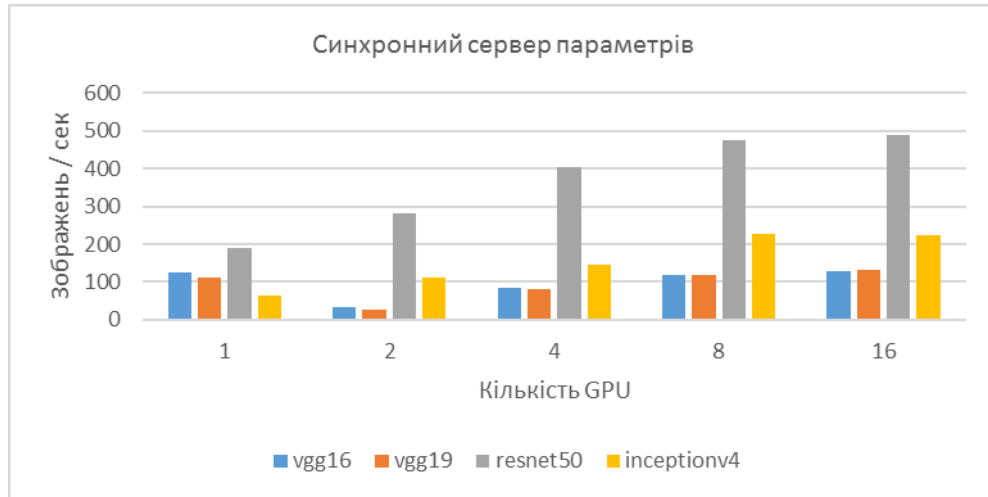


Рис. 9. Результати тренування синхронного сервера параметрів

На рис. 10 представлено результати, оброблені моделями з використанням сервера параметрів в режимі асинхронного оновлення градієнтів. Режим асинхронного оновлення не показав значного покращення продуктивності у порівнянні з синхронним оновленням параметрів.

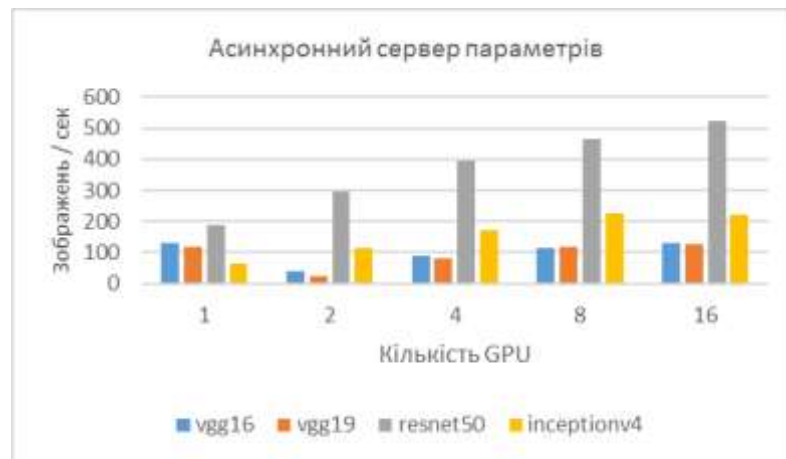


Рис. 10. Результати тренування асинхронного сервера параметрів

Результати експериментів Ring All-reduce (Horovod) показані на рис. 11. Усі моделі, крім vgg16, демонструють вдосконалення з кожним доданим процесом. Хоча, кількість зображень які обробляються за секунду, для такої ж кількості процесів, є майже вдвічі більшою порівняно з сервером параметрів.

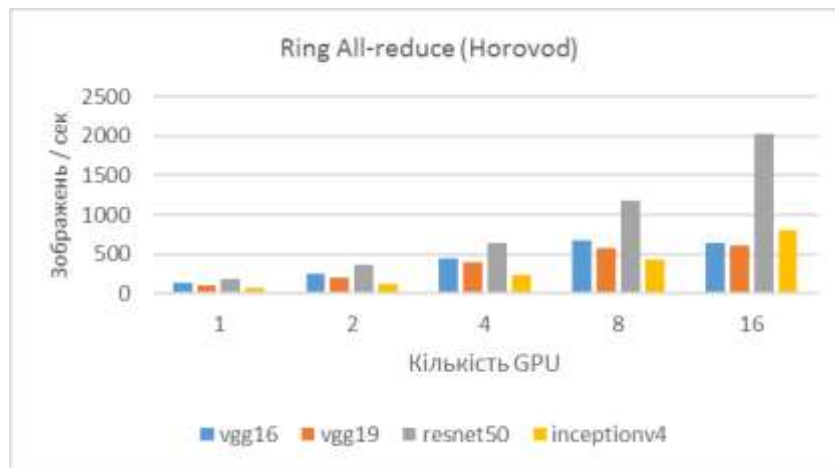


Рис. 11. Результати тренування методом Ring All-reduce

Масштабованість методів розподіленого тренування – це один важливий фактор для розподіленого тренування. Масштабованість – коефіцієнт збільшення кількості зображень оброблених за секунду, кожним доданим обчислювальним ресурсом (GPU). На рис. 12 показано швидкість роботи в режимі синхронного сервера параметрів порівняно з ідеальним масштабуванням (зелений графік). На рис. 13, представлено масштабованість тренування за допомогою сервера параметрів із асинхронним оновленням. Результати експериментів Ring All-reduce (Horovod) представлено на рис. 14.

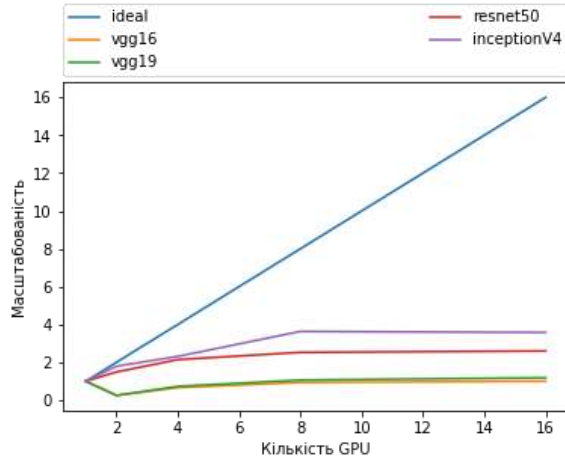


Рис. 12. Результати оцінки масштабованості розподіленого тренування синхронного сервера параметрів.

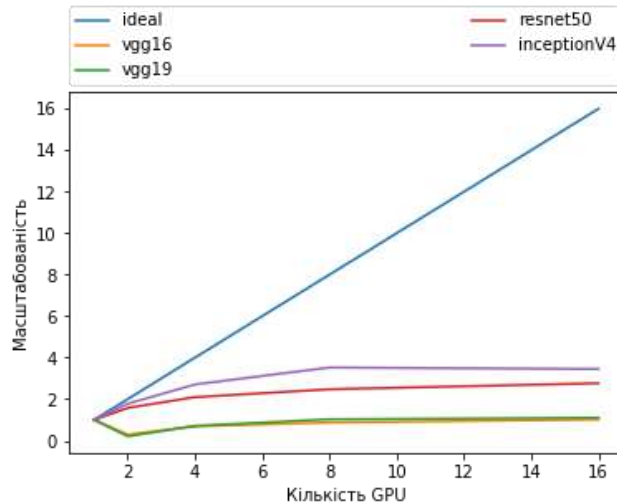


Рис. 13. Результати оцінки масштабованості розподіленого тренування асинхронного сервера параметрів

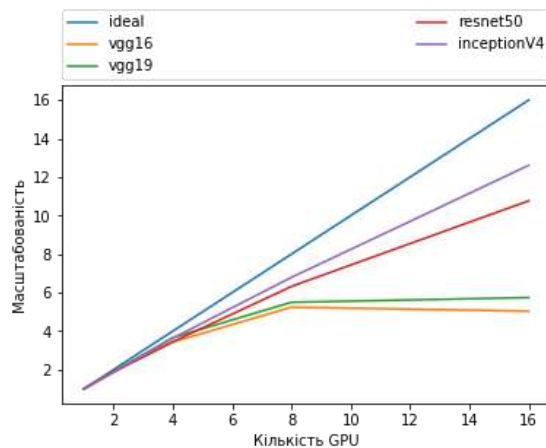


Рис. 14. Результати оцінки масштабованості розподіленого тренування з використанням Ring All-reduce (Horovod)

Ефективність серверів параметрів є не дуже великою, як це можна побачити на рисунках 4 та 5, це пояснюється необхідністю передавати кожному процесу додаткові дані на сервер параметрів, що і уповільнює процес зі збільшенням кількості графічних процесорів.

З результатів, представлених вище, легко зробити висновок що Ring All-reduce (horovod) працює найкраще для всіх моделей. Синхронне та асинхронне оновлення сервера параметрів не показало значного прискорення продуктивності.

Однією з причин того що асинхронний сервер оновлення параметрів показує аналогічні результати що і синхронний, може бути той факт, що всі процеси були розпочаті одночасно і мали однакові обчислювальні ресурси. Таким чином, навіть без жодних обмежень синхронізації всі працівники завершують обрахунки і одночасно надсилаються оновлені дані на сервер параметрів.

Результати тренування Ring All-reduce показують, що даний метод майже лінійно масштабується на деяких моделях, але не має такого ж ефекту для великих моделей, таких як vgg16 та vgg19. Це показує, що для великих моделей навіть висока пропускна спроможність мережі 25Gb/s може бути недостатньою.

Висновки. Популярність технології глибоких нейронних мереж, безсумнівно росте, тому оптимізація процесу тренування глибоких нейронних мереж є дуже важливим завданням для зменшення витрат, економії часу та ресурсів.

Отже, розподілення глибокого навчання в більшості випадків покращило результативність проведених експериментів. Хоча між алгоритмами існує чітка різниця у продуктивності, не існує жодного способу, який би був кращий за інші результати у всіх аспектах. Ring All-reduce масштабується найкраще у всіх тестах, але сервер параметрів легше розгортати в кластерах, а сервер параметрів у режимі асинхронного оновлення є більш стійким до помилок, тому добре підходить для динамічного середовища. Вибір алгоритму розподіленого глибокого навчання повинен враховувати:

1. розмір моделі для навчання та кількість наявних ресурсів (наприклад: для тренування такої великої моделі, як vgg16, слід враховувати пропускну здатність мережі, швидкість шини PCIe та розміщення графічного процесора);
2. компроміс між масштабованістю та можливою відмовою системи.

На основі даних експериментів систематизовано та обґрунтовано оптимальні варіанти використання методів оптимізації під час тренування нейронних мереж. Результати тренування нейронних мереж показують що варіанти розподілення мають різну ефективність в залежності від архітектури нейронної мережі та параметрів системи тренування.

Список бібліографічного опису.

1. Вілсон, Д. Р. та Мартінес, Т. Р. (2003). Загальна неефективність пакетної підготовки для градієнтного спуску. Нейронні мережі, 16 (10), 1429–1451.
2. Рао, С. (1945). Інформація та точність, досяжна при оцінці статистичних параметрів. Вісник Математичного товариства Калькутти, 37, 81–89.
3. C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, Z. Wojna. "Переосмислення архітектури початків для комп'ютерного зору". В: CoRR abs / 1512.00567 (2015). arXiv: 1512.00567. URL: <http://arxiv.org/abs/1512.00567>.
4. К. Він, Х. Чжан, С. Рен та Дж. Сун. «Глибоке залишкове навчання для розпізнавання зображень». В: Ресурс обчислювальних досліджень abs / 1512.03385 (2015). arXiv: 1512.03385. URL: <http://arxiv.org/abs/1512.03385>.
5. К. Симонян та А. Зіссерман. "Дуже глибокі згортки для розпізнавання зображень великого масштабу". В: Ресурс обчислювальних досліджень abs / 1409.1556 (2014). arXiv: 1409.1556. URL: <http://arxiv.org/abs/1409.1556>. К. Симонян та А. Зіссерман. "Дуже глибокі згортки для розпізнавання зображень великого масштабу". В: Ресурс обчислювальних досліджень abs / 1409.1556 (2014). arXiv: 1409.1556. URL: <http://arxiv.org/abs/1409.1556>.
6. ImageNet [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.image-net.org/> (Дата звернення 25.10.19 р.).
7. Тезові показники Tensorflow. https://github.com/tensorflow/орієнтири/дерево/головний/сценарії/tf_cnn_benchmarks. 2018 рік.
8. Метод Коші та градієнта - math.uni-bielefeld.de/documenta/vol-ismp/40_lemarechal-claude.pdf
9. Рассел, С. Дж. і Норвіг, П. (2003). Штучний інтелект: сучасний підхід. Prentice Hall
10. Duchi, J., Hazan, E. and Singer, Y. (2011). Адаптивні субградієнтні методи онлайн-навчання та стохастичної оптимізації. Журнал досліджень машинного навчання.
11. Танг, Ю., Салаххутдінов, Р., і Гінтон, Г. (2012). Глибокі суміші факторних аналізаторів. переддрук arXiv arXiv: 1206.4635.
12. Кінгма, Д. і Ба, Дж. (2014). Адам: Метод стохастичної оптимізації. переддрук arXiv arXiv: 1412.6980

References.

1. Wilson, D. R. and Martinez, T. R. (2003). The general inefficiency of batch training for gradient descent learning. Neural Networks, 16(10), 1429–1451.
2. Rao, C. (1945). Information and the accuracy attainable in the estimation of statistical parameters. Bulletin of the Calcutta Mathematical Society, 37, 81–89.
3. C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna. "Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision". In: CoRR abs/1512.00567 (2015). arXiv: 1512.00567. URL: <http://arxiv.org/abs/1512.00567>.

4. K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. "Deep Residual Learning for Image Recognition". In: Computing Research Repository abs/1512.03385 (2015). arXiv: 1512.03385. URL: <http://arxiv.org/abs/1512.03385>.
5. K. Simonyan and A. Zisserman. "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition". In: Computing Research Repository abs/1409.1556 (2014). arXiv: 1409.1556. URL: <http://arxiv.org/abs/1409.1556>. K. Simonyan and A. Zisserman. "Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition". In: Computing Research Repository abs/1409.1556 (2014). arXiv: 1409.1556. URL: <http://arxiv.org/abs/1409.1556>.
6. ImageNet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.image-net.org/> (Дата звернення 25.10.19 р.).
7. Tensorflow benchmarks. https://github.com/tensorflow/benchmarks/tree/master/scripts/tf_cnn_benchmarks. 2018.
8. Cauchy and the Gradient Method- math.uni-bielefeld.de/documenta/vol-ismp/40_lemarechal-claude.pdf
9. Russel, S. J. and Norvig, P. (2003). Artificial Intelligence: a Modern Approach. Prentice Hall
10. Duchi, J., Hazan, E., and Singer, Y. (2011). Adaptive subgradient methods for online learning and stochastic optimization. Journal of Machine Learning Research.
11. Tang, Y., Salakhutdinov, R., and Hinton, G. (2012). Deep mixtures of factor analysers. arXiv preprint arXiv:1206.4635.
12. Kingma, D. and Ba, J. (2014). Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-8

УДК: 004.056.5

Терейковська Л.О., к.т.н., доц.

Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОД НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ КЛАВІАТУРНОГО ПОЧЕРКУ

Терейковська Л. О. Метод нейромережевого аналізу клавіатурного почерку. Стаття присвячена питанням вдосконалення засобів розпізнавання емоцій і аутентифікації користувачів інформаційно-управляючих систем. Обґрунтовано можливість впровадження в засоби розпізнавання сучасних нейромережевих рішень на базі згорткових нейронних мереж. Розроблено метод нейромережевого аналізу клавіатурного почерку, який за рахунок запропонованих принципів адаптації і процедури кодування параметрів клавіатурного почерку, дозволяє впровадити в засоби розпізнавання згорткову нейронну мережу, архітектура якої адаптована до очікуваних умов використання. Проведені експериментальні дослідження показали, що використання розробленого методу дозволяє забезпечити помилку розпізнавання емоцій і особи користувача на рівні кращих сучасних систем розпізнавання.

Ключові слова: розпізнавання емоцій, аутентифікація, клавіатурний почерк, згорткова нейронна мережа, вхідний параметр, метод розпізнавання.

Терейковская Л. А. Метод нейросетевого анализа клавиатурного почерка. Статья посвящена вопросам усовершенствования средств распознавания эмоций и личности пользователей информационно-управляющих систем. Обоснована возможность внедрения в средства распознавания современных нейросетевых решений на базе сверточных нейронных сетей. Разработан метод нейросетевого анализа клавиатурного почерка, который за счет предложенных принципов адаптации и процедуры кодирования параметров клавиатурного почерка, позволяет внедрить в средства распознавания сверточную нейронную сеть, архитектура которой адаптирована к ожидаемым условиям использования. Проведенные экспериментальные исследования показали, что использование разработанного метода позволяет обеспечить ошибку распознавания эмоций и личности пользователя на уровне лучших современных систем распознавания.

Ключевые слова: распознавание эмоций, аутентификация, клавиатурный почерк, сверточная нейронная сеть, входной параметр, метод распознавания.

Tereikovska L. A. Method of neural network analysis of keystroke dynamics. The article is devoted to the issues of improving the means of recognizing the emotions and personalities of users of information management systems. The possibility of introducing modern neural network solutions based on convolutional neural networks into the recognition tools has been substantiated. A method of neural network analysis of keyboard handwriting has been developed, which, due to the proposed adaptation principles and the procedure for coding keyboard handwriting parameters, allows the convolutional neural network, the architecture of which is adapted to the expected conditions of use, to be incorporated into recognition tools. Experimental studies have shown that the use of the developed method makes it possible to ensure error recognition of the user's emotions and personality at the level of the best modern recognition systems.

Keywords: emotion recognition, authentication, keystroke dynamics, convolutional neural network, input parameter, recognition method.

Постановка наукової проблеми. Однією із найбільш сучасних тенденцій розвитку інформаційно-управляючих систем (ІУС) різноманітного призначення є впровадження в них інтерфейсних засобів (ІЗ) на основі когнітивних технологій. Вважається, що саме за рахунок впровадження таких засобів можливо позитивно вплинути на ергономічність ІЗ, забезпечити надійність системи управління і в цілому підвищити продуктивність та захищеність ІУС. В зв'язку з цим все більш широке поширення отримують когнітивні технології на основі поведінкової біометрії операторів ІУС, тобто на основі унікальної поведінки і підсвідомих рухів оператора в процесі відтворення ним деяких дій. З позицій можливості застосування в якості сенсору зчитування біометричних параметрів стандартного периферійного обладнання, широкого використання в ІУС текстової пароліної та технологічної інформації, високої спорідненості з особою власника, складності підробки біометричної інформації, можливості проведення прихованого моніторингу в процесі професійної діяльності, широкі перспективи мають когнітивні технології на основі аналізу клавіатурного почерку (КП). Слід зазначити, що проблемою аналізу КП в різний час займалися такі вчені як А.І. Иванов, М.Н. Десятерик, В.В. Марченко, І. Г. Сідоркіна, О.Н. Савінов, Xiaofeng L., Shengfei Z., Shengwei Y. Однак в роботах вказаних вчених при аналізі КП акценти ставились на підвищення точності аутентифікації оператора ІУС як при вході в систему, так і в процесі взаємодії з ІС. Питання, пов'язані з визначенням емоційного стану оператора в більшості випадків були залишені поза увагою, оскільки сфера означених досліджень в основному стосується захисту інформації. Таким чином вдосконалення методології аналізу клавіатурного почерку для інтегрованого розпізнавання особи і емоційного стану оператора ІУС є актуальною науково-прикладною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як зазначено в роботах [1-3], під поняттям КП оператора ІУС будемо розуміти його індивідуальну біометричну поведінкову характеристику, що визначає особливості набору ним тексту з клавіатури. Вважається, що кожній людині властиві свої параметри КП, які описуються швидкістю і динамікою набору тексту, термінами переходів між декількома (двома та більше) клавішами та помилками при наборі. При використанні універсальних засобів клавіатурного вводу для визначення параметрів КП реєструються код натиснутої клавіші, символ, що відповідає цій клавіші, термін утримання клавіші (ТУК) та термін між послідовним натисненням різних клавіш (ТМК). В спеціалізованих системах клавіатурного вводу для цього ще можуть бути використані параметри, які характеризують тиск оператора на клавішу, та швидкість/прискорення натиснення. Надалі перед надходженням в модуль розпізнавання зазначені параметри підлягають фільтрації і первинній обробці, в процесі якої розраховуються деякі узагальнені параметри КП. Типова процедура фільтрації наведена в роботах [2, 10], полягає у застосуванні так званих частотних, часових та клавіатурних фільтрів. При цьому часові фільтри призначені для фільтрації довготривалих клавіатурних подій. Два інших - призначені для фільтрації подій, пов'язаних з клавішами, які рідко використовуються в процесі роботи. Описані фільтри можуть використовуватися як окремо, так і спільно.

Аналіз джерел [1-4, 6-10] дозволяє стверджувати, що на сьогодні не існує загальноприйнятої методології формування множини вхідних даних модуля розпізнавання КП. Однак спільною рисою більшості відомих підходів до розпізнавання КП є використання в якості вхідних даних відфільтрованих значень часу ЧУК часу між натисканням двох і трьох окремих клавіш. Також можна визначити залежність номенклатури вхідних даних від математичного забезпечення процесу розпізнавання, який зводиться до порівняння вхідної послідовності з еталоном КП певної емоції оператора ІУС. Через те, що параметри КП корелюються як з особою конкретного оператора ІУС, так і з його емоційним станом, завдання розпізнавання емоцій може вирішуватися спільно з завданням аутентифікації. Розрізняють два типи моделей розпізнавання: по заздалегідь визначеному фрагменту тексту і по фрагменту тексту довільного змісту. В обох випадках для визначення еталонів КП оператору ІУС необхідно кілька разів ввести один або кілька фрагментів одного і того ж тексту. Більшість відомих еталонів представляють собою статистичні моделі параметрів КП, що базуються наприклад на нормальному або бімодальному законах розподілу [2, 3]. У випадку необхідності аналізу КП на базі визначеного текстового фрагмента основу еталонів, як правило, становлять показники ЧУК і ЧМК, що стосуються послідовного порядку натискання клавіш. При розпізнаванні на основі фрагменту тексту довільного змісту еталони, в своїй більшості, формуються на основі статистичних показників ЧУК та ЧМК окремих стійких послідовностей подій клавіатури, що відображають особливості динаміки набору тексту окремого оператора. Разом з тим, в роботах [4-7] на основі експериментальних досліджень доведена незадовільна адаптованість статистичних моделей до зміни емоційного стану оператора та складності їх формування у випадку аналізу фрагменту тексту довільного змісту. Також показано, що складність задачі аналізу КП пояснюється необхідністю аналізу достатньо великих обсягів багатовимірних даних. При цьому, в роботах [1, 11] доводиться, що як раз з точки зору доведеної ефективності аналізу багатовимірних даних, перспективним напрямком вдосконалення систем аналізу КП є застосування нейромережних моделей (НММ). Однак разом з позитивними результатами застосування НММ, відзначається їх обмеженість, пов'язана з труднощами формування номенклатури вхідних параметрів та визначенням архітектурних параметрів у випадку необхідності аналізу КП при вводі довільного тексту. Крім того можна відзначити застарілість використаних НММ типу багаточаровий перцептрон, ймовірнісної нейронної мережі, карти Кохонена, мережі Хопфілда, мережі РБФ та повнозв'язних глибоких нейронних мереж з прямим розповсюдженням сигналу [1, 3, 6, 10]. Також варто відзначити можливість аналізу КП за допомогою НММ типу LSTM [12], яка дозволяє обробляти тексти довільної довжини. Однак побудова такої НММ пов'язана із складністю формування навчальної вибірки. В той же час, базуючись на методах розробки нейромережних засобів захисту інформації, можна припустити доцільність використання для аналізу КП згорткових нейронних мереж (CNN). Так в роботах [8, 12] запропонований спосіб перетворення даних про натискання клавіш в зображення для подальшого використання в CNN з метою аутентифікації користувачів. Відзначається можливість досягнути на текстах фіксованої довжини точності розпізнавання КП 96,8%. Схожі результати отримані також в роботі [9], в яких CNN використані для аналізу КП з метою підвищення стійкості паролного захисту користувачів. Разом з тим в роботах [8, 9, 12] недостатньо повно висвітлені питання розробки методу застосування CNN для аналізу клавіатурного

почерку з метою визначення особи та емоційного стану оператора ІУС. Крім того не знайдено опису процедури кодування параметрів КП до виду придатного для застосування в CNN.

Мета дослідження. Розробка методу нейромережевого аналізу клавіатурного почерку, що за рахунок застосування згорткової нейронної дозволить забезпечити ефективне розпізнавання емоцій і особи оператора інформаційно-управляючих систем.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. В основу розробки методу нейромережевого аналізу КП була покладена методологія [5, 11] розробки нейромережевих засобів захисту інформації. Відповідно до вказаної методології перший етап методу повинен співвідноситись із формуванням множини вхідних параметрів НММ, що з урахуванням наведених результатів літературного огляду передбачає розробку процедури кодування параметрів КП. Особливістю класичного варіанту CNN є необхідність подання вхідної інформації у вигляді квадратного кольорового зображення. Зазначена особливість накладає істотне обмеження на використання CNN - можливість аналізу КП на текстових фрагментах з фіксованою кількістю символів. При цьому загальна постановка задачі розпізнавання емоцій та особи оператора ІУС передбачає необхідність аналізу як заздалегідь визначеного фрагмента тексту, так і фрагмента тексту довільного змісту. Перший випадок можна відповісти з моніторингом емоційного стану оператора при введенні їм пральних даних. Другий випадок відповідає розпізнаванню особи/емоційного стану оператора при введенні ним з клавіатури текстової інформації в процесі функціонування ІУС. Результати [1, 4] дозволяють стверджувати, що такий моніторинг можливо здійснити за рахунок аналізу КП при введенні тексту фіксованої довжини навіть. Таким чином, наведене обмеження по фіксованій кількості символів практично не робить негативного впливу на функціональність системи розпізнавання. У першому випадку кількість символів в парольних даних і так є фіксованою величиною. У другому випадку обсяг фрагмента тексту довільного змісту, що підлягає аналізу, обмежується заздалегідь визначеною кількістю символів.

Розглянемо процедуру кодування параметрів КП по аналогії з кодуванням кольорового квадратного зображення. В базовому варіанті пропонується вісь ординат співвіднести з розкладкою клавіатури - ASCII-кодами клавіш або символами, що відповідають клавішам. В подальшому вісь абсцис можна співвіднести з кодами клавіш в стандарті Unicode. Ось абсцис пропонується співвіднести з введенням текстом. Таким чином, однією окремою точкою зображення буде відповідати окремий символ введеного тексту. По осі абсцис координата закодованого символу відповідає позиції (номером) даного символу в тексті. Координата по осі ординат відповідає позиції символу на клавіатурі/ASCII-коду попереднього символу в тексті. При цьому вважається, що перший символ на клавіатурі відповідає символу пробілу. У випадку, коли кількість символів тексту буде більше, ніж кількість символів на клавіатурі/ASCII-кодів, то для збереження квадратної форми малюнок зверху по осі ординат доповнюється рядками, які відповідають символу пробілу. Якщо ж кількість символів тексту менше кількості символів на клавіатурі, то для збереження форми рисунок справа доповнюється стовпцями з символами пробілу. Ілюстрацією запропонованої процедури кодування є рис. 1, на якому фрагментарно показано зображення закодованого тексту «привіт». Для спрощення демонстрації при кодуванні прийнято припущення про необхідність аналізу тексту, який складається виключно з малих літер українського алфавіту і символу пробілу. На даному рисунку сірим кольором виділені допоміжні фрагменти, на яких по осі ординат відображаються символ/номер символу на клавіатурі і номер символу/символ закодованого тексту. Для наочності окремі точки зображення відокремлюються прямими лініями. Кожна точка зображення, що відповідає закодованому значенню символу тексту, характеризується трьома цифрами, записаними у відповідній клітинці. Перша цифра - це ASCII-код введеного символу, друга цифра відповідає ЧУК, а третя цифра - ЧМК. Таким чином в процедурі кодування КП використовується аналогія з кодуванням кольорового зображення з трьохканальним растром. Наприклад, символу «р» відповідає точка зображення, що знаходиться на перетині стовпчика позначеного символом «р» з рядком позначеним символом «п». У відповідній клітинці представлені значення 240 (ASCII-код), 255 (ЧУК) та 26 (ЧМК).

Розрахунок параметрів ЧУК та ЧМК реалізовано за допомогою наступних виразів:

$$y_r(i) = t_d(i) - t_u(i), \quad (1)$$

$$y_b(i, i+1) = t_d(i) - t_d(i+1), \quad (2)$$

де y_r - час утримання клавіші, t_d - час натиснення клавіші, t_u - час відпускання клавіші, y_b - час між послідовними натисненнями двох клавіш, i - номер натиснення клавіші при вводиті тексту.

и	34					
ю	33					
ь	32					
щ	31					
ш	30					
ч	29					
ц	28					
х	27					
ф	26					
у	25					
т	24					
е	23					
р	22		232;91;25			
п	21	240;93;32				
о	20					
н	19					
м	18					
л	17					
к	16					
й	15					
ї	14					
і	13				242;104;30	
и	12		226;274;35			
з	11					
ж	10					
є	9					
е	8					
д	7					
г	6					
ґ	5					
в	4			179;106;27		
б	3					
а	2					
1	239;105;54					
	1	2	3	4	5	6
	п	р	и	в	і	т

Рис. 1. Відображення слова «привіт», закодованого з використанням ASCII-коду введеного символу, ЧУК та ЧМК у вигляді зображення з трьохканальним растром

Зауважимо складність використання t_d і t_u , яка пояснюється необхідністю їх реєстрації в універсальних комп'ютерних системах з точністю до мілісекунди. Тому, відповідно до рекомендацій [2, 3], розроблена Windows-орієнтована програма KeyboardProgram, що дозволяє реєструвати значення t_d і t_u з помилкою, яка дорівнює тривалості 50 тактів процесора. Для прикладу на рис. 2 і рис. 3 показані гістограми значень ЧУК і ЧМК для тексту «привіт всім», введення якого реєструвалось за допомогою зазначеної програми.

Використання даної програми дозволило встановити, що значення ЧУК і ЧМК не перевищують 500 мс. ЧУК і ЧМК, що перевищують цю величину, повинні бути відфільтровані. Слід відзначити значну залежність ЧУК і ЧМК від типу клавіатури. Так, за даними [6, 8], на клавіатурі з коротким ходом клавіш (клавіатура ноутбука) в середньому $y_r=100$ мс, $y_d=150$, а для клавіатури з довгим ходом клавіш (стандартна клавіатура) $y_r=150$ мс, $y_d=200$ мс. Величини y_r і y_d , отримані в процесі даного дослідження, приблизно в 1,5-2 рази менші. Тому нормалізація ЧУК і ЧМК до середніх значень може спричинити помилки, пов'язані з характеристиками використовуваної клавіатури. Таким чином, на вхід в CNN доцільно подавати відфільтровані абсолютні значення ЧУК і ЧМК. Введений символ в першому наближенні пропонується представити у вигляді числа, що відповідає ASCII-коду. Результат кодування в числовому вигляді являє собою багатовимірну матрицю, глибина якої дорівнює кількості параметрів, що використовуються при аналізі КП.

Розробка наведеної процедури дозволила перейти до формування наступних етапів методу побудови CNN, що згідно з результатами [5, 11] повинні співвідноситись із адаптацією параметрів НММ до умов поставленої задачі розпізнавання. В основу адаптації покладено групу принципів:

Принцип 1. Кількість шарів згортки має дорівнювати кількості рівнів розпізнавання двомірного зображення середньостатистичним користувачем.

Принцип 2. Кількість карт ознак у n-му шарі згортки має дорівнювати кількості ознак на n-му рівні розпізнавання.

Принцип 3. Карта ознак в n-го шару, відповідна j-ій ознаці розпізнавання зв'язується тільки з тими картами ознак попереднього шару, які використовуються для побудови зазначеної фігури.

Принцип 4. Розмір ядра згортки для n-го шару згортки повинен дорівнювати розміру ознак розпізнавання на n-му ієрархічному рівні.

Інтеграція загальноприйнятої методології побудови нейромережових систем розпізнавання [1, 5, 11, 12], сформованих принципів адаптації параметрів CNN та запропонованої процедури кодування

вхідних параметрів дозволила запропонувати метод нейромережевого аналізу КП, реалізація якого передбачає виконання 9 етапів.

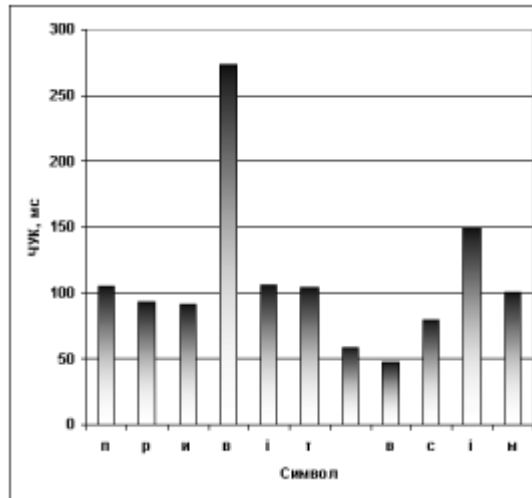


Рис 2. Гістограма значень ЧУК для тексту «привіт всім»

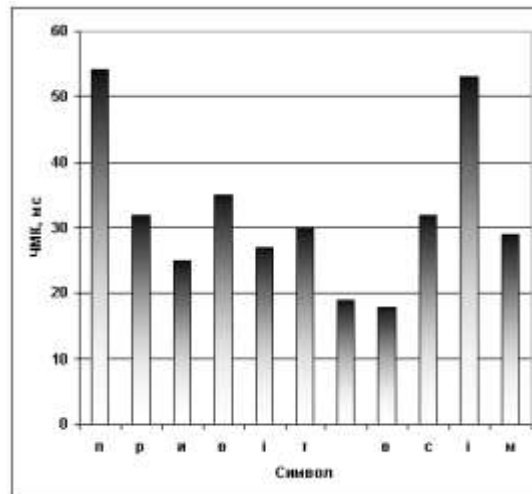


Рис. 3. Гістограма значень ЧМК для тексту «привіт всім»

Етап 1. Визначити множину вхідних параметрів НММ, що зводиться до реалізації описаної процедури кодування параметрів КП. При цьому слід задати кількість символів тексту при вводі якого будуть реєструватись параметри КП.

Етап 2. Визначити множину емоцій та множину легітимних операторів, елементи яких будуть відповідати вихідним нейронам мережі. Таким чином, кількість вихідних нейронів дорівнює сумі потужностей цих множин.

Етап 3. Базуючись на першому і другому принципах адаптації визначити кількість шарів згортки і кількість карт ознак в кожному шарі згортки.

Етап 4. Базуючись на третьому принципі визначити структуру зв'язків між сусідніми картами ознак.

Етап 5. Виходячи з вимог точності і ресурсоемності розпізнавання визначити наявність і параметри шарів субдискретизації.

Етап 6. Базуючись на четвертому принципі, з урахуванням необхідності згортки зображення до вектору ознак визначити розмір ядра згортки і кроку його зміщення для кожного рівня розпізнавання.

Етап 7. Базуючись на методі визначення кількості схованих нейронів в багат шаровому перцептроні [9], визначити кількість нейронів в повнозв'язному шарі.

Етап 8. Сформувані навчальну та тестову вибірки.

Етап 9. Провести експериментальні дослідження та визначити похибку розпізнавання особи

оператора та похибку розпізнавання емоцій.

Для верифікації запропонованого методу проведені оціночні експерименти, спрямовані на розпізнавання особи і емоційного стану оператора ІУС по його КП. Прийнято наступні умови застосування CNN:

- Кількість легітимних операторів - 8.
- Розпізнаванню підлягають три емоції - нейтральна, радість і страх.
- Текст складається з малих літер українського алфавіту і 7 знаків пунктуації.
- КП аналізується при наборі текстів, довжина яких становить 40 символів.
- КП описується параметрами ЧУК і ЧМК.

Зазначені умови застосування визначені з позицій оціночного характеру експериментальних досліджень, спрощення формування навчальної вибірки і можливості коректного представлення вхідного поля CNN.

Відповідно до запропонованого методу була розроблена НММ типу CNN з наступними архітектурними параметрами:

- Розмір вхідного поля - 40x40.
- Кількість вихідних нейронів - 11.
- Кількість шарів згортки - 2.
- Кількість шарів субдискретизації - 2.
- Кількість повнозв'язних шарів - 2.
- Розмір ядер згортки - 5x5.
- Кількість карт згортки в 1-му та 2-му шарі - 6 та 24.
- Кількість нейронів в 1-му та 2-му повнозв'язному шарі - 240 та 8.

НММ була реалізована за допомогою пакета прикладних програм MATLAB 2018. Для навчання НММ використана база даних відфільтрованих зразків КП, що відповідають трьом зазначеним емоціям для 8 осіб. Кожна емоція представлена 160 записами (20 записів на одного оператора) КП для одного і того ж тексту. Виклик певної емоції у піддослідних операторів реалізовано за рахунок перегляду відповідного мультимедійного контенту. Зразок КП для емоції кожної з піддослідних осіб записано в форматі: введений символ-ЧУК-ЧМК. 90% записів бази даних були використані для формування навчальної вибірки, інші 10% - для тестової.

Величини помилок розпізнавання особи оператора і його емоційного стану, розраховані за результатами проведених експериментів, показані на рис. 5.

Відзначимо, що отримані помилки розпізнавання співвідносяться з помилками кращих сучасних систем аналогічного призначення [3, 6-9, 12]. При цьому на точність розпізнавання негативно вплинув відносно невеликий обсяг навчальної вибірки, формування якої є достатньо ресурсоємним та тривалим процесом. Крім того проведені експерименти показали можливість інтегрального розпізнавання емоцій і особистості оператора. Це дозволяє стверджувати, що результати експериментів підтверджують перспективність використання запропонованого методу нейромережевого аналізу КП, як в системах розпізнавання емоцій, так і в системах аутентифікації користувачів.

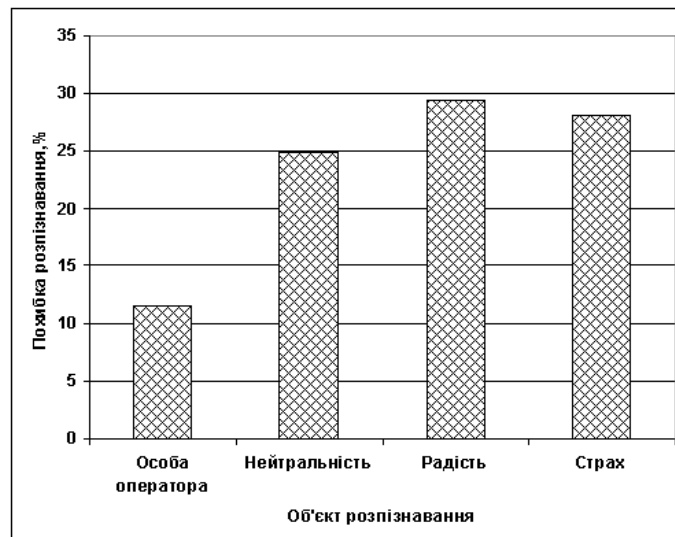


Рис. 4. Гістограма похибок розпізнавання

Також можна стверджувати, що шляхи подальших досліджень можуть бути пов'язані з нівелюванням прийнятих обмежень щодо можливості аналізу тексту з фіксованою кількістю символів. Це може бути реалізовано за рахунок використання НММ типу LSTM пристосованих до аналізу не фіксованої кількості вхідних параметрів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Проблематика статті пов'язана з впровадженням в інтерфейсні засоби інформаційно-управляючих систем когнітивних технологій на основі клавіатурного почерку операторів вказаних систем. Показано, що впровадження цих засобів дозволить позитивно вплинути на ергономічність, продуктивність та захищеність вказаних систем. Визначено, що перспективи такого впровадження пов'язані з застосуванням для аналізу клавіатурного почерку сучасних нейромережевих рішень на базі згорткових нейронних мереж. Запропоновані принципи адаптації архітектури згорткової нейронної мережі до задачі розпізнавання клавіатурного почерку та сформовано процедуру кодування параметрів клавіатурного почерку, що дозволяє представити параметри клавіатурного почерку у вигляді квадратного кольорового зображення. Розроблено метод нейромережевого аналізу клавіатурного почерку, який за рахунок запропонованих принципів адаптації і процедури кодування параметрів клавіатурного почерку, дозволяє впровадити в засоби розпізнавання згорткову нейронну мережу, архітектура якої адаптована до очікуваних умов використання. Проведені експериментальні дослідження показали, що використання розробленого методу дозволяє забезпечити помилку розпізнавання емоцій і особи користувача на рівні кращих сучасних систем розпізнавання. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень з розробкою рішень, що дозволили б аналізувати клавіатурний почерк при вводі тексту з довільною кількістю символів.

References.

1. S. J. Alghamdi and L. A. Elrefaei. Dynamic user verification using touch keystroke based on medians vector proximity. In Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSyN), 2015 7th International Conference on, pages 121–126. IEEE, 2015.
2. Berik Akhmetov, Igor Tereykovsky, Aliya Doszhanova, Lyudmila Tereykovskaya (2018) Determination of input parameters of the neural network model, intended for phoneme recognition of a voice signal in the systems of distance learning. International Journal of Electronics and Telecommunications. Vol 64, No 4 (2018), 425-432. DOI: 10.24425/123541.
3. C. Bo, L. Zhang, T. Jung, J. Han, X.-Y. Li, and Y. Wang. Continuous user identification via touch and movement behavioral biometrics. In 2014 IEEE 33rd International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), pages 1–8. IEEE, 2014.
4. Yunbin Deng and Yu Zhong Keystroke Dynamics Advances for Mobile Devices Using Deep Neural Network GCSR Vol. 2, pp. 59-70, 2015 DOI: 10.15579/gcsr.vol2.ch4.
5. Liu, M., Guan, J. User keystroke authentication based on convolutional neural network, Communications in Computer and Information Science 2019, 971, pp. 157-168.
6. Lin, C.-H., Liu, J.-C., Lee, K.-Y. On neural networks for biometric authentication based on keystroke dynamics. Sensors and Materials, 2018, 30(3), pp. 385-396.
7. Saket Maheshwary, Soumyajit Ganguly, Vikram Pudi, Deep Secure: A Fast and Simple Neural Network based approach for User Authentication and Identification via Keystroke Dynamics Conference: IWAISe, International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) - 2017At: Melbourne, Australia pp. 34-40.
8. Tereykovska L., Tereykovskiy I., Ayt Khozhaeva E., Tynymbayev S., Imanbayev A. Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems (2017). // News of the national academy of sciences of the republic of kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 6, Number 426 (2017), 217 – 224.
9. Xiaofeng, L., Shengfei, Z., Shengwei, Y. Continuous authentication by free-text keystroke based on CNN plus RNN Procedia Computer Science 147, 2019, pp. 314-318.

Список бібліографічного опису.

1. Иванов А. И. Нейросетевые алгоритмы биометрической идентификации личности. Кн. 15: Монография / А.И. Иванов. – М.: Радиотехника, 2004. – 144 с.
2. Кошечкина Н.А., Мазниченко Н.И. Подход к повышению надежности идентификации пользователей компьютерных систем по динамике написания паролей. / Н.А. Кошечкина, Н.И. Мазниченко // Системи обробки інформації. - 2014. - Вип. 6 (122). - С. 140-146
3. Савинов А.Н. Методы, модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.19 - Методы и системы защиты информации, информационная безопасность. Санкт-Петербург, 2013. 19 с

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-9

УДК: 539.3

Грінченко Л. Г.

Луцький національний технічний університет

МЕТОД КОЛЛОКАЦІЙ СИСТЕМ ЛІНІЙНИХ РІВНЯНЬ ЗІ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ

Грінченко Л.Г. Метод коллокацій систем лінійних рівнянь зі змінними коефіцієнтами. В роботі розглянутий згин тонкої ізотропної прямокутної плити, з певними граничними умовами. Через базові функції і функції форми визначені: функція прогину, кути поворотів нормалей. Проведено числові розрахунки розподілу, прогину та згинних моментів в головних перерізах плити.

Ключові слова: плита, напруження, згин.

Гринченко Л.Г. Метод коллокации систем линейных уравнений с переменными коэффициентами. В работе рассмотрен изгиб тонкой изотропной прямоугольной плиты, с определенными граничными условиями. Через базовые функции и функции формы определены: функция прогиба, углы поворота нормалей. Проведены числовые расчеты для распределения прогиба и сгинальных моментов в главных разрезах плиты.

Ключевые слова: плита, напряжение, изгиб.

Grinchenko L.G. Collocation method of systems of linear equations with variable coefficients. In the work is studied the bend of thin isotrop rectangular plate, with definite limiting conditions. Through the basic functions and the functions of the form are determined function of deflexion and angles of normal bending. Numerical calculations of distribution, bending and curving moments in main cutting of the plate.

Keywords: flag, tension, bend.

Розглянемо тонку прямокутну ізотропну плиту з розмірами в плані $2a_j$ ($j = 1, 2$) і товщиною h жорстко закріплену на контурі і завантажену на верхній поверхні сталим навантаженням $q(x_1, x_2) = q_0$. Згин такої пластини описується диференціальним рівнянням четвертого порядку [1-4]:

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x_1^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x_1^2 \partial x_2^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial x_2^4} = \frac{q_0}{D}; \quad (1)$$

Тут $w(x_1, x_2)$ – прогин плити; $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ – її циліндрична жорсткість; де E і ν відповідно модуль Юнга і

коефіцієнт Пуасона матеріалу плити. Моменти M_{11} , M_{22} в плиті визначаються за формулами: $M_{11} = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} \right)$,

$$M_{22} = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} \right) \quad (2)$$

через функцію прогину $w(x_1, x_2)$. Для розрахунку напружено-деформованого стану плити необхідно знати функцію прогину $w(x_1, x_2)$. Знаходимо її з розв'язку диференціального рівняння (1), задовільнивши при цьому відповідні граничні умови. Загальний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (1) шукаємо у вигляді суми

$$w = w_0 + w_* \quad (3)$$

загального розв'язку w_0 однорідного диференціального рівняння: $\frac{\partial^4 w}{\partial x_1^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x_1^2 \partial x_2^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial x_2^4} = 0$ (4)

і часткового розв'язку w_* неоднорідного диференціального рівняння (1). Цей розв'язок вибираємо у вигляді:

$$w_* = \frac{q_0 (x_1^2 - a_1^2) \cdot (x_2^2 - a_2^2)}{8D}. \quad (5)$$

Загальний розв'язок однорідного рівняння (4) шукаємо у вигляді [5]:

$$w_0 = \sum_{k=1}^{\infty} \left[f_k^{[1]}(x_1) \cos \delta_k^{[2]} x_2 + f_k^{[2]}(x_2) \cos \delta_k^{[1]} x_1 \right] \quad (6)$$

Підставивши вираз (6) до рівняння (4) після розділення змінних приходимо до системи двох незв'язних диференціальних рівнянь $f_k^{[j]^{(iv)}}(x_j) - 2\delta_k^{[3-j]^{(2)}} f_k^{[j]''}(x_j) + \delta_k^{[3-j]^4} f_k^{[j]}(x_j) = 0, j=1, 2$ (7)

на невідомі функції $f_k^{[j]}(x_j)$. Часткові розв'язки даної системи вибираємо у вигляді $f_k^{[j]}(x_j) = R_k^{[j]*} \exp(\lambda_k^{[j]} x_j)$, (8)

де $R_k^{[j]*}$, $\lambda_k^{[j]}$ невідомі параметри. Підставляючи ці розв'язки до рівнянь (7) отримуємо характеристичні рівняння на параметри $\lambda_k^{[j]}$: $\lambda_k^{[j]^4} - 2\delta_k^{[3-j]^2} \cdot \lambda_k^{[j]^2} + \delta_k^{[3-j]^4} = 0$. (9)

$$\text{Корені } \lambda_{(1,2)k}^{[j]} = \delta_k^{[3-j]}; \quad \lambda_{(3,4)k}^{[j]} = -\delta_k^{[3-j]} \quad (10)$$

цих рівнянь є кратні, тому загальний розв'язок однорідного рівняння (4) набуває вигляду:

$$w_0 = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[R_{1(k)}^{[1]*} \exp(\delta_k^{[2]} x_1) + R_{2(k)}^{[1]*} x_1 \exp(\delta_k^{[2]} x_1) \right] \cos(\delta_k^{[2]} x_2) + \left[R_{1(k)}^{[2]*} \exp(\delta_k^{[1]} x_2) + R_{2(k)}^{[2]*} x_2 \exp(\delta_k^{[1]} x_2) \right] \cos(\delta_k^{[1]} x_1) \right\} \quad (11)$$

Оскільки розглядувана задача є симетричною то прогин плити повинен бути парною функцією змінних x_1, x_2 . Представимо його у вигляді:

$$w_0 = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[R_{1(k)}^{[1]*} ch(\delta_k^{[2]} x_1) + R_{2(k)}^{[1]*} x_1 sh(\delta_k^{[2]} x_1) \right] \cos(\delta_k^{[2]} x_2) + \left[R_{1(k)}^{[2]*} ch(\delta_k^{[1]} x_2) + R_{2(k)}^{[2]*} x_2 sh(\delta_k^{[1]} x_2) \right] \cos(\delta_k^{[1]} x_1) \right\} \quad (12)$$

При збільшенні кількості наближень k експоненціальні функції суттєво зростають. Тому для кращої можливості проведення числових розрахунків розв'язок (12), нормуємо представивши його у вигляді [6]:

$$w_0 = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \Phi_{1(k)}^{[1]}(x_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \Phi_{2(k)}^{[1]}(x_1) \right] C_k^{[2]}(x_2) + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \Phi_{1(k)}^{[2]}(x_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(x_2) \right] \cdot C_k^{[1]}(x_1) \right\}, \quad (13)$$

де

$$\Phi_{1(k)}^{[j]}(x_j) = \frac{ch(\delta_k^{[3-j]} x_j)}{\exp(\delta_k^{[3-j]} a_j)}; \quad \Phi_{2(k)}^{[j]} = \frac{x_j}{a_j} \cdot \frac{sh(\delta_k^{[3-j]} x_j)}{\exp(\delta_k^{[3-j]} a_j)} \quad (14)$$

$$\tilde{R}_{1(k)}^{[j]} = R_{1(k)}^{[j]*} \exp(\delta_k^{[3-j]} a_j); \quad \tilde{R}_{2(k)}^{[j]} = R_{2(k)}^{[j]*} \cdot a_j \exp(\delta_k^{[3-j]} a_j);$$

$$C_k^{[j]}(x_j) = \cos(\delta_k^{[3-j]} x_j); \quad \delta_k^{[j]} = \frac{(2k-1)\pi}{2a_j}; \quad \delta_k = \frac{(2k-1)\pi}{2}. \quad (15)$$

Загальний розв'язок неоднорідного рівняння (1) отримуємо за формулою (3), враховуючи співвідношення (5), (13). Подамо його в безрозмірних величинах

$$w = \frac{q_0 a_1^4}{D} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \Phi_{1(k)}^{[1]}(x_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \Phi_{2(k)}^{[1]}(x_1) \right] C_k^{[2]}(x_2) + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \Phi_{1(k)}^{[2]}(x_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(x_2) \right] C_k^{[1]}(x_1) + \frac{(x_1^2/a_1^2 - 1)(x_2^2/a_2^2 - 1)}{8} \right\}. \quad (16)$$

Диференціюючи функцію прогину $w(x_1, x_2)$ по змінних x_1, x_2 отримуємо вирази на кути поворотів нормалей до серединної поверхні плити після деформації

$$\varphi_1 = \frac{\partial w}{\partial x_1} = \frac{q_0 a_1^4}{D} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \Phi_{1(k)}^{[1]'}(x_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \Phi_{2(k)}^{[1]'}(x_1) \right] C_k^{[2]}(x_2) + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \Phi_{1(k)}^{[2]}(x_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(x_2) \right] C_k^{[1]'}(x_1) + \frac{x_1(x_2^2/a_2^2 - 1)}{4} \right\}. \quad (17)$$

$$\varphi_2 = \frac{\partial w}{\partial x_2} = \frac{q_0 a_1^4}{D} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \Phi_{1(k)}^{[1]}(x_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \Phi_{2(k)}^{[1]}(x_1) \right] C_k^{[2]'}(x_2) + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \Phi_{1(k)}^{[2]'}(x_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]'}(x_2) \right] C_k^{[1]}(x_1) + \frac{x_2(x_1^2/a_1^2 - 1)a_2^2}{4a_1^2} \right\}. \quad (18)$$

$$\text{Невідомі сталі } x_j = \pm a_j \text{ маємо граничні умови: } w \Big|_{x_i = a_i} = 0; \quad \varphi_i = \frac{\partial w}{\partial x_i} \Big|_{x_i = a_i} = 0; \quad (19)$$

де $\varphi_i(x_i)$ кут повороту грані $x_i = a_i$.

Для зручності обчислень запишемо отримані співвідношення в безрозмірних змінних

$$\xi_j = x_j / a_j \quad (-1 \leq \xi_j \leq 1)$$

$$w = \frac{q_0 a_1^4}{D} \sum_{k=1}^K \left\{ \left[R_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]}(\xi_1) + R_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]}(\xi_1) \right] \cdot C_k^{[2]}(\xi_2) + \left[R_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(\xi_2) + R_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]}(\xi_2) \right] \cdot C_k^{[1]}(\xi_1) \right\} + \frac{q_0 \cdot a_2^2 (\xi_1^2 - 1)(\xi_2^2 - 1)}{8a_1^2},$$

$$\frac{\partial w}{\partial x_1} = \left(\frac{q_0 a_1^4}{D} \right) \left[\frac{1}{a_1} \sum_{k=1}^K \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]'}(\xi_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]'}(\xi_1) \right] \cdot C_k^{[2]}(\xi_2) + \right. \right. \quad (20)$$

$$\left. \left. + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(\xi_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]}(\xi_2) \right] \cdot C_k^{[1]}(\xi_1) \right\} + \frac{a_2^2}{8a_1^2} (\xi_2^2 - 1) 2\xi_1 \cdot \frac{1}{a_1} \right];$$

$$\frac{\partial w}{\partial x_2} = \left(\frac{q_0 a_1^4}{D} \right) \left[\frac{1}{a_2} \sum_{k=1}^K \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]}(\xi_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]}(\xi_1) \right] \cdot C_k^{[2]'}(\xi_2) + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]'}(\xi_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]'}(\xi_2) \right] \cdot C_k^{[1]}(\xi_1) \right\} + \frac{a_2^2}{8a_1^2} (\xi_1^2 - 1) 2\xi_2 \cdot \frac{1}{a_2} \right];$$

$$\text{де: } R_{1(k)}^{[j]} = \frac{\tilde{R}_{1(k)}^{[j]}}{\left(\frac{q_0 a_1^4}{D} \right)}; \quad R_{2(k)}^{[j]} = \frac{\tilde{R}_{2(k)}^{[j]}}{\left(\frac{q_0 a_1^4}{D} \right)};$$

$$\Phi_{1(k)}^{[j]}(\xi_j) = \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] + \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 + \xi_j) \right]; \quad (21)$$

$$\Phi_{2(k)}^{[j]}(\xi_j) = \frac{1}{2} \xi_j \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] - \frac{1}{2} \cdot \xi_j \cdot \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 + \xi_j) \right];$$

$$\Phi_{1(k)}^{[j]'}(\xi_j) = \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] \cdot \delta_k \frac{a_j}{a_{3-j}} - \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 + \xi_j) \right] \delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}};$$

$$\Phi_{2(k)}^{[j]'}(\xi_j) = \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] + \frac{1}{2} \xi_j \cdot \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] \delta_k \frac{a_j}{a_{3-j}} -$$

$$- \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_1} (1 + \xi_2) \right] + \frac{1}{2} \xi_2 \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_2}{a_1} (1 + \xi_2) \right] \cdot \delta_k \cdot \frac{a_2}{a_1}; \quad (22)$$

$$\text{Підставляючи вирази (17), (18), (20) до граничних умов } w|_{\xi_1=1} = 0; \quad \varphi_1 = \frac{\partial w}{\partial x_1} \Big|_{\xi_1=1} = 0;$$

$$w|_{\xi_2=1} = 0; \quad \varphi_2 = \frac{\partial w}{\partial x_2} \Big|_{\xi_2=1} = 0; \quad (23)$$

і враховуючи, що $C_k^{[1]}(1) = C_k^{[2]}(1) = 0$ отримуємо систему $2k + 2$ алгебраїчних рівнянь на невідомі коефіцієнти $\tilde{R}_{\nu(k)}^{[j]}$,

$$\nu=1,2 \quad \tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]}(1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]}(1) = 0;$$

$$\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]}(1) = 0;$$

$$\sum_{k=1}^K \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]'}(1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]'}(1) \right] \cdot C_k^{[2]}(\xi_2) + \right. \quad (24)$$

$$\left. + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(\xi_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]}(\xi_2) \right] \cdot C_k^{[1]}(1) \right\} + \frac{a_2^2}{4a_1^2} (\xi_2^2 - 1) = 0;$$

$$\sum_{k=1}^K \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]}(\xi_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]}(\xi_1) \right] \cdot C_k^{[2]'}(1) + \right.$$

$$\left. + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]'}(1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]'}(1) \right] \cdot C_k^{[1]}(\xi_1) \right\} + \frac{a_2^2}{4a_1^2} (\xi_1^2 - 1) = 0;$$

З перших $2k$ рівнянь системи (24) знаходимо:

$$R_{2(k)}^{[j]} = - \frac{\Phi_{1(k)}^{[j]}(1)}{\Phi_{2(k)}^{[j]}(1)} R_{1(k)}^{[j]} \quad ; \quad (25)$$

Підставляючи ці зв'язки до інших двох рівнянь даної системи отримуємо систему двох рівнянь зі змінними коефіцієнтами на визначення невідомих коефіцієнтів $R_{1(k)}^{[1]}$, $R_{2(k)}^{[2]}$

$$\sum_{k=1}^K \left\{ R_{1(k)}^{[1]} \left[\Phi_{1(k)}^{[1]'}(1) - \frac{\Phi_{1(k)}^{[1]}(1)}{\Phi_{2(k)}^{[1]}(1)} \Phi_{2(k)}^{[1]'}(1) \right] \cdot C_k^{[2]}(\xi_2) + \right. \\ \left. + R_{1(k)}^{[2]} \left[\Phi_{1(k)}^{[2]}(\xi_2) - \frac{\Phi_{1(k)}^{[2]}(1)}{\Phi_{2(k)}^{[2]}(1)} \Phi_{2(k)}^{[2]}(\xi_2) \right] \cdot C_k^{[1]'}(1) \right\} + \frac{a_2^2}{4a_1^2} (\xi_2^2 - 1) = 0; \quad (26)$$

$$\sum_{k=1}^K \left\{ R_{1(k)}^{[1]} \left[\Phi_{1(k)}^{[1]}(\xi_1) - \frac{\Phi_{1(k)}^{[1]}(1)}{\Phi_{2(k)}^{[1]}(1)} \Phi_{2(k)}^{[1]}(\xi_1) \right] \cdot C_k^{[2]'}(1) + \right. \\ \left. + R_{1(k)}^{[2]} \left[\Phi_{1(k)}^{[2]'}(1) - \frac{\Phi_{1(k)}^{[2]}(1)}{\Phi_{2(k)}^{[2]}(1)} \Phi_{2(k)}^{[2]'}(1) \right] \cdot C_k^{[1]}(\xi_1) \right\} + \frac{a_2^2}{4a_1^2} (\xi_1^2 - 1) = 0; \quad (27)$$

Систему рівнянь (26), (27) розв'язуємо методом колокацій. Для цього проміжок $\xi_1 \in [0;1]$ та $\xi_2 \in [0;1]$ розбиваємо на ряд інтервалів довжиною $\frac{1}{K}$ і записуємо цю систему рівнянь для кожної точки: $\xi_1 = 0; \xi_1 = \frac{1}{K}; \xi_1 = \frac{2}{K}; \dots; \xi_1 = \frac{K-1}{K}$ та $\xi_2 = 0; \xi_2 = \frac{1}{K}; \xi_2 = \frac{2}{K}; \dots; \xi_2 = \frac{K-1}{K}$.

Кількість точок колокацій (параметр K) вибираємо так, щоб досягти заданої точності задоволення системи рівнянь (26), (27). В рахунках покладено $\nu = 0,3$. Точність задоволення граничних умов перевіряли за максимальним відхиленням від нуля лівих частин рівнянь (26), (27) при відомих уже коефіцієнтах $R_{\nu(k)}^{[j]}$, табулюючи їх як функції від ξ_1, ξ_2 з кроком $H = 0.01$. В результаті табуляції встановлено, що для десяти точок колокацій ($K = 10$) максимальне відхилення від нуля за абсолютною величиною на всьому інтервалі $\xi_j \in [-1;1]$ у випадку, коли відношення сторін плити задовільняє умові: $\frac{a_1}{a_2} = 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1.0$ для рівняння (26) не перевищує $9.551644 \cdot 10^{-5}$, для рівняння (27) не перевищує $4.864484 \cdot 10^{-5}$. У випадку відношення $\frac{a_1}{a_2} = 1.11; 1.25; 1.43; 1.67; 2.00$ максимальне відхилення від нуля за абсолютною величиною для рівняння (26) не перевищує $4.856289 \cdot 10^{-5}$, для рівняння (27) не перевищує $9.549409 \cdot 10^{-5}$, тобто

точність задоволення граничних умов є достатньо висока. Знаючи параметри $R_{\nu(k)}^{[j]}$ визначаємо прогин $w(x_1, x_2)$ в кожній точці плити, а маючи функцію прогину за формулами (2) легко знаходимо моменти в плиті. Запишемо вирази для кривин волокон через які визначаються згинні моменти в

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} = \left(\frac{q_0 a_1^4}{D} \right) \left[\frac{1}{a_1^2} \sum_{k=1}^K \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]''}(\xi_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]''}(\xi_1) \right] \cdot C_k^{[2]}(\xi_2) + \right. \right. \\ \left. \left. + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]}(\xi_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]}(\xi_2) \right] \cdot C_k^{[1]''}(\xi_1) \right\} + \frac{a_2^2}{8a_1^2} (\xi_2^2 - 1) 2 \cdot \frac{1}{a_1^2} \right]; \\ \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} = \left(\frac{q_0 a_1^4}{D} \right) \left[\frac{1}{a_2^2} \sum_{k=1}^K \left\{ \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[1]}(\xi_1) + \tilde{R}_{2(k)}^{[1]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[1]}(\xi_1) \right] \cdot C_k^{[2]''}(\xi_2) + \right. \right. \\ \left. \left. + \left[\tilde{R}_{1(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{1(k)}^{[2]''}(\xi_2) + \tilde{R}_{2(k)}^{[2]} \cdot \Phi_{2(k)}^{[2]''}(\xi_2) \right] \cdot C_k^{[1]}(\xi_1) \right\} + \frac{a_2^2}{8a_1^2} (\xi_1^2 - 1) 2 \cdot \frac{1}{a_2^2} \right]; \quad (28)$$

Де

$$\Phi_{1(k)}^{[j]''}(\xi_j) = \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] \cdot (\delta_k)^2 \cdot \left(\frac{a_j}{a_{3-j}} \right)^2 + \frac{1}{2} \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 + \xi_j) \right] \cdot (\delta_k)^2 \cdot \left(\frac{a_j}{a_{3-j}} \right)^2; \\ \Phi_{2(k)}^{[j]''}(\xi_j) = \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] \delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} + \frac{1}{2} \xi_j \cdot \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 - \xi_j) \right] (\delta_k)^2 \cdot \left(\frac{a_j}{a_{3-j}} \right)^2 + \\ + \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 + \xi_j) \right] \cdot \delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} - \frac{1}{2} \xi_j \exp \left[-\delta_k \cdot \frac{a_j}{a_{3-j}} (1 + \xi_j) \right] \cdot (\delta_k)^2 \cdot \left(\frac{a_j}{a_{3-j}} \right)^2;$$

проведені числові розрахунки розподілу прогину та згинних моментів в головних перерізах ($\xi_j = 0$) плити. Результат обчислень графічно представлені на рис. 1, 3, 5, 7, 9.

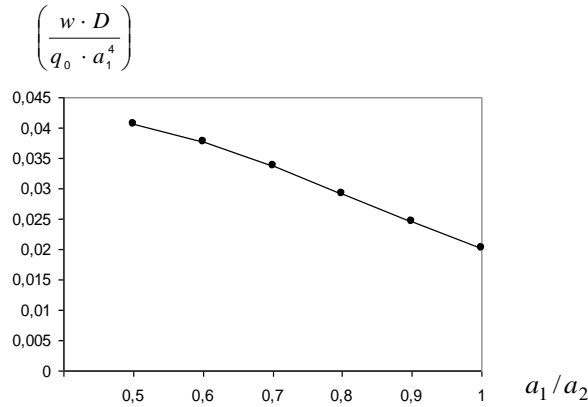


Рис. 1. Зміна максимального прогину плити в залежності від співвідношення її сторін.

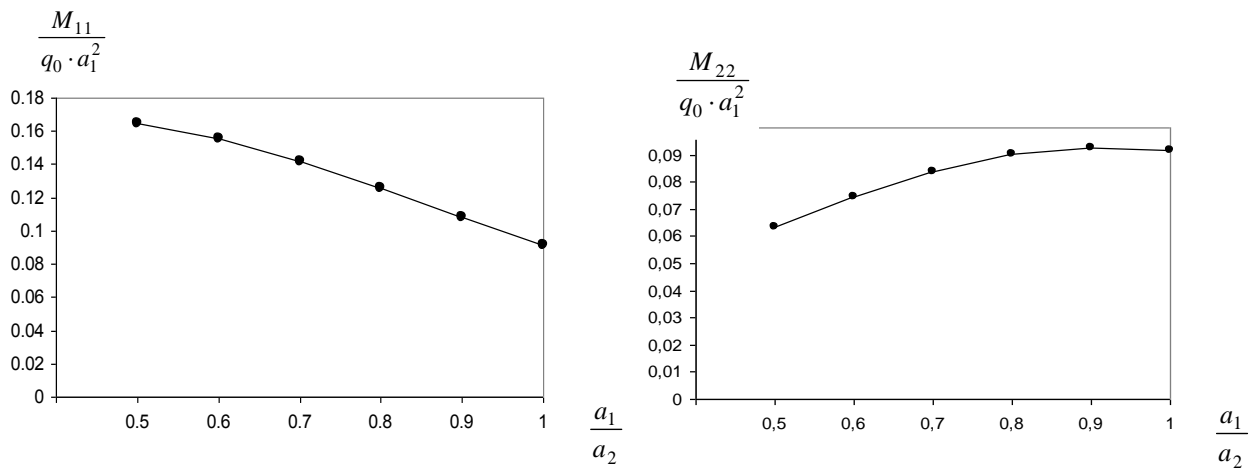


Рис. 2. Зміна максимального згинного моменту $M_{11}/q_0 a_1^2$ в центрі плити в залежності від співвідношення її сторін. Рис. 3. Зміна максимального згинного моменту $M_{22}/q_0 a_1^2$ в центрі плити в залежності від співвідношення її сторін.

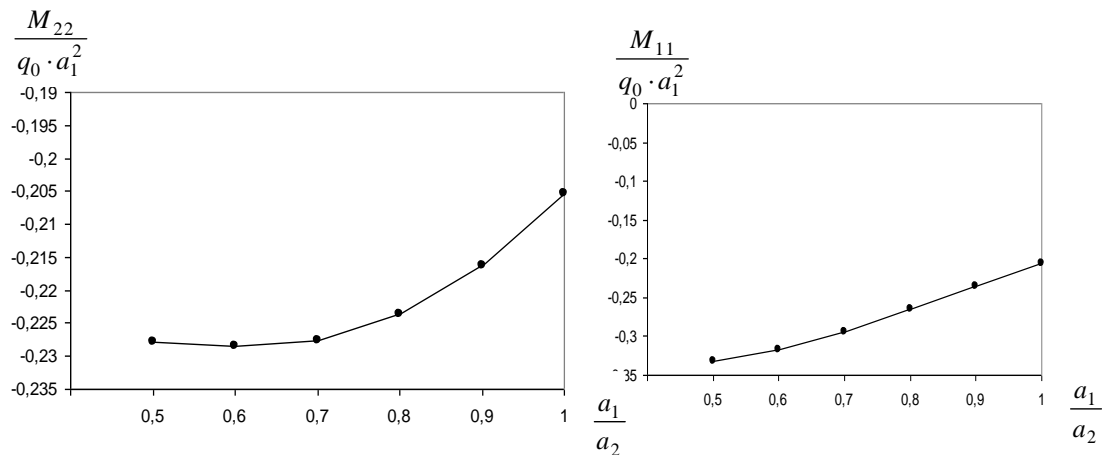


Рис. 4. Зміна максимального згинного моменту $M_{22}/q_0 a_1^2$ на краю плити ($x_2 = a_2; x_1 = 0$) в залежності від співвідношення її сторін. Рис. 5. Зміна максимального згинного моменту $M_{11}/q_0 a_1^2$ на краю плити ($x_1 = a_1; x_2 = 0$) в залежності від співвідношення її сторін. На рисунках 1-5 представлені графіки зміни відносних величин прогину w , та згинних моментів M_{11}, M_{22} в центрі плити та на її краях в залежності від співвідношення сторін a_1/a_2 . Залежність максимального прогину плити (в її центрі) від співвідношення a_1/a_2 ілюструє рисунок 1. Із збільшенням a_1/a_2 прогин падає і досягає найменшого значення для квадратної плити. Графіки зміни моментів M_{11} (рис.2) та M_{22} (рис.3) в центрі плити мають протилежний характер: збільшення a_1/a_2 приводить до зростання моменту M_{22} і падіння моменту

M_{11} . Із збільшенням відношення a_1/a_2 згинний момент M_{11} на краю плити ($x_1 = a_1, x_2 = a_2$) суттєво зростає (рис.4) в той же час згинний момент M_{22} (рис.5) майже не залежить від співвідношення сторін.

Список бібліографічного опису.

1. Тимошенко С.П., Войновски-Кригер. Пластини и оболочки.-М.: Наука, 1966.- 635с.
2. Бережницький Л.Т., Делявський М.В.,Панасюк В.В. Изгиб тонких пластин с дефектами типа трещин.-Киев: Наукова думка, 1979.- 400с.
3. Прусов И.А. Метод сопряжения в теории плит.-Минск: Изд-во Белорус. ун-та, 1975.- 256 с.
4. Kączkowski Z. Płyty. Obliczenia statyczne.- Warszawa: Arkady, 1980.-
5. Делявський М.В. Расчет напряженного состояния в толстой ортотропной плите под действием изгибающей нагрузки № 11-12.- С. 117-123.
6. Delyavskyy M., Golaś J., Podhorecka A.: O pewnym podejściu do rozwiązywania płyt wielowarstwowych, XLV Konf. Nauk. Krynica 99, s.63-70.

References.

1. Tymoshenko SP, Voynovsky-Krieger. Plates and casings. - M.: Nauka, 1966. - 635s.
2. Berezhnitsky LT, Delyavsky MV, Panasyuk VV Bending of thin plates with defects such as cracks. - Kiev: Naukova Dumka, 1979. - 400s.
3. Prusov IA The method of conjugation in the theory of plates.-Minsk: Publisher Belarus. Univ., 1975.- 256 p.
4. Kączkowski Z. Płyty. Obliczenia statyczne.- Warszawa: Arkady, 1980.-
5. Delyavsky MV Calculation of stress state in a thick orthotropic plate under the action of bending load N. 11-12.- P. 117-123.
6. Delyavskyy M., Golaś J., Podhorecka A.: On the Peculiar Adjourment to the Development of Pliyt Wielowarstwowych, XLV Conf. Nauk. Krynica 99, p.63-70.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-10

УДК: 515.2

Ісмаїлова Н. П., Елісєєв І. П.

Військова академія (м. Одеса)

МОДЕЛЮВАННЯ СПРЯЖЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДА КРУГОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ В СИСТЕМЕ MATLAB

Ісмаїлова Н. П., Елісєєв І. П. Моделювання спряжених поверхонь за допомогою метода кругового перетворення в системі MATLAB. Запропоновано комп'ютерне моделювання спряжених поверхонь еліптичний параболоїд і осі - конічна гвинтова лінія в системі MATLAB.

Ключові слова: спряжені поверхні, еліптичний параболоїд, конічна гвинтова лінія, система MATLAB.

Исмаилова Н. П., Елисеев И. П. Моделирование сопряженных поверхностей с помощью метода кругового преобразования в системе MATLAB. Предложено компьютерное моделирование сопряженных поверхностей-эллиптический параболоид и оси - коническая винтовая линия в системе MATLAB.

Ключові слова: сопряженные поверхности, эллиптический параболоид, коническая винтовая линия, система MATLAB.

N. Ismailova, I. Eliseev. Modeling conjugate surfaces using the circular transformation method in the MATLAB system. Computer simulation of mating surfaces is proposed - an elliptical paraboloid and axes - a conical helix in the MATLAB system.

Keywords: mating surfaces, elliptical paraboloid, conical helix, MATLAB system.

Постановка наукової проблеми. Одне з основних напрямків нарисної геометрії - формування складних спряжених поверхонь - нерозривно пов'язане зі всіма галузями і видами виробництва [1].

Комп'ютерне геометричне моделювання складних спряжених поверхонь підвищує продуктивність розрахунково-конструкторських робіт.

Аналіз досліджень. Комп'ютерне моделювання спряжених поверхонь деталей в машинобудуванні складної форми вирішує проблему підвищення точності профілювання та продуктивності праці конструктора. Метою даного дослідження є розробка комп'ютерного моделювання за допомогою метода кругового перетворення в системі MATLAB, спряжених поверхонь деталей в машинобудуванні.

Основна частина. Розглянемо реалізацію методу кругового перетворення стосовно поверхні - еліптичний параболоїд, заданий параметричних рівнянням (1) і осі - конічна гвинтова лінія, задана параметричних рівнянням (2).

$$\begin{cases} x = a \cdot u \cdot \cos v \\ y = b \cdot u \cdot \sin v, \\ z = 0.5 \cdot u^2 \end{cases} \quad (1)$$

где $0 \leq u \leq 5, 0 \leq v \leq \pi, a = 3, b = 2$

$$\begin{cases} x = t \cdot \sin t \\ y = t \cdot \cos t, \\ z = c \cdot t \end{cases} \quad (2)$$

где $c = \frac{H}{2 \cdot \pi}, 0 \leq t \leq 2\pi, H = 5$

Побудова поверхні і криволінійної осі в системі MATLAB наведено нижче:

```
% Завдання параметрів еліптичного параболоїда  
ap=3;  
bp=2;  
up = (0:0.05:5);  
vp = [0:0.05*pi:pi];
```

```
Xp = ap*up*cos(vp);  
Yp = bp*up*sin(vp);  
Zp = 0.5*up.^2*ones(size(vp));  
% Завдання параметрів конічної гвинтової лінії  
Hv=15;  
cv=Hv/(2*pi);  
tv=0:pi/50:2*pi;  
Xv=tv.*sin(tv);  
Yv=tv.*cos(tv);  
Zv=tv.*cv;  
% Висновок на екран еліптичного параболоїда і конічної гвинтової лінії в цьому ж вікні  
figure('Color','w')  
ElPar=mesh(Xp,Yp,Zp);  
xlabel('x'); ylabel('y'); zlabel('z')  
hold on  
KonVin=plot3(Xv,Yv,Zv);  
grid on
```

Результат побудови показаний на рис.1-4.

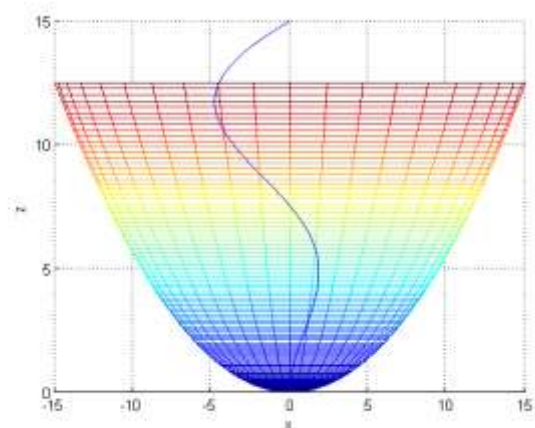


Рис.1. Проекція на площину XZ

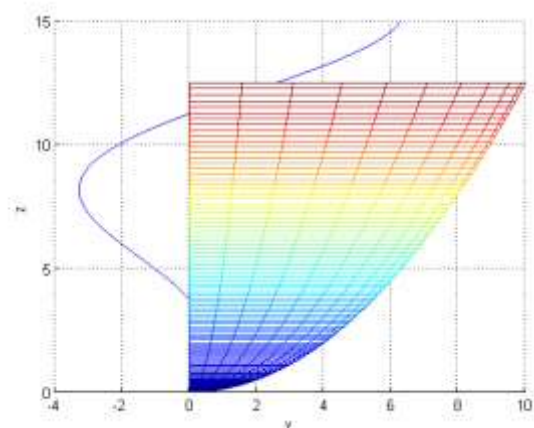


Рис.2. Проекція на площину YZ

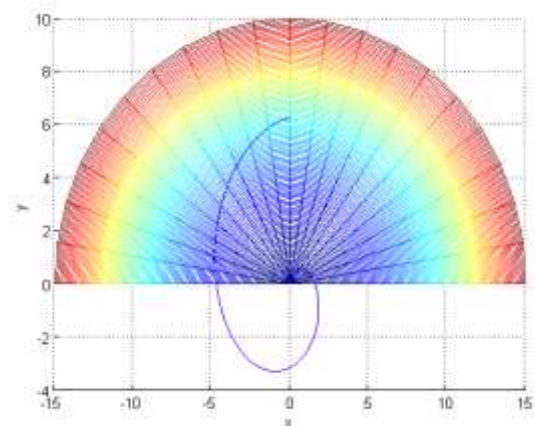


Рис.3. Проекція на площину XY

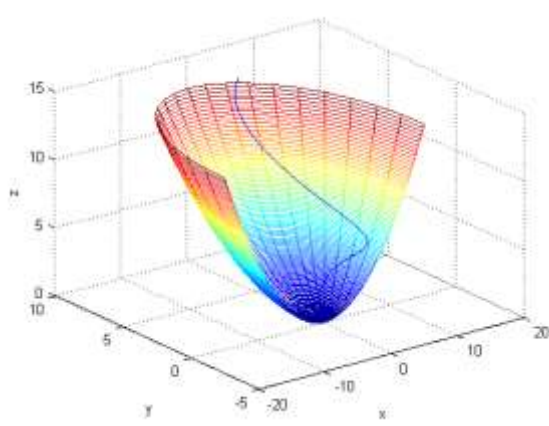


Рис.4. Тривимірне представлення

Зрушимо криволінійну вісь на відстань -25 по осі Y, 5 по осі X і -2 по осі Z. Параметричне рівняння конічної гвинтової лінії набуде вигляду (3).

$$\begin{cases} x = x_0 + t \cdot \sin t \\ y = y_0 + t \cdot \cos t, \\ z = z_0 + c \cdot t \end{cases} \quad (3)$$

где $c = \frac{H}{2\pi}$, $0 \leq t \leq 2\pi$, $H = 5$, $x_0 = 5$, $y_0 = -25$, $z_0 = -2$

Змінивши синтаксис побудови, наведений нижче, отримаємо результат, показаний на рис.5-8.

% Завдання параметрів еліптичного параболоїда

ap=3;

bp=2;

up = (0:0.05:5)';

vp = [0:0.05*pi:pi];

Xp = ap*up*cos(vp);

Yp = bp*up*sin(vp);

Zp = 0.5*up.^2*ones(size(vp));

% Завдання параметрів конічної гвинтової лінії

Hv=15;

cv=Hv/(2*pi);

x0v=5;

y0v=-25;

z0v=-2;

tv=0:pi/50:2*pi;

Xv=x0v+tv.*sin(tv);

Yv=y0v+tv.*cos(tv);

Zv=z0v+tv.*cv;

% Висновок на екран еліптичного параболоїда і конічної гвинтової лінії в цьому ж вікні

figure('Color','w')

ElPar=mesh(Xp,Yp,Zp);

xlabel('x'); ylabel('y'); zlabel('z')

hold on

KonVin=plot3(Xv,Yv,Zv);

grid on

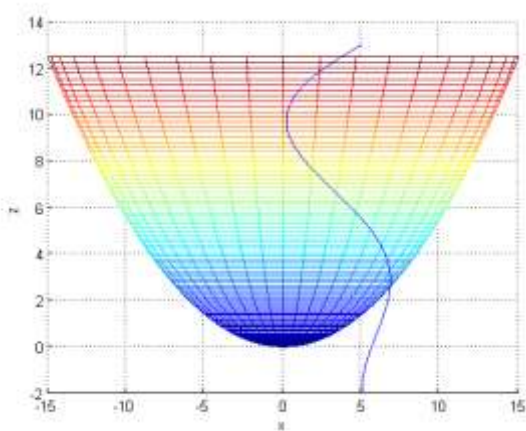


Рис.5. Проекція на площину XZ

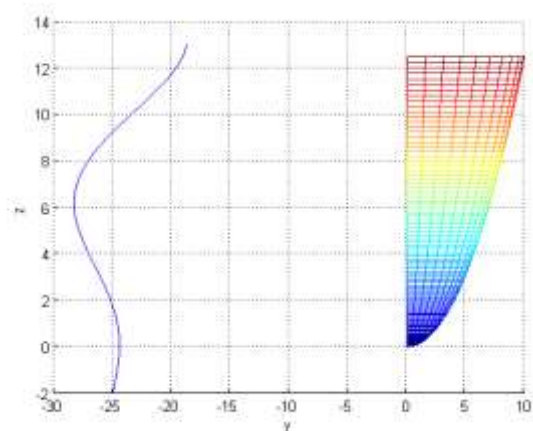


Рис.6. Проекція на площину YZ

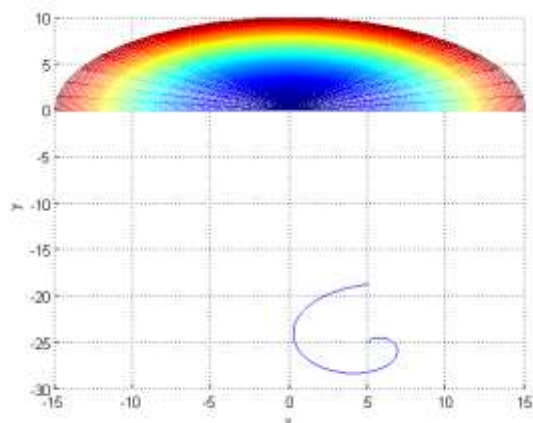


Рис.7. Проекція на площину ХУ

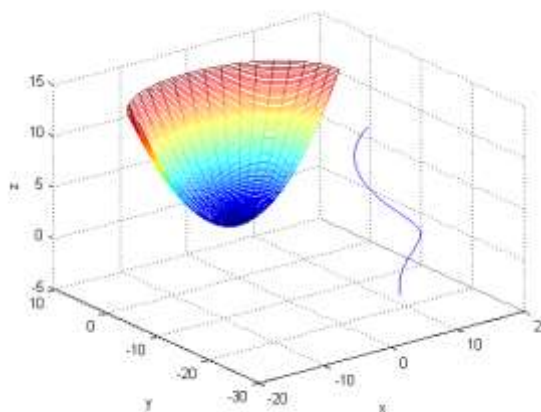


Рис.8. Тривимірне представлення

Визначимо максимальне і мінімальне значення z для криволінійної поверхні.

```
miP=min(Zp);
minZp=miP(1);
maP=max(Zp);
maxZp=maP(1);
```

Побудовано лінії рівня для криволінійної поверхні.

```
[ur]=[minZp:0.1:maxZp];
hold on
[contEP, hEP]=contour3(Xp, Yp, Zp, ur);
Определена длина массива ur.
lenUr=length(ur);
```

Визначимо точки перетину кінчної гвинтової лінії з горизонтальними площинами, відповідними рівнями $[ur]$. Для цього підставимо в параметричне рівняння (3) значення $z = [ur]$ і обчислимо значення x_{pp} і y_{pp} .

```
[t0]=[ur]-z0v)/cv;
xpp=x0v+sin(t0).*t0;
ypp=y0v+cos(t0).*t0;
```

Повернемо кожну лінію рівня на кут 60° навколо відповідної точки перетину криволінійної осі щодо осі Z . Для цього створимо функцію *Rotate Different Center*(lines, x_C , y_C , z_C , length, angle), де lines - набір ліній рівня, x_C , y_C , z_C - координати точок перетину криволінійної осі з горизонтальною площиною рівня, length – довжина масиву, angle - кут повороту.

```
function Rotate Different Center( lines, xC, yC, zC, length, angle )
for i=1:length
    rotate(lines(i), [0 0 1], angle, [xC(i) yC(i) zC(i)])
end
end
```

У вікні Command Window викликана створена функція повороту.

```
RotateDifferentCenter(hEP,xpp,ypp,ur,lenUr,60)
```

Результат перетворення показаний на рис.9-14.

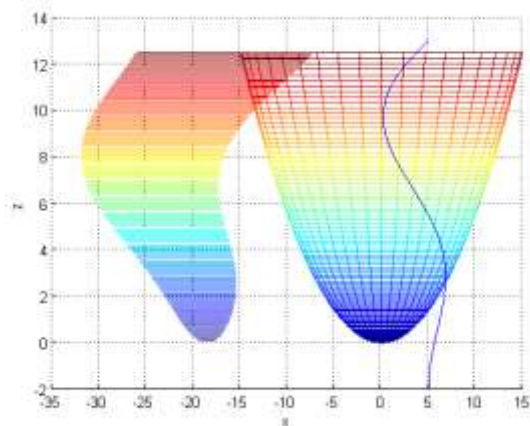


Рис.9. Проекція на площину XZ

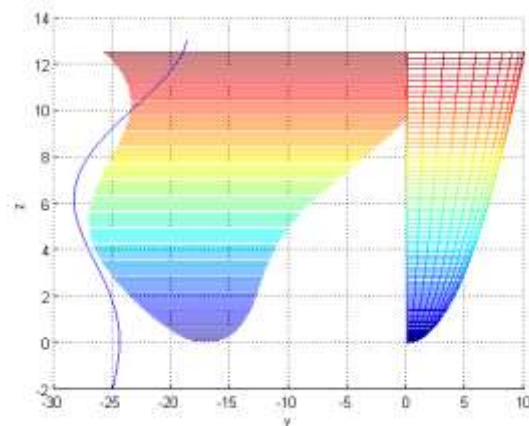


Рис.10. Проекція на площину YZ

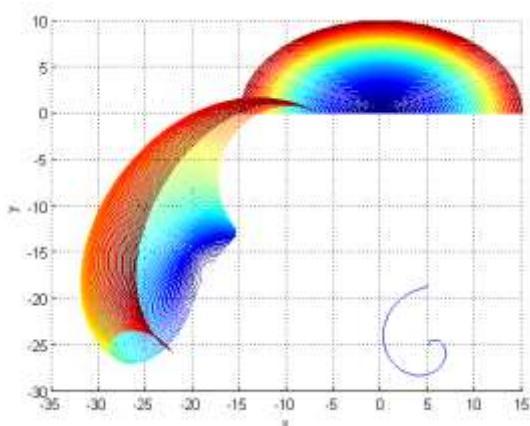


Рис.11. Проекція на площину XY

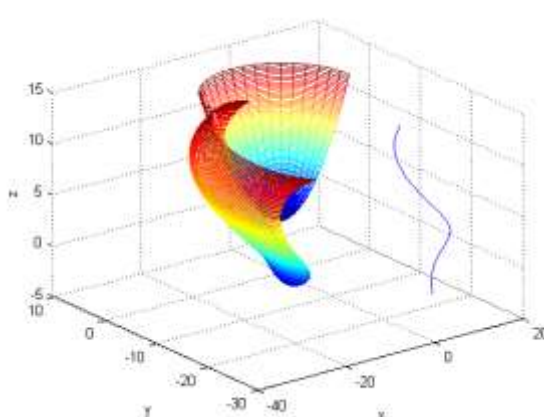


Рис.12. Тривимірне представлення

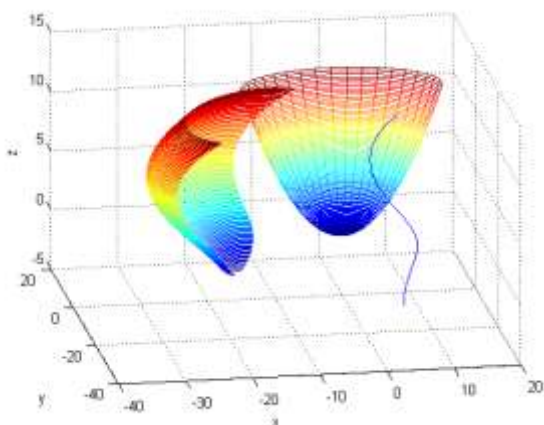


Рис.13. Тривимірне представлення

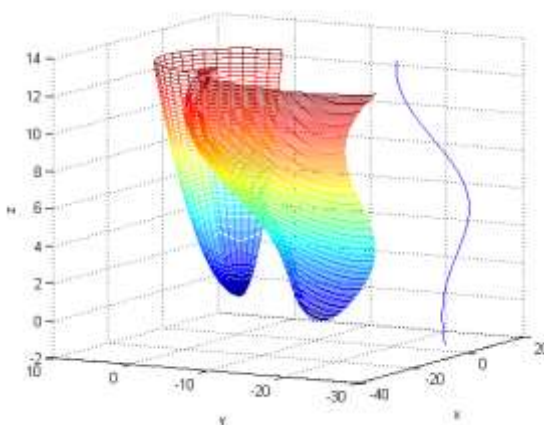


Рис.14. Тривимірне представлення

У цей час, практично всі проектні рішення виконуються за допомогою САПР. Це дозволяє істотно скоротити час на проектування. Але не завжди за допомогою стандартних засобів комп'ютерного моделювання можна вирішити поставлене завдання. У зв'язку із цим виникає необхідність у створенні спеціальних підпрограм для побудови методів проектування спряжених поверхонь, тому що в них є криволінійні й напрямна, і утворююча.

Розроблений геометричний метода кругового перетворення за допомогою комп'ютерного моделювання дозволяє вирішити складні завдання конструювання спряжених поверхонь, підвищити точність і продуктивність інженерної праці і створювати конкурентно-здатні вироби в машинобудуванні, літакобудуванні, кораблебудуванні.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У результаті проведених досліджень ми розробили підпрограму для визначення кругового перетворення спряжених поверхонь до рішення проблеми конструкторських робіт в машинобудуванні яка має можливість підвищення точності профілювання та продуктивності. Подальші дослідження які розроблені у напрямі розробки кругового перетворення спряжених поверхонь розширення побудови спряжених поверхонь, також наблизиться до вирішення проблеми виключення інтерференції при профілювання деталей в машинобудуванні.

Список бібліографічного опису.

1. Подкоритов А.Н., Исмаилова Н.П., Дюкре Л.Г. Метод формирования сопряженных винтовых нелинейчатых поверхностей семейством огибающих геликоидов. Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип.17. – ХДУХТ. – Харків, 2007. – С.12-15.
2. Ісмаїлова Н. П. Твердотільне моделювання спряжених поверхонь на базі параметричного кінематичного гвинта [Текст] /Ісмаїлова Н. П. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. – Луцьк, 2015. – С. 69–74.
3. Ісмаїлова Н.П., Трушков Г.В. Геометричне моделювання просторового параметричного кінематичного гвинта/ Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Луцький національний технічний університет. Науковий журнал. №30-31 2018. Луцьк – 2018. С. 187-195

References

1. Podkoritov AN, Ismailova NP, Ducret LG Method of forming conjugate helical nonlinear surfaces by a family of envelope helicoids. Geometric and computer modeling. - Issue 17. - CDHD. - Kharkiv, 2007. - P.12-15.
2. Ismailova NP Solid state modeling of conjugate surfaces based on parametric kinematic screw [Text] / Ismailova NP Computer-integrated technologies: education, science, production. Lutsk, 2015, pp. 69–74.
3. Ismailova NP, Trushkov GV Geometric modeling of spatial parametric kinematic screw /Computer-integrated technologies: education, science, production. Lutsk National Technical University. Scientific journal. №30-31 2018. Lutsk - 2018. P. 187-195

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-11

УДК: 004.891

Кулаковська І. В.

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

НЕЛІНІЙНЕ МНОЖИННЕ РЕГРЕСІЙНЕ РІВНЯННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВІДКРИТИМ КОДОМ ТИПУ MP3PLAYERS НА JAVA

Кулаковська І.В. Нелінійне множинне регресійне рівняння для оцінювання розміру програмного забезпечення з відкритим кодом типу mp3players на JAVA. У статті розглядаються різні підходи до оцінки трудомісткості розробки програмного забезпечення (ПЗ). Аналізується залежність оцінки трудомісткості розробки ПЗ від розміру проекту. Описуються основні види існуючих метрик і можливість їх застосування. Пропонуються показники для порівняння метрик. Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру програмного забезпечення з відкритим кодом типу mp3players на JAVA побудована на основі нормалізації шестивимірної негаусової набору даних (фактичний розмір програми в тисячах рядків коду, загальна кількість класів, загальна кількість зв'язків та інші) в концептуальній моделі даних з 32 програм за допомогою нелінійного регресійного рівняння. Модель, що побудована, в порівнянні з іншими регресійними моделями (як лінійними, так і нелінійними), має більший множинний коефіцієнт детермінації, менше значення середньої величини відносної похибки. Для отриманого рівняння досліджено нормальне розподілення остач, обчислені ширини довірчого інтервалу для нелінійної регресії.

Ключові слова: нелінійна регресійна модель, довірчий інтервал, оцінювання розміру програмного забезпечення, нормалізуюче перетворення, управління проектами, оцінка трудомісткості, розробка ПЗ, метод функціональних точок.

Кулаковская И. В. Нелинейное множественное регрессионное уравнение для оценки размера программного обеспечения с открытым кодом типа mp3players на JAVA. В статье рассматриваются различные подходы к оценке трудоемкости разработки программного обеспечения (ПО). Анализируется зависимость оценки трудоемкости разработки ПО от размера проекта. Описываются основные виды существующих метрик и возможность их применения. Предлагаются показатели для сравнения метрик. Нелинейная регрессионная модель для оценки размера программного обеспечения с открытым кодом типа mp3players на JAVA построена на основе нормализации шестимерного негауссово набора данных (фактический размер программы в тысячах строк кода, общее количество классов, общее количество связей и другие) в концептуальной модели данных из 32 программ с помощью нелинейного регрессионного уравнения. Модель, построенная, по сравнению с другими регрессионными моделями (как линейными, так и нелинейными), имеет больший множественный коэффициент детерминации, меньшее значение средней величины относительной погрешности. Для полученного уравнения исследовано нормальное распределение остатка, вычисленные ширины доверительного интервала для нелинейной регрессии.

Ключевые слова: нелинейная регрессионная модель, доверительный интервал, оценка размера программного обеспечения, нормализующее преобразование, управление проектами, оценка трудоемкости, разработка ПО, метод функциональных точек.

Kulakovska I.V. The non-linear regression equations for software size assessment with java mp3players type. The article discusses different approaches to assessing the complexity of software development (software). The dependence of the complexity of the software development on the size of the project is analyzed. The basic types of existing metrics and the possibility of their application are described. Metrics are offered to compare metrics. A nonlinear regression model for estimating the size of open source MP3players software on JAVA is based on the normalization of a six-dimensional non-Gaussian dataset (actual program size in thousands of lines of code, total classes, total links, etc.) in the conceptual data model of 32 programs using a nonlinear regression equation. The model constructed, compared to other regression models (both linear and nonlinear), has a larger multiple coefficient of determination, less than the mean value of the relative error. For the obtained equation, the normal distribution of residuals was investigated, and the confidence interval widths for nonlinear regression were calculated.

Keywords: nonlinear regression model, confidence interval, software size estimation, normalization transformation, project management, complexity estimation, software development, functional point method.

Постановка наукової проблеми.

Оцінювання розміру проекту, особливо на ранньому етапі розробки, відіграє важливу роль у практичних завданнях з його управління, розробки та впровадження. Як правило, кількість рядків коду програми є негаусівською випадковою величиною, яка залежить від ряду факторів, у тому числі й метрик ПЗ, які впливають на кінцевий результат. Метрики ПЗ кількісно визначають різні властивості програмних продуктів та програмних процесів у вигляді чисельного відображення. Мета полягає у виведенні одного або декількох факторів особливостей ПЗ, що дає змогу порівнювати ці значення з подібними проектами, зі специфічними стандартами, які притаманні даній компанії. З отриманих результатів можна прийти до висновку щодо якості ПЗ та всього програмного процесу, а також, якщо необхідно, подальших заходів.

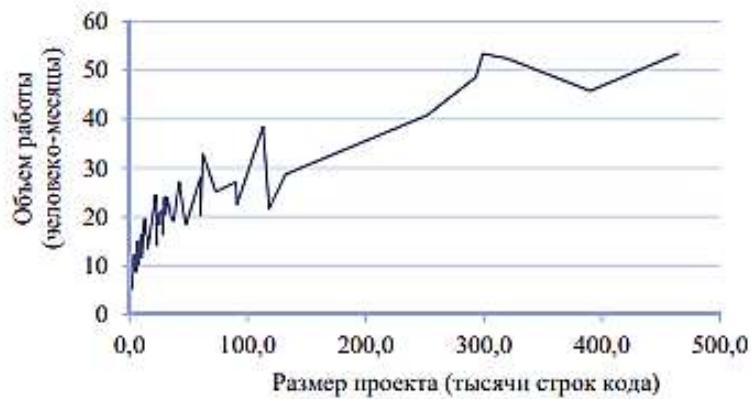


Рис. 1. Залежність зростання обсягу робіт від збільшення розміру проекту

Оскільки для різних категорій методів оцінки існують принципово різні способи беручи до уваги фактор розміру проекту, виникає потреба у виборі метрики розміру проекту. Серед чинників, що впливають на оцінку, розмір проекту є найбільш важливим показником. Хоча оцінки розміру недостатньо для розуміння цілому розробляється продукту, існує явна залежність між розміром проекту і його трудомісткістю. На рис. 1 показана залежність зростання обсягу робіт від збільшення розміру проекту, розрахована за моделлю СОСОМО.

Задача оцінювання розміру програмного забезпечення (ПЗ) на ранній стадії його розробки є важливою, оскільки ця інформація використовується для прогнозування трудомісткості розробки ПЗ за допомогою таких моделей як СОСОМО II. Це призводить до необхідності розробки відповідних моделей для оцінювання розміру ПЗ, включаючи ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом для програм `mp3 players`.

Існують різні методи для оцінювання розміру програмного забезпечення, які використовуються сьогодні. Більшість з них походять від методу аналізу функціональних точок (FPA - Function Point Analysis). Інший підхід полягає в тому, щоб провести функціональне вимірювання, щоб «разити функціональність у кількості, що представляє розмір». Інші методи зазначення розміру програмного забезпечення включають оцінювання на ґеніві варіантів використання (Use Case). Але історично найпоширенішою та найбільш вживаною методологією визначення розміру програмного забезпечення є підрахунок кількості рядків коду, написаних у вихідному коді програми. Крім того, всесвітньо відомою є модель СОСОМО II - це модель регресії, заснована на кількості рядків коду (LOC).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нормалізуючі перетворення дуже часто є надійним способом побудови нелінійних регресійних моделей та рівнянь [3-4]. Однак добре відомі методи їх побудови, що засновані на одновимірних нормалізуючих перетвореннях (таких як логарифмічне і Бокса-Кокса), не враховують кореляції між випадковими змінними у разі нормалізації багатовимірних негаусових даних. Це призводить до необхідності використання багатовимірних нормалізуючих перетворень [3-4], які враховують цю кореляцію, для побудови нелінійних регресійних моделей та рівнянь для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем, в тому числі з відкритим кодом на РНР. В [1-3] було побудовано нелінійне регресійне рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом на РНР на основі багатовимірного перетворення Джонсона для сімейства SB. Виникає потреба порівнянні моделей та у побудові відповідного рівняння для інших видів ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом, наприклад для програм `mp3 players` на JAVA.

Мета статті – побудова нелінійного регресійного рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом для програм `mp3players` на JAVA на основі рівняння множинної регресії, та дослідження множинного коефіцієнту детермінації, значення середньої величини відносної похибки і менші ширини довірчого інтервалу та інтервалу передбачення регресії.

Існуючі моделі оцінювання розміру програмного забезпечення. Моделі оцінювання розміру ПЗ поділяються на п'ять категорій: *аналогові; регресійні; моделі на основі експертних оцінок; моделі, які базуються на функціональних точках; параметричні моделі.*

Існують різні методи для оцінювання розміру програмного забезпечення, які використовуються сьогодні. Більшість з них походять від методу аналізу функціональних точок (FPA - Function Point Analysis). Інший підхід полягає в тому, щоб провести функціональне вимірювання, щоб виразити функціональність у кількості, що представляє розмір. Інші методи визначення розміру програмного забезпечення включають оцінювання на основі варіантів використання (Use Case). Але історично

найпоширенішою та найбільш вживаною методологією визначення розміру програмного забезпечення є підрахунок кількості рядків коду, написаних у вихідному коді програми.

Серед методик підрахунку кількості рядків коду є дві основні:

- по числу фізичних рядків (LOC) - визначається як загальне число рядків вихідного коду, включаючи коментарі і порожні рядки;
- по числу логічних рядків коду (LLOC) - визначається як загальна кількість команд і залежить від використовуваної мови програмування. Якщо мова підтримує розміщення кількох команд в одному рядку, то один фізичний рядок повинен бути врахований як кілька логічних, якщо він містить більше однієї команди мови.

Також є похідні від основних методик, які в залежності від завдання можуть містити додаткову інформацію за такими показниками: число порожніх рядків; число рядків, що містять коментарі; відсоток коментарів (відношення рядків коду до рядків з коментарями, похідна метрика стилістики); середнє число рядків для функцій (класів, файлів); середня кількість рядків, що містять вихідний код для функцій (класів, файлів); середнє число рядків для модулів і т.д. Метрики, засновані на аналізі кількості рядків і синтаксичних елементів вихідного коду програми, були запропоновані багатьма відомими вченими, наприклад М. Холстедом в 1977р.

Аналіз функціональних точок (Function points) - це метод вимірювання розміру програмного забезпечення з точки зору користувачів системи. Метод був розроблений Аланом Альбрехтом ще в середині 1970-х років, вперше опублікований в 1979 році.

Метод UCP (Use Case Points) являє собою оцінку розміру проектів на основі діаграм UML (Unified Modeling Language) і методології RUP (Rational Unified Process). Як, і багато інших сучасні методів оцінки, UCP базується приблизно на тих же принципах, що і метод функціональних точок. Головна відмінність полягає в заміні одиниць вимірювання з функціональних точок на варіанти використання (Use Cases).

Крім того, всесвітньо відомою є модель COCOMO II - це модель регресії, заснована на кількості рядків коду (LOC). Ця процедурна модель оцінювання витрат для програмних проектів часто використовується для надійного прогнозування різних параметрів, пов'язаних з проектом, таких, як розмір, зусилля, витрати, час та якість, які необхідні для впровадження програмного забезпечення.

При використанні точної та надійної методології для оцінювання розміру можна зробити висновок про якість ПЗ та навіть усього програмного процесу і, при необхідності, вжити подальших заходів.

Перевірка адекватності математичної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення. Для перевірки адекватності лінійного рівняння регресії використаємо коефіцієнт детермінації:

$$R^2 = 1 - (\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2), \quad (1)$$

де y_i - емпіричне значення y ; \hat{y}_i - розрахункове значення y ; $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ середнє значення випадкової величини y . R^2 характеризує частку дисперсії, яка обумовлена регресією, в загальній дисперсії показника y . Коефіцієнт детермінації R^2 приймає значення від 0 до 1, Чим ближче значення коефіцієнта за модулем до 1, тим тісніше зв'язок результативної ознаки з досліджуваними факторами. При значенні $R^2 > 0,5$ можна вважати, що дана модель є прийнятною. Достатньо ефективною та результативною можна вважати модель з показником детермінації $R^2 > 0,8$. Якщо $R^2 = 1$, тоді лінія регресії точно відповідає усім спостереженням та вимогам, а модель можна вважати адекватною та достовірною.

Величина коефіцієнта детермінації виступає важливим критерієм оцінки якості лінійних і нелінійних моделей. Чим вагоміша частка поясненої варіації, тим менше роль інших факторів, а отже, модель регресії краще апроксимує вихідні дані і такою регресійною моделлю можна скористатися для прогнозу значень результативного показника. Для перевірки якості знайденого рівняння регресії, окрім критерію R^2 , використовується також сума квадратів відхилень

S_v : $S_y = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i)]^2$, де y_i - фактичне значення випадкової величини y ; $f(x_i)$ - розрахункове значення згідно рівняння регресії. Сума квадратів відхилень S_v використовується для перевірки якості як нелінійного, так і лінійного рівняння регресії. Цей параметр також використовується для порівняння різних моделей.

Способи удосконалення математичної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення. Вихідні дані для оцінювання розміру ПЗ, як правило, не мають нормального розподілу, що в результаті призводить до помилок у розрахунках та негативно впливає на достовірність отриманих результатів, у нашому випадку, на оцінювання розміру ПЗ. Щоб уникнути цієї проблеми, перед тим, як будувати математичну модель, потрібно нормалізувати вихідні дані. Для побудови нелінійного регресійного рівняння використовуємо вибірку шестивимірних негаусових даних з

фактичний розмір ПЗ в тисячах рядків коду (LOC) Y , загальна кількість класів x_1 , загальна кількість зв'язків x_2 та інші у концептуальній моделі даних з 50 програм на відкритим кодом програм mp3 players на базі мови програмування Java взятих з репозиторію GitHub.

Використання нормалізуючих перетворень дозволяє перейти до лінійної регресії для нормалізованих даних, для неї побудувати довірчий інтервал та інтервал прогнозування традиційним способом, і, нарешті, шляхом застосування відповідного зворотного перетворення перейти до нелінійної регресії. Тим самим ми отримаємо більш точну математичну модель для оцінки розміру mp3players реалізованих мовою Java.

Рівняння множинної регресії. Більшість соціально-економічних показників формується під впливом не одного, а багатьох факторів. Метод побудови моделі такого зв'язку має назву багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу. В цьому випадку результативна ознака (Y) пов'язується з допомогою рівняння множинної регресії з двома або більше факторними ознаками (x_1, \dots, x_m). Найважливішими умовами побудови багатофакторної моделі зв'язку є достатня кількість одиниць у сукупності (як мінімум у 5 разів більше, ніж число факторів) та відсутність мультиколінеарності факторів (близького до функціонального зв'язку між ними). В тому випадку, якщо два факторних показники мультиколінеарні, один з них повинен бути виключений з моделі. Для побудови цього рівняння були використані дані всього з 32 інформаційних систем, кількість яких фактично межує з малою вибіркою. Рівняння регресії

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_6x_6 \quad (2)$$

Позначення Y - LOC - число рядків коду програми; x_1 - NC - загальна кількість класів; x_2 - ANA - середня кількість атрибутів; x_3 - ANM - середня кількість методів; x_4 - ANSM - середня кількість set методів; x_5 - ANGM - середня кількість get методів; x_6 - ANCM - середня кількість методів-конструкторів; x_7 - N_{inh} - кількості відносин між класами.

Попередній аналіз даних виявив мультиколінеарність x_1 та x_7 , тому для побудови рівняння обрані перші шість факторів. Для побудови нелінійного регресійного рівняння використовуємо вибірку шестивимірних даних з: фактичний розмір ПЗ в тисячах рядків коду (LOC) Y , загальна кількість класів x_1 , загальна кількість зв'язків x_2 та інші у концептуальній моделі даних з 54 інформаційних систем з відкритим кодом програм mp3 players на базі мови програмування Java взятих з репозиторію GitHub.

Вибірка програм на відкритим кодом програм mp3 players на базі мови програмування Java перевірена на виброси методом Евклідової відстані та обмежена 32 програмами, данні яких наведені в таблиці 2. При дослідженні також розглядалися різні види рівняння регресії. Коефіцієнти детермінації для різних видів наведені в таблиці 1. За ними обрано експоненціальну регресію і надалі досліджувалося рівняння:

$$\ln Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_6x_6 \quad (3)$$

Таблиця 1. Коефіцієнти детермінації для різних рівнянь регресії

Показатели	Кoeffициент детерминации
Лінійна регресія	0,697019
Параболічна регресія	0,636005
Експоненціальна регресія	0.7146035
Степенева регресія	0,626321
Гіперболічна регресія	0,110816
Логарифмічна регресія	0,615861
Показникова регресія	0,521657

Таблиця 2. Вибірка шести факторів

Name	LOC	Y	NC	ANA	ANM	ANSM	ANGM	ANCM	Ninh
gabbiernacka_MP3Player	484	6.182	5	7.2	7.2	0.8	0.6	1	0,52
joshuba_JavaFX-MP3Player	484	6.182	8	2.75	3.5	1.25	0.13	1	1,74
pawelslupski_java-fx-repository	552	6.314	9	3	5.56	1.89	0.56	1	1,99
adrianDyj_mp3Player-javaFx	577	6.358	9	3	5.78	2.11	0.56	1	2,23
Kwarku_Mp3Player	653	6.482	9	3.11	5.78	2.11	0.56	1	2,33
cipek_simple-MP3Player-Android	723	6.583	10	3.3	5.5	1.1	0.9	1.1	2,33

Name	LOC	Y	NC	ANA	ANM	ANSM	ANGM	ANCM	Ninh
szxv587_mp3Player	739	6.605	8	4.38	4.5	1.38	0.25	1	2,33
joseavel_Mp3Player	853	6.749	11	3.55	7.27	0.82	0.73	1	2,66
saquibhafiz_MP3Player	956	6.863	19	4.95	3.42	0.89	0.37	1.11	2,66
paczarny_mp3Player	972	6.879	10	4.3	5.7	2.1	0.4	1	2,66
kystudio_MP3Player	1041	6.948	22	1.91	3	0.41	0.23	1.05	2,66
ivartanian_MP3Player	1066	6.972	7	8	7.14	0.71	0.43	1	2,73
pandboy_Mp3Player	1104	7.007	25	2.68	2.6	0.44	0.32	1.04	2,73
dammyson_mp3player	1113	7.015	10	4.3	6.9	0.6	0.4	1	2,73
suryarajasekaran_Jamify	1221	7.107	9	4.44	3.33	0.67	0.44	1	2,73
dtgianggithub_mp3player	1242	7.124	12	6.33	4.67	1.08	0.33	1	2,73
tevop_Mp3Player	1278	7.153	11	5.27	7.18	1	0.64	1.09	2,73
jxnu707_MP3player	1299	7.169	23	3.65	2.87	0.43	0.35	1.04	2,73
kystudio_MP3Player_Tab	1365	7.219	27	2.04	3.07	0.59	0.19	1.04	2,79
XFHNever_MP3Player	1435	7.269	35	2.69	2.26	0.26	0.17	1.06	2,79
vbilenko78_MP3Player	1468	7.292	12	7.33	6.67	0.5	0.42	1	2,79
carloscj6_SampleMusicPlayer	1482	7.301	19	5.74	5.47	0.79	0.26	1	2,85
CreativityCz_Mp3Player	1596	7.375	21	2.1	3.67	0.67	0.24	1.05	2,85
Inzulus_MP3Player	1608	7.383	20	4.2	5.7	2.7	0.25	1.1	2,96
david-loman_MP3player	1682	7.428	24	9.17	3.38	0.46	0.33	1	3,63
karolminuth_Mp3Player-ProjectDoneWithJavaStart	1704	7.441	27	3	5.56	1.89	0.56	1	3,80
StanislawRusnak_Mp3Player	1722	7.451	27	3	5.78	2.11	0.56	1	4,72
polewa_Mp3Player	1779	7.484	27	3	5.78	2.11	0.56	1	5,21
Azzello_MP3Player	2223	7.707	32	3.44	3.25	0.34	0.03	1	0,52
ProjectMusicPlayer_MP3Player_frontend	2704	7.902	30	3.2	3.37	0.07	0	1	1,74
nicoliuli_Mp3Player	2923	7.98	66	2.3	3.45	0.79	0.82	1.12	1,99
yuanwofei_mp3player	6152	8.725	117	6.33	3.34	0.66	0.37	1.02	2,23

Далі за даними будемо лінійне регресійне рівняння

$$Y = 5.3318 + 0.022X1 + 0.01X2 + 0.08061X3 - 0.07548X4 - 0.7223X5 + 1.2149X6 \quad (4)$$

Значення множинного коефіцієнта детермінації (5) R^2 і середньої величини відносної похибки $MMRE$ дорівнюють 0,7146 та 0,042 відповідно. Значенні відсотка прогнозування $PRED(0.1) = 0.968$.

Аналіз мультиколінеарності. $det(X^T X) = 788527187,3 \geq 0$. Вид мультиколінеарності, при якому факторні змінні пов'язані деякою стохастичною залежністю, називається частковою. Якщо між факторними змінними є високий ступінь кореляції, то матриця $(X^T X)$ близька до виродженої, тобто, чим ближче до 0 визначник матриці межфакторної кореляції, тим сильніше мультиколінеарності факторів і ненадійніше результати множинної регресії).

Таблиця 3. Матриця парних коефіцієнтів кореляції R:

c Y	LOC	NC	ANA	ANM	ANSM	ANGM	ANCM
LOC	1	0,808853774	0,071438	-0,3458135	-0,28553	-0,2193	0,154278
NC	0,808853774	1	-0,03447	-0,4325747	-0,2136	-0,06362	0,219349
ANA	0,071438363	-0,03447114	1	0,33820412	-0,18537	0,030388	-0,24698
ANM	-0,34581353	-0,43257466	0,338204	1	0,448041	0,557441	-0,24972
ANSM	-0,28552624	-0,21360163	-0,18537	0,4480408	1	0,351865	-0,07159
ANGM	-0,21930037	-0,06362117	0,030388	0,55744137	0,351865	1	0,214305
ANCM	0,154278212	0,219348944	-0,24698	-0,2497173	-0,07159	0,214305	1

Таблиця 4. Матриця межфакторної кореляції R_{11}

	NC	ANA	ANM	ANSM	ANGM	ANCM
NC	1	-0,03447	-0,4325747	-0,2136	-0,06362	0,219349
ANA	-0,03447114	1	0,33820412	-0,18537	0,030388	-0,24698
ANM	-0,43257466	0,338204	1	0,448041	0,557441	-0,24972
ANSM	-0,21360163	-0,18537	0,4480408	1	0,351865	-0,07159
ANGM	-0,06362117	0,030388	0,55744137	0,351865	1	0,214305
ANCM	0,219348944	-0,24698	-0,2497173	-0,07159	0,214305	1

Для перевірки рівня значущості використовують F-критерій Фішера.

При цьому обчислюють фактичну (що спостерігається) значення F-критерію, через коефіцієнт детермінації R^2 , розрахований за даними безпосереднього спостереження. За таблицями розподілу Фішера-Снедекора знаходять критичне значення F-критерію ($F_{кр}$). Для цього задаються рівнем значущості α (зазвичай його беруть рівним 0,05) і двома числами ступенів свободи $k_1 = m$ і $k_2 = n - m - 1$. Маємо: $k_1 = 6$ і $k_2 = n - m - 1 = 32 - 6 - 1 = 25$. Табличне значення при ступенях свободи, $F_{кр}(6; 25) = 2.51$

$$R^2 = 0.7146 = 1 - \frac{\det R}{\det R_{11}} \quad (5)$$

де $\det R = 0.0615$ – визначник матриці парної кореляції; $\det R_{11} = 0.215$ – визначник матриці міжфакторної кореляції. Уточнене значення коефіцієнту детермінації $\overline{R^2}$.

$$\overline{R^2} = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n-1}{n-m-1}$$

$$\overline{R^2} = 1 - (1 - 0.7146) \cdot \frac{32-1}{32-6-1} = 0.6461 \quad (6)$$

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{(n-m-1)}{m} = \frac{0.7146}{1-0.7146} \cdot \frac{32-6-1}{6} = 10.431 \quad (7)$$

$$F = 0.71461 - 0.7146 \cdot 32 - 6 - 16 = 10.431 > 2.51$$

Оскільки фактичне значення $F > F_{кр}$, то коефіцієнт детермінації статистично значимий і рівняння регресії статистично надійно (тобто коефіцієнти спільно значимі).

Перевірка нормальності розподілу залишкової компоненти.

1. Перевірка гіпотез про вид розподілу по Пірсону.

Перевіримо гіпотезу про те, що X розподілено по нормальному закону з допомогою критерію згоди Пірсона.

$$K = \sum \frac{(f_i - f_{pi})^2}{f_{pi}} \quad (8)$$

де p_i – ймовірність попадання в i -й інтервал випадкової величини, розподіленої по гіпотетичному (теоретичному) закону.

Таблиця 5. Розподіл ймовірностей для перевірки залишкової компоненти

$x_i \div x_{i+1}$	f_i	$x_1 = (x_i - x_{cp})/s$	$x_2 = (x_{i+1} - x_{cp})/s$	$\Phi(x_1)$	$\Phi(x_2)$	$p_i = \Phi(x_2) - \Phi(x_1)$	Ожидаемая частота, $32p_i$	Слагаемые статистики Пирсона, K_i
-0,418	-0,202	1	-2.3159	-0.4898	-0.437	0.0528	1.6896	0.2814
-0,202	0,014	8.	-1.5275	-0.437	-0.2703	0.1667	5.3344	1.332
0,014	0,230	7.	-0.7391	0.04927	-0.2703	0.0199	0.2902	9.2864
0,230	0,446	10	0.04927	0.8377	0.0199	0.2995	0.2796	8.9472
0,446	0,662	4	0.8377	1.626	0.2995	0.4484	0.1489	4.7648
0,662	0,878	2	1.626	2.4144	0.4484	0.4922	0.0438	1.4016
		32						2.6782

Для обчислення ймовірностей p_i застосуємо формулу і таблицю функції Лапласа

$$\Phi\left(\frac{x_{i+1} - \bar{x}}{s}\right) - \Phi\left(\frac{x_i - \bar{x}}{s}\right), \text{ де } s = 2.6782, x_{cp} = 0.217 \quad (9)$$

Теоретична (очікувана) частота дорівнює $\bar{f}_i = f_{pi}$, де $f = 32$

Ймовірність влучення в i -й інтервал: $p_i = \Phi(x_2) - \Phi(x_1)$

Визначимо кордон критичної області. Так як статистика Пірсона вимірює різницю між емпіричним і теоретичним розподілами, то чим більше її бачимо значення $K_{набл}$, тим сильніше аргумент проти основної гіпотези. Тому критична область для цієї статистики завжди правобічна: $[K_{кр}; + \infty)$. Її кордон $K_{кр} = \chi^2(k-r-1; \alpha)$ знаходимо за таблицями розподілу χ^2 і заданим значенням s , k (число інтервалів), $r = 2$ (параметри x_{cp} і s оцінені за вибіркою).

$$K_{кр} = \chi^2(6-2-1; 0.05) = 7.81473; K_{набл} = 2.68 \quad (10)$$

Спостережуване значення статистики Пірсона не влучає у критичну область: $K_{набл} < K_{кр}$, тому немає підстав відкидати основну гіпотезу. Справедливо припущення про те, що дані вибірки мають **нормальний розподіл**.



Рис. 2. Діаграма розподілу частот для остач

Індивідуальні довірчі інтервали для Y при даному значенні вектора $Z(x_1, \dots, x_6)$. $(y \pm \varepsilon)$, де

$$\varepsilon = t_{кр} * S * \sqrt{\frac{1}{n} + (\bar{Z}_i) * R_{11}^{-1} * (\bar{Z}_i)^T} = 2.042 * 0.32 * \sqrt{\frac{1}{32} + (\bar{Z}_i) * R_{11}^{-1} * (\bar{Z}_i)^T}; \quad (11)$$

де $t_{крит}(n-m-1; \alpha/2) = (30; 0.025) = 2.042$, S – оцінка середньоквадратичного відхилення (стандартна похибка Y) = 0,324629232.

Індивідуальні інтервали прогнозування для Y при даному значенні вектора $Z(x_1, \dots, x_6)$. $(y \pm \varepsilon)$,

$$\varepsilon = t_{кр} * S_{Z_y} * \sqrt{1 + \frac{1}{n} + (\bar{Z}_i) * R_{11}^{-1} * (\bar{Z}_i)^T} = 2.042 * 267,55 * \sqrt{1 + \frac{1}{32} + (\bar{Z}_i) * R_{11}^{-1} * (\bar{Z}_i)^T}; \quad (11)$$

де $t_{крит}(n-m-1; \alpha/2) = (30; 0.025) = 2.042$, R_{11} – матриця міжфакторної кореляції,

$$S_{Z_y}^2 = \frac{1}{n - m - 1} \sum_{s=1}^n (\bar{Z}_i - \bar{Z}_{cp})^2;$$

Таблиця 6. Розрахункова таблиця довірчих інтервалів та прогнозованих

LOC	ln(Y)	NC	ANA	ANM	ANSM	ANGM	ANCM	Y_solv	E ^(Y_solv)	Довірчий		Прогнозований	
										лівий	правий	лівий	правий
484	6,18	5	7,2	7,2	0,8	0,6	1	6,82	911,80	-20,85	1844,45	-169,08	1992,68
484	6,18	8	2,75	3,5	1,25	0,13	1	6,84	938,28	69,25	1807,32	-88,21	1964,78
552	6,31	9	3	5,56	1,89	0,56	1	6,68	792,93	-181,04	1766,89	-323,80	1909,66
577	6,36	9	3	5,78	2,11	0,56	1	6,68	793,82	-188,71	1776,35	-330,39	1918,03
653	6,48	9	3,11	5,78	2,11	0,56	1	6,68	794,70	-187,46	1776,85	-329,18	1918,57
723	6,58	10	3,3	5,5	1,1	0,9	1,1	6,63	758,58	-238,18	1755,34	-378,09	1895,25
739	6,61	8	4,38	4,5	1,38	0,25	1	6,84	938,71	32,43	1844,99	-119,50	1996,92
853	6,75	11	3,55	7,27	0,82	0,73	1	6,82	917,01	-176,84	2010,86	-305,69	2139,71
956	6,86	19	4,95	3,42	0,89	0,37	1,11	7,09	1198,83	-9,47	2407,14	-127,24	2524,91
972	6,88	10	4,3	5,7	2,1	0,4	1	6,82	917,59	-92,86	1928,04	-231,10	2066,28
1041	6,95	22	1,91	3	0,41	0,23	1,05	7,16	1280,86	-8,56	2570,28	-119,52	2681,25
1066	6,97	7	8	7,14	0,71	0,43	1	6,99	1088,10	99,13	2077,06	-41,74	2217,93
1104	7,01	25	2,68	2,6	0,44	0,32	1,04	7,12	1233,15	-122,07	2588,37	-228,04	2694,35
1113	7,01	10	4,3	6,9	0,6	0,4	1	7,03	1132,03	76,02	2188,04	-56,93	2321,00
1221	7,11	9	4,44	3,33	0,67	0,44	1	6,69	803,64	-90,06	1697,34	-243,83	1851,10
1242	7,12	12	6,33	4,67	1,08	0,33	1	6,93	1023,12	-17,47	2063,71	-152,17	2198,41

LOC	ln(Y)	NC	ANA	ANM	ANSM	ANGM	ANCM	Y_solv	E(Y_solv)	Довірчий		Прогнозований	
										лівий	правий	лівий	правий
1278	7,15	11	5,27	7,18	1	0,64	1,09	6,99	1087,72	1,06	2174,37	-128,55	2303,98
1299	7,17	23	3,65	2,87	0,43	0,35	1,04	7,08	1192,60	-113,42	2498,63	-223,09	2608,29
1365	7,22	27	2,04	3,07	0,59	0,19	1,04	7,28	1444,32	26,94	2861,70	-74,71	2963,35
1435	7,27	35	2,69	2,26	0,26	0,17	1,06	7,46	1730,67	145,49	3315,85	53,98	3407,36
1468	7,29	12	7,33	6,67	0,5	0,42	1	7,08	1188,76	87,07	2290,46	-40,95	2418,48
1482	7,30	19	5,74	5,47	0,79	0,26	1	7,22	1360,60	104,01	2617,18	-9,61	2730,81
1596	7,38	21	2,1	3,67	0,67	0,24	1,05	7,16	1289,94	13,14	2566,75	-98,84	2678,72
1608	7,38	20	4,2	5,7	2,7	0,25	1,1	7,23	1373,73	81,71	2665,74	-29,05	2776,50
1682	7,43	24	9,17	3,38	0,46	0,33	1	7,17	1294,48	-49,46	2638,43	-156,26	2745,23
1704	7,44	27	3	5,56	1,89	0,56	1	7,07	1178,22	-281,12	2637,55	-380,03	2736,46
1722	7,45	27	3	5,78	2,11	0,56	1	7,07	1179,54	-284,27	2643,36	-382,90	2741,99
1779	7,48	27	3	5,78	2,11	0,56	1	7,07	1179,54	-284,27	2643,36	-382,90	2741,99
2223	7,71	32	3,44	3,25	0,34	0,03	1	7,50	1807,65	273,80	3341,50	179,41	3435,90
2704	7,90	30	3,2	3,37	0,07	0	1	7,51	1817,31	325,62	3308,99	228,72	3405,89
2923	7,98	66	2,3	3,45	0,79	0,82	1,12	7,79	2425,31	255,29	4595,33	187,57	4663,05
6152	8,72	117	6,33	3,34	0,66	0,37	1,02	9,16	9515,13	6650,30	12379,96	6598,67	12431,59

З імовірністю 95% можна гарантувати, що значення Y при необмежено великому числі спостережень не вийде за межі знайдених інтервалів.

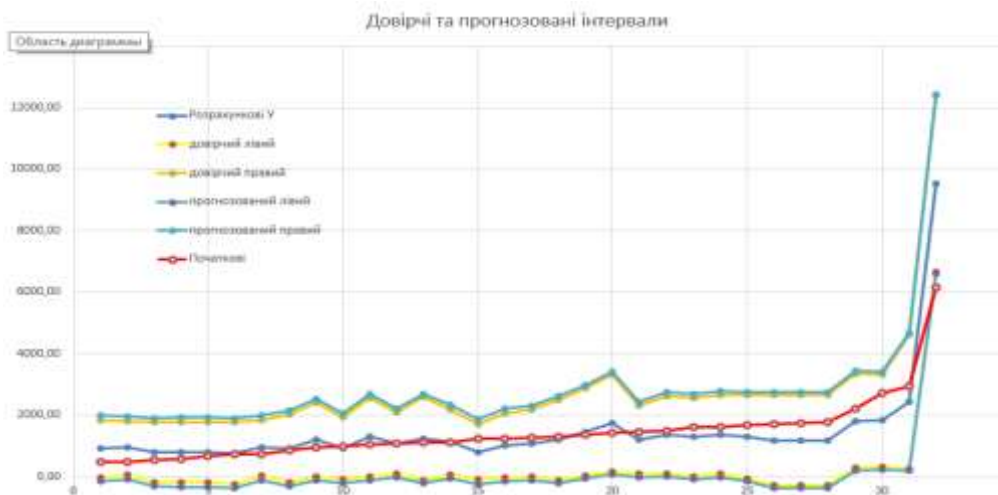


Рис.3. Довірчі та прогнозовані інтервали для Y.

Висновки.

В результаті розрахунків було отримано рівняння множинної регресії:

$$\ln Y = 5.3318 + 0.022X_1 + 0.01X_2 + 0.08061X_3 - 0.07548X_4 - 0.7223X_5 + 1.2149X_6.$$

$$Y = 206,8099 * e^{0.022x_1 + 0.01x_2 + 0.08061x_3 - 0.07548x_4 - 0.7223x_5 + 1.2149x_6}.$$

Статистична значимість рівняння перевірена за допомогою коефіцієнта детермінації і критерію Фішера. Встановлено, що в досліджуваній ситуації 71.46% загальної варіабельності Y пояснюється зміною факторів x_j. Справедливо припущення про те, що дані вибірки мають нормальний розподіл. Таким чином, модель адекватна по нормальності розподілу залишкової компоненти.

Удосконалено нелінійне регресійне рівняння для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом типу mp3players реалізованих мовою Java. Надалі планується застосування

інших даних для побудови різних видів регресійних рівнянь для оцінювання розміру ПЗ інформаційних систем з відкритим кодом довільного типу.

Отримані при аналізі метрики ПЗ кількісно визначають різні властивості програмних продуктів у вигляді чисельного відображення. Поставлена ціль дослідження полягала у виведенні шістьох немультіколінеарних факторів особливостей ПЗ, що дало змогу порівнювати ці значення з подібними проектами, зі специфічними стандартами. З отриманих результатів можна прийти до висновку щодо прогнозування розміру ПЗ, його якості та всього програмного процесу, а також, якщо необхідно, планування необхідного часу для подальшої розробки.

Список бібліографічного опису.

1. Тан Х.Б.К. Оцінка LOC для інформаційних систем з їх концептуальних моделей даних. НВК Тан, Y. Zhao, H. Zhang. Матеріали 28-ї Міжнародної конференції з інженерії програмного забезпечення (ICSE 06), Шанхай, Китай, 20-28 травня 2006 р. - Р. 321-330.
2. Тан Х.Б.К. Концептуальна оцінка розміру програмного забезпечення на основі моделей даних для інформаційних систем. Х. Б. К. Тан, Ю. Чжао, Х. Чжан . Операції з інженерії та методології програмного забезпечення. - 2009. - Вип. 19. - Випуск 2. - жовтень 2009. - Стаття № 4. DOI: 10.1145 / 1134285.1134331
3. Приходько С.Б. Побудова рівняння нелінійної регресії для оцінки розміру програмного забезпечення відкритих джерел інформаційних систем, що базуються на PHP. С. Б. Приходько, Н. В. Приходько, Т. Г. Смикодуб, А. В. Спінов - 2018. - № 1 (023). - С.118-125. - ISSN 1998-7005
4. Приходько С. Застосування відстані квадратичного махаланобіса для виявлення людей, що переживають багатофакторні дані, що не містять газів. С. Приходько, Н. Приходько, Л. Макарова, А. Пухалевич . Матеріали 14-ї міжнародної конференції з передових тенденцій радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерів Техніка (TCSET), Львів-Славське, Україна, 20-24 лютого 2018 р. - С. 962-965. DOI: 10.1109. TCSET.2018.8336353
5. Боем Б. Економіка програмного забезпечення. Б. Боем. - Нью-Джерсі: Прентіс-Холл, 1981. - 42 с.
6. Boehm V. Оцінка витрат на програмне забезпечення з Cocomo II. Нью-Джерсі, Прентіс-Холл. 2000. 544 с
7. Приходько Н.В., Приходько С.Б. Нелінійне рівняння регресії для оцінки розміру програмного забезпечення інформаційних систем з відкритим кодом у PHP. Приходько Н. В., Приходько С. Б. БІЗНЕС ЛІКУ СХІДНОГО УКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Дала. - 2018. - № 6 (247).

References

1. Tan H.B.K. Estimating LOC for information systems from their conceptual data models. H. B. K. Tan, Y. Zhao, H. Zhang. Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering (ICSE 06), Shanghai, China, May 20-28, 2006. – P. 321-330.
2. Tan H.B.K. Conceptual data model-based software size estimation for information systems. H. B. K. Tan, Y. Zhao, H. Zhang. Transactions on Software Engineering and Methodology. – 2009. – Vol. 19. – Issue 2. – October 2009. – Article No. 4. DOI: 10.1145/1134285.1134331
3. Prykhodko S.B. Constructing the non-linear regression equation to estimate the software size of open source PHPbased information systems / S. B. Prykhodko, N. V. Prykhodko, T. G. Smykodub, A. V. Spinov. Problemy informatsiinykh tekhnolohii. – 2018. – № 1 (023). – S.118-125. – ISSN 1998-7005
4. Prykhodko S. Application of the Squared Mahalanobis Distance for Detecting Outliers in Multivariate NonGaussian Data. S. Prykhodko, N. Prykhodko, L. Makarova, A. Pukhalevych. Proceedings of 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, February 20-24, 2018. – P. 962-965. DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336353
5. Boehm B. Software engineering economics. B. Boehm. – New Jersey: Prentice-Hall, 1981. – 42 p.
6. Boehm V. Software Cost Estimation with Cocomo II. New Jersey, Prentice-Hall. 2000. 544 p
7. Prykhodko NV, Prykhodko SB A nonlinear regression equation for estimating the size of open source information systems software in PHP. Prykhodko NV, Prykhodko SB. NEWSLETTER OF THE EASTERN UKRAINIAN NATIONAL UNIVERSITY imeni Volodymyra Dalia. – 2018. - № 6 (247).

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-12

УДК: 602.1:519.85:53.082.9:616-07

¹Марценюк В. П., ²Сверстюк А. С., ³Козодій Н. В., ⁴Дзядевич С. В., ²Стравський Т. Я.

¹Університет в Бельсько Бяла

²Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського,

³Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,

⁴Інститут молекулярної біології і генетики НАН України,

ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ БІОСЕНСОРІВ ТА ЇХ МОДЕЛЮВАННЯ

Марценюк В. П., Сверстюк А. С., Козодій Н. В., Дзядевич С. В., Стравський Т. Я. Функціональні особливості біосенсорів та їх моделювання. В роботі описано принцип роботи, основні елементи конструкції, галузі застосування та перспективи розвитку біосенсорів. Розглянуто підходи до їх розробки, наведені основні аналітичні характеристики, функціональні схеми вимірювання за допомогою біосенсора. Розглянуто проблеми і перспектива розвитку біосенсорів. Розроблено математичну модель біосенсора на основі гексагональної решітки з використанням решітчастих диференціальних рівнянь.

Ключові слова: біосенсори, математична модель, чисельне моделювання

Марценюк В. П., Сверстюк А. С., Козодій Н. В., Дзядевич С. В., Стравський Т. Я. Функциональные особенности биосенсоров и их моделирования. В работе описан принцип работы, основные элементы конструкции, области применения и перспективы развития биосенсоров. Рассмотрены подходы к их разработке, приведены основные аналитические характеристики, функциональные схемы измерения с помощью биосенсора. Рассмотрены проблемы и перспективы развития биосенсоров. Разработана математическая модель биосенсора на основе гексагональной решетки с использованием решетчатых дифференциальных уравнений.

Ключевые слова: биосенсоры, математическая модель, численное моделирование

Martseniuk V. P., Sverstiuk A. S., Kozodiy N. V., Dzadevich S. V., Stravsky T. Y. Functional features of biosensors and their modeling. The paper describes the principle of operation, the basic elements of design, scope and prospects for the development of biosensors. Approaches to their development are considered, basic analytical characteristics, functional circuits of measurement with biosensor are presented. The problems and perspective of biosensors development are considered. A mathematical model of biosensor based on hexagonal lattice using lattice differential equations is developed.

Keywords: biosensors, mathematical model, numerical modeling

Постановка наукової проблеми. Виявлення патогенних організмів, гормонів та інших відповідних аналітів вимагає створення інноваційних аналітичних приладів з підвищеною чутливістю, селективністю, високою точністю та швидкістю вимірювання, які базуються на різних фізичних явищах. Існуючі точні та чутливі лабораторні методи вимірювання, як правило, вимагають громіздкого і дорогого вимірювального обладнання, довготривалу підготовку досліджуваного зразка та наявність висококваліфікованого персоналу для обслуговування такого обладнання.

Аналіз досліджень. Актуальним напрямком розвитку аналітичного приладобудування є створення мініатюрних вимірювальних засобів. Мініатюризація пристроїв може бути досягнута за допомогою технології «лабораторії на чіпі» (lab on chip - LOC), яка об'єднує кілька вимірювальних функцій в одному чутливому елементі приладу. Ця технологія використовує мініатюрні вимірювальні об'єкти для обробки малої дози аналіту. Перспективність такої концепції розвитку аналітичних приладів та переваги LOC систем забезпечується зниженням проби досліджуваної речовини і витрат реагентів, автоматизацією та високою швидкістю отримання результату [1]. Основним елементом конструкції аналітичних приладів, які побудовані за технологією LOC, яка визначає характеристики приладу, є сенсор. Відповідно до загально визнаної термінології, сенсор – це чутливий елемент аналітичного датчика та фізичний перетворювач (первинний перетворювач), що реагує на зміну складу аналізованого компонента (аналіту) чи параметра, функціонально зв'язаного з ним [2]. Хімічний сенсор складається з чутливого шару, що селективно реагує на визначений аналіт за допомогою хімічної реакції, та фізичного перетворювача, який перетворює процес хімічної реакції в електричний сигнал та може бути використаний для якісного чи кількісного визначення цього аналіту [3]. Термін хімічний сенсор включає також і біологічні сенсори, що відрізняються від хімічних сенсорів наявністю на чутливому шарі біологічно активної речовини (рецептору), яка відповідає за селективність сенсора при аналізі взаємодій між біологічними об'єктами. Найбільш яскравими представниками біологічних сенсорів, які поєднують в собі перераховані якості, є біосенсори.

За допомогою біосенсорів проводять швидкі і прості вимірювання широкого кола речовин з високою селективністю та точністю [4]. Біосенсори характеризуються високою ефективністю і широко використовуються у харчовій промисловості [5], при моніторингу навколишнього середовища [6], в оборонній промисловості [7], але найчастіше за все у медичній діагностиці [8-14].

Основна частина. Біосенсори – різновид хімічних сенсорів, в яких система розпізнавання має біологічну природу та використовує або індивідуальні біомолекули, або біологічні надмолекулярні структури [15].

Під терміном біосенсор розуміють пристрій, в якому чутливий шар містить біологічний матеріал: ферменти, тканини, бактерії, дріжджі, антигени/антитіла, ліпосоми, органели, рецептори, ДНК. Цей шар безпосередньо реагує на присутність певного компонента і генерує сигнал, що залежить від концентрації цього компонента.

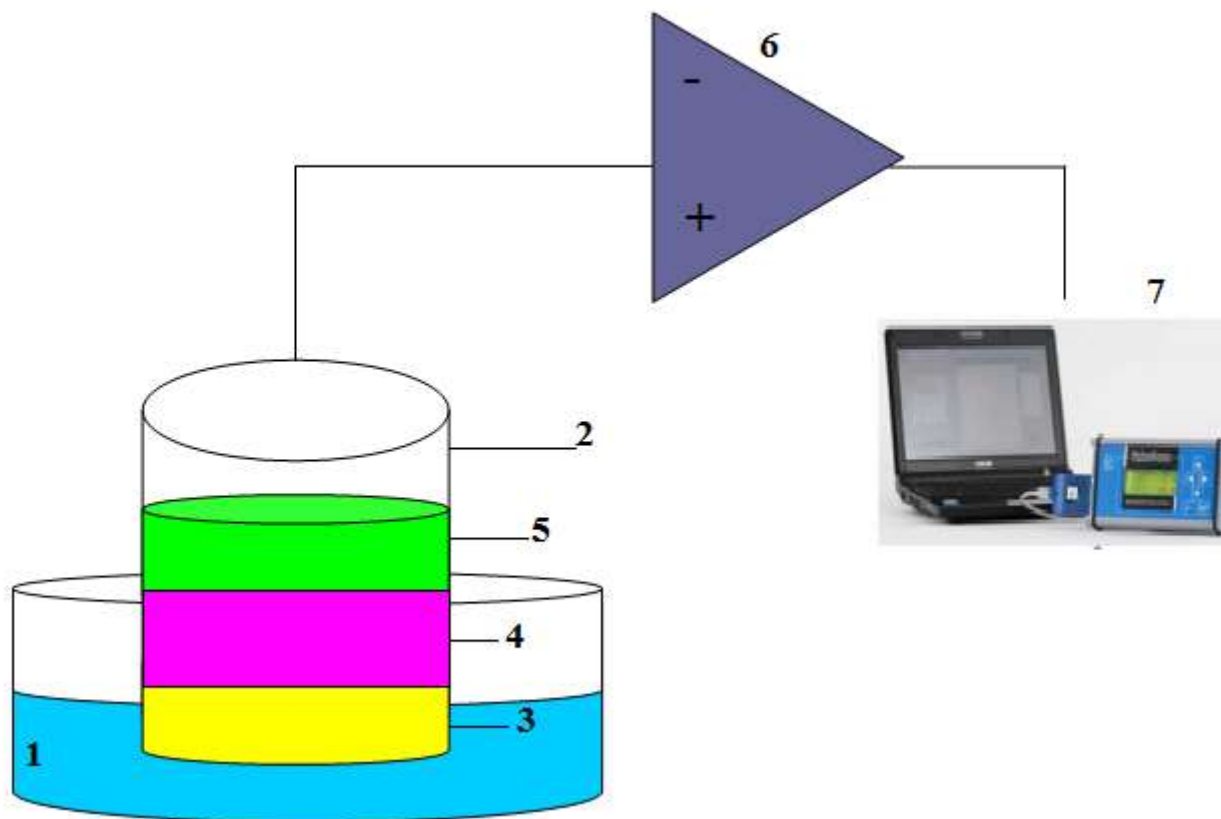
Конструктивно біосенсор аналогічний іншим видам хімічних сенсорів і складається із двох перетворювачів (біохімічного і фізичного), які знаходяться у тісному контакті один з одним [16].

При цьому біохімічний перетворювач (біотрансдюсер), виконує функцію біологічного елемента розпізнавання, перетворюючи компоненти, що визначаються, а точніше, інформацію про хімічні зв'язки у фізичні або хімічні властивості, в електричний сигнал. Фізичний перетворювач дає змогу зареєструвати цей сигнал.

Принцип роботи біосенсорів. Наявність у біосенсорі відповідних біоматеріалів з унікальними властивостями дозволяє з високою селективністю визначити необхідні сполуки у складній за складом суміші, не вдаючись до додаткових операцій, пов'язаних з використанням інших реагентів.

У якості трансдюсерів можуть бути використані різні біосенсори: електрохімічні, оптичні, термічні, п'єзоелектричні, на поверхневих акустичних хвилях тощо.

Біошар (біологічний елемент розпізнавання) може складатися із цілих організмів, живих тканин, клітин, органел, мембран, ферментів (індивідуальних), препаратів ферментів (неочищених), рецепторів, антитіл, нуклеїнових кислот тощо. Принцип роботи заснований на найважливіших хімічних реакціях живих організмів: реакції антитіло/антиген, фермент/субстрат, рецептор/гормон. Такі реакції використовуються для отримання високоселективних і чутливих біосенсорів, за допомогою яких визначаються необхідні речовини. У біосенсорах чутлива макромолекула, зазвичай, іммобілізована всередині мембрани або хімічно пов'язана з поверхнею, яка контактує з розчином речовини, що визначається. Функціональна схема біосенсора зображена на рис. 1.



- 1 – досліджувальний розчин;
- 2 – корпус біосенсора;
- 3 – напівпроникна мембрана (для механічного утримання біошару);

- 4 – шар біоматеріалу;
- 5 – фізичний перетворювач електрод, п'єзокристал і т.д.;
- 6 – підсилювач сигналу;
- 7 – пристрій відображення вимірювальної величини.

Рис.1. Функціональна схема біосенсора.

Речовина, що визначається, дифундує через напівпроникну мембрану в тонкий шар біокатализатора, в якому і протікає ферментативна реакція (рис. 1). Оскільки в даному випадку продукт ферментативної реакції визначається за допомогою електрода, на поверхні якого закріплений фермент, то такий пристрій називають ферментним електродом.

Між реагентом і речовиною, що визначається, завжди відбувається специфічна хімічна реакція. Це може бути або прямою взаємодією реагенту з речовиною, яка визначається, як у випадку реакції антиген/антитіло, або каталітичною взаємодією іммобілізованого ферменту з речовиною, що легко утворюється з продукту, що визначається [16].

Основні аналітичні характеристики біосенсора. Ефективність біосенсора визначають його аналітичні характеристики:

1. *Селективність* – це найважливіша характеристика біосенсора, що вказує на його здатність відрізнити одну речовину від інших. Селективність визначається розпізнавальним елементом сенсора, хоча в ряді випадків на неї впливають і характеристики трансдюсера.

2. *Границя визначення (чутливість)* – найменша концентрація, що може бути визначена біосенсором. Як правило, чутливість сенсора повинна бути нижчою за 1 ммоль, але в деяких випадках вона може досягати декількох фемтомолів (10^{-15} моль).

3. *Точність*. Біосенсор повинен забезпечувати точність вимірювань, тобто результати, що одержуються повинні бути близькими до істинного значення.

4. *Відтворюваність* – це міра того, як повторюються результати при багаторазовому проведенні вимірювань одним способом, а точність характеризує правильність отриманих результатів.

5. *Природа розчину*. Характеристики біосенсора можуть змінюватися залежно від рН, температури та іонної сили розчину.

6. *Час відгуку* – це той час, який потрібен для того, щоб аналітична система або прилад прийшли до стану рівноваги зі сполукою, що визначається. Звичайно в біосенсорах час відгуку становить понад 30 с, що значно більше, ніж у хімічних сенсорів.

7. *Час регенерації* – це час, необхідний для повернення сенсора у початковий стан, коли його знову можна використовувати для вимірювання.

8. *Термін експлуатації сенсора* - визначається стабільністю розпізнавального елемента. Для біосенсорів він може становити від декількох днів до місяців.

На рисунку 2 наведена функціональна схема вимірювання за допомогою біосенсора.

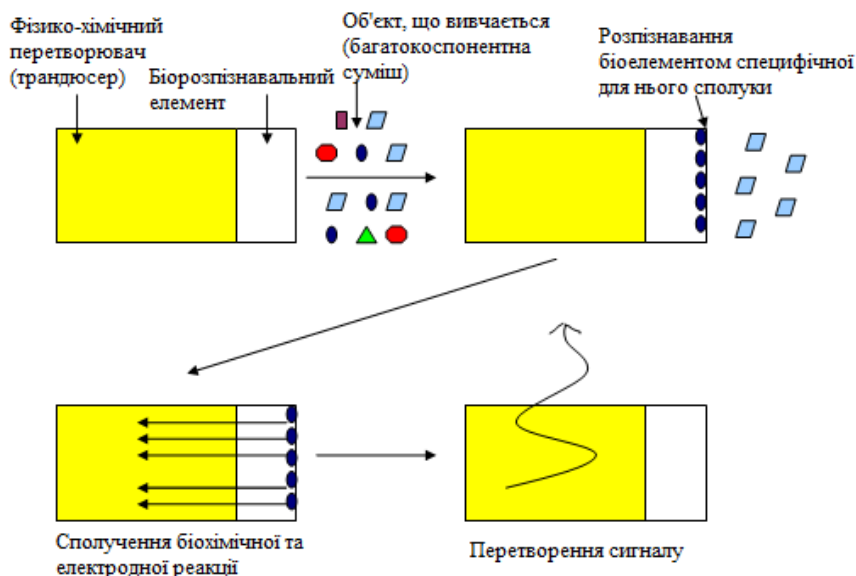


Рис. 2. Функціональна схема вимірювання за допомогою біосенсора.

Біосенсор складається з двох елементів: перетворювача (трансдюсера) і біорозпізнавального елемента.

На першому етапі вимірювання за допомогою біосенсора відбувається «ропізнавання» біоелементом специфічної для нього речовини з багатокомпонентної суміші.

На другому етапі відбувається перетворення інформації про протікання біохімічної реакції в електричний сигнал (електрохімічний, оптичний та ін.).

На останньому етапі електричний сигнал від трансдюсера перетворюється в цифрову форму з метою візуалізації (рис. 2).

Проблеми і перспектива розвитку біосенсорів. Головна перевага біосенсорів – висока специфічність біомолекул до цільового субстрату. Окремим класом біосенсорів є біосенсори, які отримали розвиток в останні роки. Біосенсори — це клас біосенсорів, пов'язаний із застосуванням антитіл як елементів біочутливості. Реакція відбувається між цільовою аналізованою речовиною та специфічним антитілом [17]. Електрохемілюмінесценція — біодосліджувана система для виявлення тринітроетилену, при якому антитіла, мічені до ензиму, фіксовані на парамагнітних носіях, сконцентровані на електроді завдяки магнетизму [18]. Проводяться дослідження з метою використання компактних мембран для біологічних досліджень [19]. Слід зазначити, що, незважаючи на успіхи біологічних досліджень, є труднощі: необхідні специфічні антитіли до кожної сполуки; біосенсори мають високу вартість; важко розрізнити сигнали при застосуванні біосенсорів; можлива втрата чутливості до них. До негативних моментів слід також віднести матричні ефекти, неспецифічну взаємодію, гетерогенність. Таким чином, створення біосенсорів та їх використання сприяють розвитку науки і промисловості. Сфера їх застосування різноманітна, включаючи моніторинг навколишнього середовища. Фундаментальною основою біосенсорів стало визначення антигенів антитілами завдяки утворенню стабільного компоненту. Водночас необхідне підвищення їх специфічності та розпізнавальної здатності. Цей метод не може бути застосований поки що у виробництві, а застосовується тільки в лабораторних дослідженнях. Маючи характеристики трасдукторів, біосенсори істотно малі, але активно проводяться спроби понизити їх розмір для більш ефективного застосування і для експериментів *in vitro* і *in vivo*. Це необхідно для досягнення певного фізичного стану, а не для сенсорів взагалі. Перспективи застосування біосенсорів розширюються, більшість досліджень пов'язані з розробками чутливих до медикаментів сенсорів та діагностикою різних захворювань [20, 21]. Відомі біосенсори, що можуть контролювати кількість глюкози [22], лактату [23], гормонів [24] у біологічних середовищах. Більшість цих завдань об'єднуються, узагальнюються, деякі з них пов'язані з молекулярними відбитками, матеріалами санітарії і гігієни, особливістю дії лікарських препаратів [25]. Аптамери можуть бути селективними елементами біосенсорів до спор *Bacillus anthracis*, вірусу *Influenza*, збудників туляремії, трипаносомозу, сальмонельозу, деяких інших збудників інфекційних хвороб [26]. Тому дослідження в цьому напрямку будуть розвиватися і далі. Встановлено, що сигнали внутрішньоклітинного кальцію можуть бути отримані *in vivo*. На сьогодні вже визначені метаболітотропні рецептори до катіонів, а також розшифровано процес вивільнення кальцію з внутрішньоклітинних депо [27]. Це перспективний напрямок для створення біосенсорів лікарських засобів, які впливають на обмін кальцію. Роботи в напрямку пошуків біосенсорів, дослідження їх властивостей, застосування в медичній практиці будуть сприяти підвищенню діагностики та ефективного лікування різних захворювань.

Математична модель біосенсора

Математична модель біосенсора на основі гексагональної решітки має вигляд решітчастої системи диференціальних рівнянь із запізненням

$$\begin{aligned} \frac{dV_{i,j,k}(t)}{dt} &= (\beta - \gamma F_{i,j,k}(t - \tau)) - \delta_v V_{i,j,k}(t - \tau) V_{i,j,k}(t) + \hat{S} \{V_{i,j,k}\} \\ \frac{dF_{i,j,k}(t)}{dt} &= (-\mu_f + \eta \gamma V_{i,j,k}(t - \tau) - \delta_f F_{i,j,k}(t) F_{i,j,k}(t)) F_{i,j,k}(t) \end{aligned} \quad (1)$$

яка задана початковими функціями (2):

$$\begin{aligned} V_{i,j,k}(t) &= V_{i,j,k}^0(t) \geq 0, \\ F_{i,j,k}(t) &= F_{i,j,k}^0(t) \geq 0, \quad t \in [-\tau, 0), \\ V_{i,j,k}(0), \quad F_{i,j,k}(0) &> 0. \end{aligned} \quad (2)$$

У формулах (1)-(2) використано наступні позначення:

$F_{i,j,k}(t)$ – концентрація антитіл в біопікселі;

$V_{i,j,k}(t)$ – концентрація антигенів;

i, j, k – координати біопікселів;

\hat{S} – просторовий оператор дифузії між сусідніми пікселями;

γ – ймовірнісна швидкість нейтралізації антигенів антитілами;

Δ – відстань між пікселями;

δ_f – швидкість, з якою популяція антитіл прагне до деякої межі насичення;

δ_v – швидкість, з якою популяція антигенів прагне до деякої межі насичення;

$\eta\gamma$ – ймовірнісна швидкість імунної відповіді на збільшення щільності антигенів;

μ_f – постійна смертності антитіл;

τ – постійна запізнення в часі, з якою настає імунна відповідь.

Модель (1) використовує просторовий оператор $\hat{S}\{V_{i,j,k}\}$:

$$\hat{S}\{V_{i,j,k}\} = \begin{cases} D\Delta^2[V_{i+1,j,k-1} + V_{i+1,j-1,k} + V_{i,j-1,k+1} + V_{i-1,j,k+1} + V_{i-1,j+1,k} + V_{i,j+1,k-1} - 6nV_{i,j,k}], \\ i, j, k \in \overline{-N+1, N-1}, \quad i + j + k = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Результати чисельного моделювання

Чисельні експерименти на основі комп'ютерного моделювання проводилися із врахуванням цілого натурального числа N , яке характеризує кількість пікселів в гексагональній решітці. Розглянемо модель (1)-(3) при $N = 4$, $\beta = 2xv^{-1}$, $\gamma = 2 \frac{\text{мл}}{xv \cdot \text{мкг}}$, $\mu_f = 1xv^{-1}$, $\eta = \frac{0.8}{\gamma}$, $\delta_v = 0.5 \frac{\text{мл}}{xv \cdot \text{мкг}}$, $\delta_f = 0.5 \frac{\text{мл}}{xv \cdot \text{мкг}}$, $n = 0.9$, $D = 0.2$, $\Delta = 0.3$. Комп'ютерне моделювання було реалізовано для різних значень τ . Результати чисельного моделювання системи (1) у вигляді фазових діаграм наведено на рис. 1.

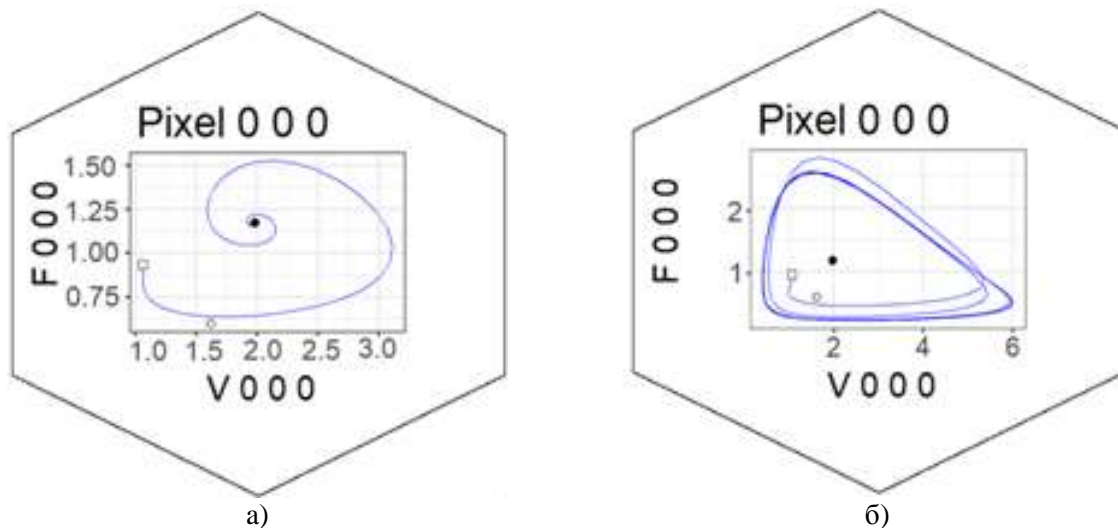


Рисунок 1. Результати чисельного моделювання системи (1) при а – $\tau = 0.05$, б – $\tau = 0.25$.

Аналізуючи фазові діаграми популяцій антигенів щодо антитіл (рис. 1) можна зробити висновок, що при $\tau = 0.05$ розв'язок системи (1) прагне до неідентичного ендемічного стану, який в даному випадку є стійким фокусом. Такі залежності спостерігаються для всіх біопікселів кібер-фізичної моделі біосенсорної системи на гексагональній решітці з використанням решітчастих диференціальних рівнянь із запізненням при $\tau \in [0, 0.25)$ (рис. 3а).

Аналізуючи фазові діаграми популяцій антигенів щодо антитіл (рис. 3б) можна зробити висновок, що при $\tau = 0.25$ виникає біфуркація Хопфа. Для теоретичного обґрунтування виникнення біфуркації Хопфа необхідно обчислити відповідну пару чисто уявних розв'язків характеристичного рівняння

лінеаризованої системи (1). Результати чисельного моделювання узгоджені з теоретичними результатами на основі теореми про біфуркацію Хопфа. При цьому розв'язок системи (1) прагне до стійкого граничного циклу з двома локальними екстремумами (один локальний максимум і один локальний мінімум) в циклі.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

В останні десятиліття проводяться дослідження з розробки методів і сенсорів, які можуть бути застосовані практично в будь-якому місці як експрес метод діагностики в клінічній медицині. Найкраще для цієї мети підходять портативні, швидкі і чутливі біосенсорні технології з можливістю оперативної інтерпретації результатів вимірювання медико-біологічних параметрів. Біосенсори та біосенсори, завдяки їх високій специфічності та чутливості, дають змогу виявляти широкий спектр аналітів в зразках зі складною матрицею (слина, кров, сироватка, лімфа, сеча), забезпечуючи при цьому мінімальну пробопідготовку.

Отже, в подальших дослідженнях доцільно розробляти математичні моделі біосенсорів та методи дослідження їх стійкості, з можливістю використання отриманих результатів при проектуванні сучасних вимірювальних систем медико-біологічних параметрів

Список бібліографічного опису.

1. Марценюк В.П. Про принципи, методи та сфери медико-біологічного застосування оптичних імуносенсорів [Текст] / В. П. Марценюк, А. Клос-Вітковська, А. С. Сверстюк, Т. В. Бігуняк // Медична інформатика та інженерія. 2018. № 2 (42). С. 28-36.
2. Амер Абдулмахді Члайхаві, Сепер Емамیان, Біну Бебі Наракату, Мохаммед Мохаммед Алі, Дінеш Маддіпатла, Бредлі Дж. Базуїн, Массуд З. Аташбар, екранований і гнучкий п'єзоелектричний датчик змінного струму на основі змінного струму, датчики та приводи А: фізичний, Том 268, 2017, Стр. 1-8, ISSN 0924-4247, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.10.030>.
3. Aurélie Bouchet-Spinelli, Bertrand Reuillard, Liliane Coche-Guérente, Sylvie Armand, Pierre Labbé, Sébastien Fort, олігосахаридний біосенсор для прямого моніторингу ферментативної діяльності з використанням QCM-D, Biosensors and Bioelectronics, том 49, 2013, стор. 290-296, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.05.027>.
4. Габрієла Фігероа-Міранда, Лінгян Фен, Саймон Чи-Чин Шиу, Родерік Маршалл Діркцагер, Йе-Вай Чен, Джуліан Олександр Таннер, Майкл Йозеф Шенінг, Андреас Офенхауссер, Дірк Майер, електрохімічний біосенсор на основі Аптамера для високочутливої та селективної малярії виявлення з регульованим діапазоном динамічного реагування та повторним використанням, Датчики та пускачі В: Хімічна, Том 255, Частина 1, 2018, Сторінки 235-243, ISSN 0925-4005, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.07.117>.
5. Man Lv, Yang Liu, Jinhui Geng, Xiaohong Kou, Zhihong Xin, Dayong Yang, інженерні біосенсори на основі наноматеріалів для виявлення безпеки харчових продуктів, біосенсори та біоелектроніка, том 106, 2018, стор. 122-128, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.01.049>.
6. Майкл Швенк, агенти хімічної війни. Класи та цілі, Токсикологічні листи, Том 293, 2018, Сторінки 253-263, ISSN 0378-4274, <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.11.040>.
7. Томаш Кутні, Міхал Крчма, Йозеф Когут, Петро Єзек, Яна Варнускова, Петро Вчелак, Ян Стрнадек, Он-лайн обчислення рівня глюкози в крові, Інформатика про Prodia, Том 98, 2016, Сторінки 228-235, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.037>.
8. Х'ю Хендрі, Менджі Чжен, Вей Лі, Кетлін Лейн, Роберта Амбуел, Крістіана Пурнелл, Фредерік Унверзагт, Алексія Торке, Ашок Баласубраманям, Кріс М. Каллахан, Суджуан Гао, зниження рівня глюкози передуюче деменції у літніх афроамериканців з діабетом, хвороба Альцгеймера та деменція, том 13, випуск 2, 2017, сторінки 111-118, ISSN 1552-5260, <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2016.08.017>.
9. Фуміхіто Накано, Кен Сакусіма, Реона Умекі, Ічіро Ябе, Акіра Ендох, Хіденао Сасаки, Вплив віку та рівня глюкози на рівень лактату в обстеженні спинномозкової рідини нейродегенеративних захворювань, Журнал неврологічних наук, том 378, 2017, Сторінки 45-48, ISSN 0022-510X, <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.04.033>.
10. Jbrand T. Klip, Douwe Postmus, Adriaan A. Voors, Frank PJ Brouwers, Ron T. Gansevoort, Stephan JL Bakker, Hans L. Hillege, Rudolf A. de Boer, Pim van der Harst, Wiek H. van Gilst, Дірк Дж. Ван Велдхуазен, Пітер ван дер Меер, Рівень гемоглобіну та серцева недостатність у новому стані, American Heart Journal, том 169, випуск 1, 2015, Сторінки 94-101.e2, ISSN 0002-8703, <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2014.09.010>.
11. Трентон Хонда, Вівіан Ч. Пун, Джастін Манджуридес, Хелен Сух, поширеність анемії та рівень гемоглобіну пов'язані з тривалим впливом забруднення повітря у літніх людей, Екологічний Інтернешнл, Том 101, 2017, Сторінки 125-132, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.017>.
12. Ліза Дж. Форест, Комп'ютерна томографія в онкології, Ветеринарні клініки Північної Америки: практика для малих тварин, том 46, випуск 3, 2016, Сторінки 499-513, ISSN 0195-5616, ISBN 9780323444880, <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2015.12.007>.
13. Чженмінг Гу, Хайцин Чжу, Алісія Родрігес, Мохаммед Мейссен, Стейсі Шульц Черрі, Елізабет Аддерсон, Рендалл Т. Хейден, Порівняльна оцінка широкопанельних ПЛР-аналізів для виявлення шлунково-кишкових патогенів у дитячих онкологічних пацієнтів, Журнал молекулярної діагностики, Том 17, Випуск 6, 2015, Сторінки 715-721, ISSN 1525-1578, <https://doi.org/10.1016/j.jmoldx.2015.06.003>.
14. Акіфумі Кавамура, Такаші Міята, 4.2 - Біосенсори, Редактор: Міцухіро Ебара, Біоматеріали Наноархітектоніка, Видавництво Ендрю Ендрю, 2016, Сторінки 157-176, ISBN 9780323371278, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37127-8.00010-8>.
15. Марценюк В. П., Клос-Вітковська А., Сверстюк А.С. Вивчення класифікації імуносенсорів з точки зору медичних завдань // Медична інформатика та інженерія. - 2018.-№ 1 (41). - С.13-19.

16. Чен-Схін Чуанг, Іі-Чун Ду, Тин-Фен Ву, Чен-Хо Чен, Да-Хуей Лі, Ши-Мін Чен, Тін-Чи Хуанг, Ссун-Пей Ву, Мухаммед Омар Шайх, Імуносензор для надчутливих та кількісне виявлення раку сечового міхура в точці тестування на догляд, Біосенсори та біоелектроніка, Том 84, 2016, Сторінки 126-132, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.12.103>

References

1. Martsenyuk V.P. On principles, methods and areas of medical and biological application of optical immunosensors [Text] / V. P. Martsenyuk, A. Klos-Witkowska, A. S. Sverstiuk, T. V. Bihunyak // *Medical informatics and engineering*. 2018. № 2 (42). P. 28-36.
2. Amer Abdulmahdi Chlaihawi, Sepehr Emamian, Binu Baby Narakathu, Mohammed Mohammed Ali, Dinesh Maddipatla, Bradley J. Bazuin, Massood Z. Atashbar, A screen printed and flexible piezoelectric-based AC magnetic field sensor, *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 268, 2017, Pages 1-8, ISSN 0924-4247, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2017.10.030>.
3. Aurélie Bouchet-Spinelli, Bertrand Reuillard, Liliane Coche-Guérante, Sylvie Armand, Pierre Labbé, Sébastien Fort, Oligosaccharide biosensor for direct monitoring of enzymatic activities using QCM-D, *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 49, 2013, Pages 290-296, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2013.05.027>.
4. Gabriela Figueroa-Miranda, Lingyan Feng, Simon Chi-Chin Shiu, Roderick Marshall Dirkwager, Yee-Wai Cheung, Julian Alexander Tanner, Michael Josef Schöning, Andreas Offenhäusser, Dirk Mayer, Aptamer-based electrochemical biosensor for highly sensitive and selective malaria detection with adjustable dynamic response range and reusability, *Sensors and Actuators B: Chemical*, Volume 255, Part 1, 2018, Pages 235-243, ISSN 0925-4005, <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.07.117>.
5. Man Lv, Yang Liu, Jinhui Geng, Xiaohong Kou, Zhihong Xin, Dayong Yang, Engineering nanomaterials-based biosensors for food safety detection, *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 106, 2018, Pages 122-128, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.01.049>.
6. Michael Schwenk, Chemical warfare agents. Classes and targets, *Toxicology Letters*, Volume 293, 2018, Pages 253-263, ISSN 0378-4274, <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2017.11.040>.
7. Tomas Koutny, Michal Krcma, Josef Kohout, Petr Jezek, Jana Varnuskova, Petr Vcelak, Jan Strnadek, On-line Blood Glucose Level Calculation, *Procedia Computer Science*, Volume 98, 2016, Pages 228-235, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.037>.
8. Hugh C. Hendrie, Mengjie Zheng, Wei Li, Kathleen Lane, Roberta Ambuehl, Christianna Purnell, Frederick W. Unverzagt, Alexia Torke, Ashok Balasubramanyam, Chris M. Callahan, Sujuan Gao, Glucose level decline precedes dementia in elderly African Americans with diabetes, *Alzheimer's & Dementia*, Volume 13, Issue 2, 2017, Pages 111-118, ISSN 1552-5260, <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2016.08.017>.
9. Fumihito Nakano, Ken Sakushima, Reona Umeki, Ichiro Yabe, Akira Endoh, Hidenao Sasaki, Effects of age and glucose levels on lactate levels in cerebrospinal fluid examination of neurodegenerative diseases, *Journal of the Neurological Sciences*, Volume 378, 2017, Pages 45-48, ISSN 0022-510X, <https://doi.org/10.1016/j.jns.2017.04.033>.
10. IJsbrand T. Klip, Douwe Postmus, Adriaan A. Voors, Frank P.J. Brouwers, Ron T. Gansevoort, Stephan J.L. Bakker, Hans L. Hillege, Rudolf A. de Boer, Pim van der Harst, Wiek H. van Gilst, Dirk J. van Veldhuisen, Peter van der Meer, Hemoglobin levels and new-onset heart failure in the community, *American Heart Journal*, Volume 169, Issue 1, 2015, Pages 94-101.e2, ISSN 0002-8703, <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2014.09.010>.
11. Trenton Honda, Vivian C. Pun, Justin Manjourides, Helen Suh, Anemia prevalence and hemoglobin levels are associated with long-term exposure to air pollution in an older population, *Environment International*, Volume 101, 2017, Pages 125-132, ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.017>.
12. Lisa J. Forrest, Computed Tomography Imaging in Oncology, *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, Volume 46, Issue 3, 2016, Pages 499-513, ISSN 0195-5616, ISBN 9780323444880, <https://doi.org/10.1016/j.cvs.2015.12.007>.
13. Zhengming Gu, Haiqing Zhu, Alicia Rodriguez, Mohammad Mhaissen, Stacey Schultz Cherry, Elisabeth Adderson, Randall T. Hayden, Comparative Evaluation of Broad-Panel PCR Assays for the Detection of Gastrointestinal Pathogens in Pediatric Oncology Patients, *The Journal of Molecular Diagnostics*, Volume 17, Issue 6, 2015, Pages 715-721, ISSN 1525-1578, <https://doi.org/10.1016/j.jmoldx.2015.06.003>.
14. Akifumi Kawamura, Takashi Miyata, 4.2 - Biosensors, Editor(s): Mitsuhiro Ebara, Biomaterials Nanoarchitectonics, William Andrew Publishing, 2016, Pages 157-176, ISBN 9780323371278, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37127-8.00010-8>.
15. Martsenyuk V.P., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A.S. Study of classification of immunosensors from viewpoint of medical tasks // *Medical informatics and engineering*. – 2018.-№ 1(41). – p.13-19.
16. Cheng-Hsin Chuang, Yi-Chun Du, Ting-Feng Wu, Cheng-Ho Chen, Da-Huei Lee, Shih-Min Chen, Ting-Chi Huang, Hsun-Pei Wu, Muhammad Omar Shaikh, Immunosensor for the ultrasensitive and quantitative detection of bladder cancer in point of care testing, *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 84, 2016, Pages 126-132, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.12.103>.
17. Parthasarathy P, Vivekanandan S, A numerical modelling of an amperometric-enzymatic based uric acid biosensor for GOUT arthritis diseases, *Informatics in Medicine Unlocked*, 2018, ISSN 2352-9148, <https://doi.org/10.1016/j.imu.2018.03.001>.
18. Fernando Zanghelini, Isaac A.M. Frías, Moacyr J.B.M. Rêgo, Maira G.R. Pitta, Marco Saciloti, Maria D.L. Oliveira, Cesar A.S. Andrade, Biosensing breast cancer cells based on a three-dimensional TiO2 nanomembrane transducer, *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 92, 2017, Pages 313-320, ISSN 0956-5663, <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.11.006>.
19. X. Jiang, M. G. Spencer "Electrochemical impedance biosensor with electrode pixels for precise counting of CD4+ cells: A microchip for quantitative diagnosis of HIV infection status of AIDS patients," *Biosensors and Bioelectronics*, vol. 25, no. 7, pp. 1622-1628, Mar. 2010. Agata Rembielak, Melanie Green, Azeem Saleem, Pat Price, Diagnostic and therapeutic imaging in oncology, *Medicine*, Volume 44, Issue 1, 2016, Pages 6-9, ISSN 1357-3039, <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2015.10.010>.
20. Alexandra M.V. Wennberg, Adam P. Spira, Corinne Pettigrew, Anja Soldan, Vadim Zipunnikov, George W. Rebok, Allen D. Roses, Michael W. Lutz, Michael M. Miller, Madhav Thambisetty, Marilyn S. Albert, Blood glucose levels and cortical thinning in cognitively normal, middle-aged adults, *Journal of the Neurological Sciences*, Volume 365, 2016, Pages 89-95, ISSN 0022-510X, <https://doi.org/10.1016/j.jns.2016.04.017>.
21. Sarah H. Kagan, The Future of Gero-Oncology Nursing, *Seminars in Oncology Nursing*, Volume 32, Issue 1, 2016, Pages 65-76, ISSN 0749-2081, <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2015.11.008>.

22. Gennady A. Evtugyn, Rezeda V. Shamagsumova, Tibor Hianik, 2 - Biosensors for detection mycotoxins and pathogenic bacteria in food, Editor(s): Alexandru Mihai Grumezescu, Nanobiosensors, Academic Press, 2017, Pages 35-92, ISBN 9780128043011, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804301-1.00002-3>.
23. Electrochemical and optical biosensors based on nanomaterials and nanostructures: a review. *Front. Biosci. (Schol Ed)* 3:1308–1331. doi:10.2741/228.
24. Wang, B., Takahashi, S., Du, X., and Anzai, J. (2014). Electrochemical biosensors based on ferroceneboronic acid and its derivatives: a review. *Biosensors (Basel)* 4, 243–256. doi:10.3390/bios4030243.
25. Dias, A. D., Kingsley, D. M., and Corr, D. T. (2014). Recent advances in bioprinting and applications for biosensing. *Biosensors (Basel)* 4, 111–136. doi:10.3390/bios4020111.
26. Alireza Nezami, Sadegh Dehghani, Rahim Nosrati, Negar Eskandari, Seyed Mohammad Taghdisi, Gholamreza Karimi. Nanomaterial-based biosensors and immunosensors for quantitative determination of cardiac troponins / *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis.* – Vol. 159. – 2018. – P. 425-436.
27. Oldach, L., and Zhang, J. (2014). Genetically encoded fluorescent biosensors for live-cell visualization of protein phosphorylation. *Chem. Biol.* 21, 186–197. doi:10.1016/j.chembiol.2013.12.012.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-13

UDC: 621.391

B. Moroz, doctor of technical science, professor; A. Shcherbakov, graduate student.
Ukraine, Dnipro, University of Technology

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM TO PERFORM SPECIAL FUNCTIONS

Мороз Б. І., Щербаков А. Г. Аналіз досліджень і розробок автоматизованої системи відеоспостереження для виконання спеціальних функцій. Розглянуто алгоритми створення автоматизованої системи реєстрації та відображення інформації з літальних апаратів і спостереження в режимі інтерактивного управління оператором. Проаналізовано архітектуру VR180 для шифрованого передачі потокового відео з декількох камер з літального апарату зі стабілізацією відео в польоті і проектуванням на шолом віртуальної реальності в перспективі огляду 360 градусів.

Ключові слова: FPV-система, AVC/SVC система кодування, VR180, трасування зображення, алгоритм компостування відео, FoV, VR-система, інтервальний моделювання.

Мороз Б. И., Щербаков А. Г. Анализ исследований и разработок автоматизированной системы видеонаблюдения для выполнения специальных функций. Рассмотрены алгоритмы создания автоматизированной системы регистрации и отображения информации с летательных аппаратов и наблюдения в режиме интерактивного управления оператором. Проанализирована архитектура VR180 для шифрованной передачи потокового видео с нескольких камер с летательного аппарата со стабилизацией видео в полете и проецированием на шлем виртуальной реальности в перспективе обзора 360 градусов.

Ключевые слова: FPV-система, AVC/SVC система кодирования, VR180, трассировка изображения, алгоритм компостирования видео, FoV, VR-система, интервальное моделирование.

B. Moroz, A. Shcherbakov. Research and development of an automated video surveillance system to perform special functions. A complex algorithm for creating an automated system for recording and displaying information from aircraft and observation in interactive operator control mode was presented. An architecture for encrypted transmission of video streaming from several cameras from an aircraft with in-flight video stabilization and projection of a virtual reality helmet on a 360-degree perspective was proposed.

Keywords: FPV-system, video registration, streaming video, algorithm, video camera, Diffie-Hellman algorithm, YOLO algorithm, neural network.

Introduction and statement of the research problem. Elements for providing virtual reality allow you to simulate the interaction of objects with a fictional environment, and also guarantee the ability to remotely receive high-quality images from a distant point. For these purposes, VR glasses are used, which allow the subject to turn his head in all directions horizontally and vertically during the review and get an actual image without significant loss in quality. Information carriers are flying objects (drones) equipped with cameras. If the virtual reality system works correctly, then a person in VR glasses is able to see almost the same picture of that captured by the camera of a quadcopter or other aircraft. Thus, our task is to understand 2 important aspects:

1. What the VR headset projects and what image is subsequently processed by the software.
2. How is wide-format shooting and further combining performed.

Goal. To propose a comprehensive algorithm for obtaining the actual image from multiple cameras. Pay attention to the further processing of files and combining the received data into a single picture. Describe the principle of obtaining information from video cameras, overlapping fragments, the solution to potential problems due to camera shake and an unexpected panorama change.

Analysis of recent research and publications. At the moment, there are several scientific developments regarding our topic:

1. Google has proposed a new format for shooting VR-video, namely VR180, which allows us to better deal with the problem of redundant information obtained when shooting with a panoramic view [1].
2. Indiana researchers (AT&T Labs – Research) have proposed a number of innovative ideas that include integration algorithms – a holistic system using effects at the system level [2].
3. Nick Livendag has proposed using real-time rendering as a solution to problems associated with stereoscopic 3D: the distance between two virtual cameras can be associated with variable control of the interpolar distance on the headset [3].

Statement of the main material.

With the development of modern technology, the demand for round-robin video files has increased. A virtual reality headset only fuels the interest of viewers, and also allows the use of such software for professional purposes. For entertainment and educational purposes of consumers, the dynamics of interest in 360-degree video has tripled since 2015 [4].

It is expected that the dynamics of the need for VR support will grow rapidly and closer to 2020 the sales of headsets and systems for virtual reality will increase by 70% [5]. Dynamics of interest in 360-degree video is shown in Figure 1.

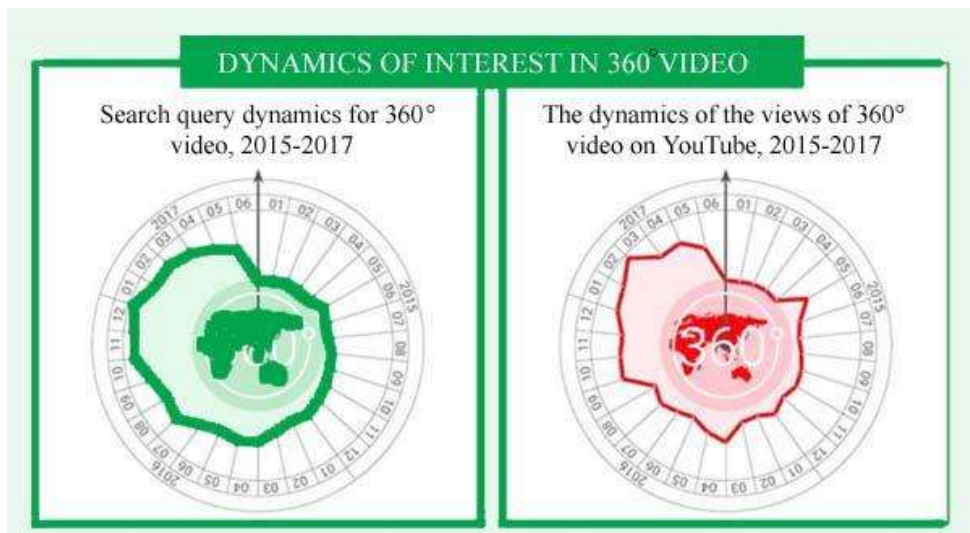


Fig. 1. Comparison of the dynamics of search queries for video in 360 degrees (2015-2017)

FPV-system, which is used as a way to interact with the drone, allows us to get a circular image. But the end result is still far from optimal, since 360-degree video streaming is “flat,” with noticeable artifacts for combining fragments [6].

The Indiana development team, with the support of specialists from 2AT&T Labs – Research, concluded that a number of problems associated with circular streaming video, which is transmitted to VR glasses from video cameras of flying objects (drones), can be solved through experimental studies and a detailed study of current difficulties :

1. Speed Adaptation.
2. The study and use of QoE metrics.
3. Getting high-quality inter-level interactions (TCP and web protocols, etc.).

Matteo Varvello and his colleagues continue to research in this area, currently offering a number of solutions that can save from the loss and obsolescence of information, the presence of visible artifacts when combining fragments, etc. One of the concepts that should be taken into account is field fragmentation Vision (FoV) [7]. Horizontal Field of View presented in Figure 2.

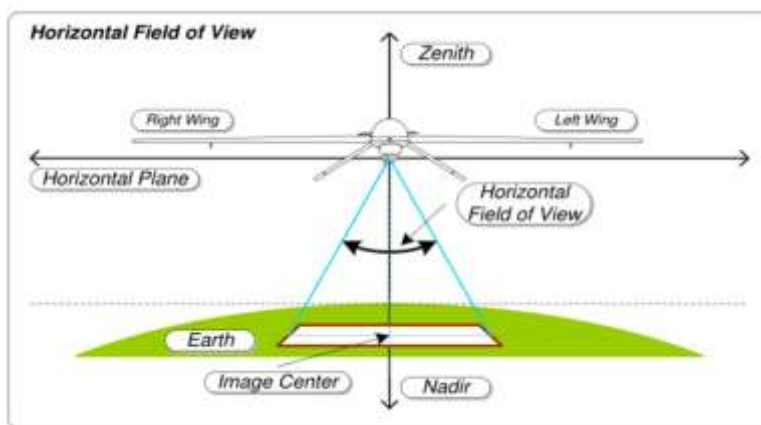


Fig. 2. Horizontal view model

According to an innovative coding scheme presented in Figure 3, selective step-by-step updating of fragments that users see is achieved. A two-level coding system allows us to create a multi-layer incremental block by means of a fundamental building block for streaming video files based on 360° mosaic.

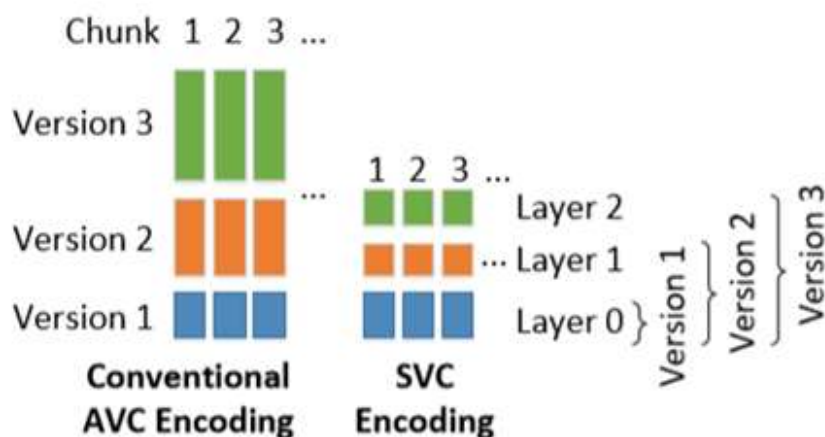


Figure 3: AVC vs. SVC encoding.

Fig. 3. The scheme of two-level video coding

Also, multilevel solutions were used by the team to obtain the best quality image. One streaming video is formed from data obtained from several sources at the same time [8]. However, the problem of combining fragments remains relevant until now. To avoid the difficulty of forming an adequate image in real time, Nick Liventag proposed using the concept of rendering [9] is shown in Figure 4.

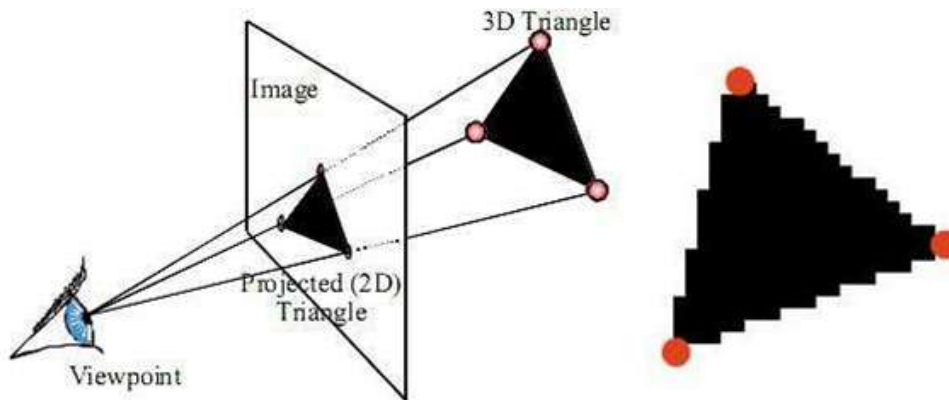


Fig. 4. Rendering scheme using real-time ray tracing as an example.

According to the theory of the researcher, the distance between two virtual cameras can be associated with variable control of the interpolator distance on the headset. However, in practice, it is also possible to encounter image transmission delays, the presence of visible artifacts [10]. The analogue of 360-degree video files that can be observed using VR glasses and an adequately configured FPV system is the 180-degree shooting mode proposed by Google developers.

The average person is able to cover with his binocular vision a sector of 120 degrees, this is achieved due to the synchronization of the image from both eyes. But with peripheral vision, a person is able to see a sector of about 180° – thanks to an additional 30° to the left and right zone of vision. Human vision zones are shown in Fig. 5.

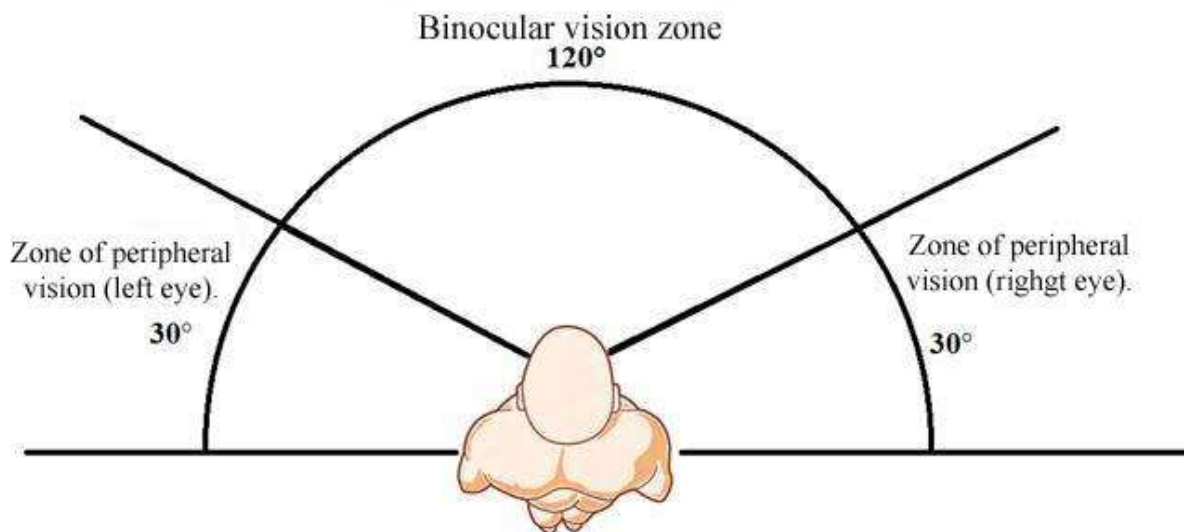


Fig. 5. Scheme of zones of peripheral and binocular vision of a person

Based on the zones of human vision, it can be clearly determined that we do not have an extreme need to take data in the 360° sector, 180° is enough. For this task, we will need far fewer cameras than in the case of 360° shooting. The result is better due to the larger overlay area. That is, the picture will be presented to the user more saturated and with a better immersion effect. Benefits of shooting in VR180 mode are:

1. The best immersion effect for the user compared to 360 video.
2. Cameras are cheaper and the number of cameras needed is less.
3. Fewer artifacts and problems, in particular stitching (combining)
4. Shooting in this format places less demands on both equipment and processing using software.

Let's take a closer look at the option of 180-degree shooting for a virtual reality headset. As mentioned above, combining fragments in VR180 mode is not needed, which eliminates the need to work through visible artifacts and edit other inaccuracies in the resulting image from multiple media. The lack of need for stitching (combining) is also due to the presence of only two cameras for shooting streaming video [11].

For comparison, drones use 8, 17 or more cameras to obtain a circular view image. Projection from the shooting equipment of drones to the VR-system occurs through the formation of the overall picture from the finished blocks of fragments. The principle is to minimize errors in input (when shooting), in order to subsequently reduce the divergence in the image at the output (during translation). Additionally, it is possible to avoid obsolescence of information, which is characteristic of the 360° shooting mode. The user is able to cover the maximum amount of data proposed by VR180. An example of processing fragments in VR180 mode is shown in Figure 6.

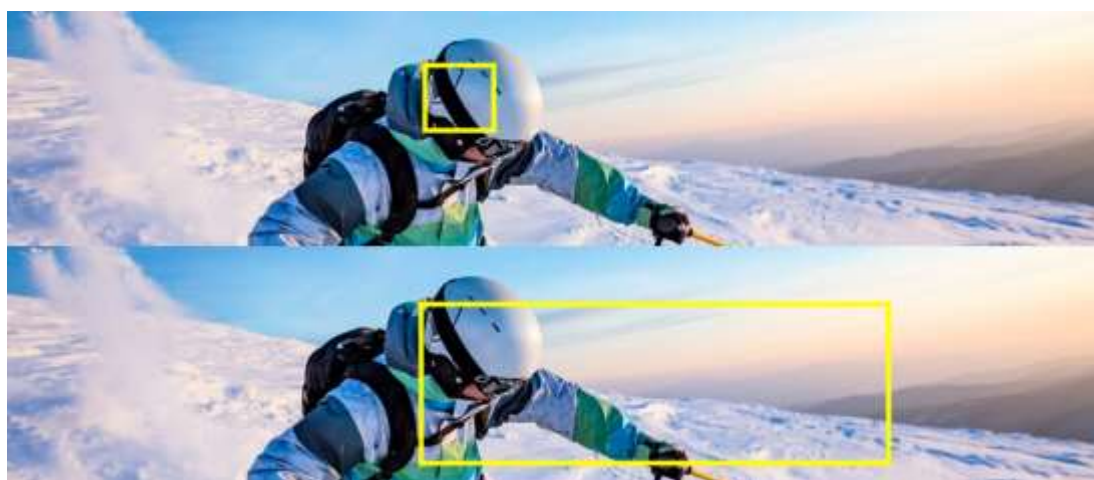


Fig. 6. An example of processing fragments in VR180 mode

Robert Anderson, who is Google's leading virtual reality specialist, claims that shooting errors are minimal. The development team has proposed the optimal format for saving and broadcasting streaming video files. ODS allows us to achieve optimal image compression and prepare the file for further editing (changing contrast, color, black balance) [12].

An algorithm for transmitting information from a drone to a VR system can be used as in Figure 7. The automatic system calibrates the received data, taking into account all the details when calibrating files from all cameras. Streaming video is processed and also corrects errors due to external influences on the aircraft. The final step is to create a common picture with the output of the final image in ODS format to a virtual reality headset (VR glasses) [13].

To handle scenes with large exposure variations that are common in panoramic capture, each camera in the installation is exposed independently of other information transmitters. This means that adjacent cameras can have very different settings. Differences in exposure are compensated for. This helps to avoid differences when watching live video with VR glasses [14].

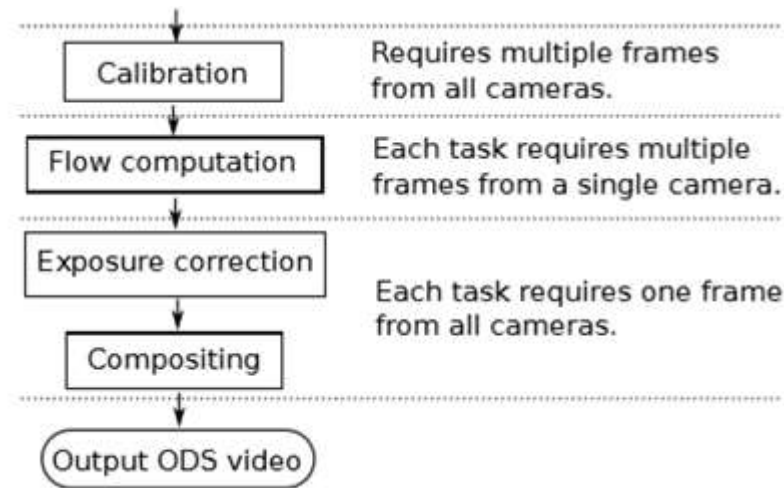


Fig. 7. The algorithm for transmitting information from the aircraft to the user

To achieve the optimal signal between all media and transmitters of the FPV system, an interval-based compositing algorithm is used, in which each fragment is assigned a range of fjort imbalance, presented in Figure 8 [13].

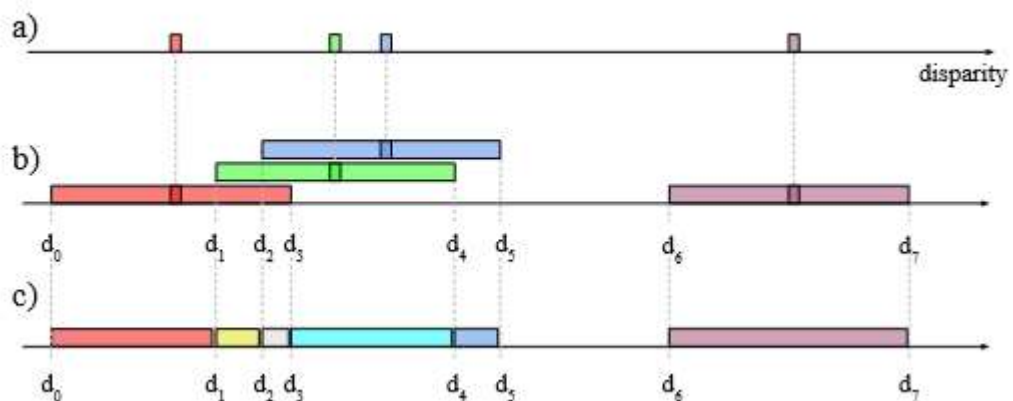


Fig. 8. Schematic representation of the compositing algorithm

Automatically the computing system turns the fragment into a three-dimensional object, where a range of imbalances simulates the uncertainty over the optical stream. If the signal from one camera becomes

weaker, then the missing fragments are intuitively replaced by clear units in order to avoid constant size imbalances [13].

Thanks to interval modeling, the picture is transmitted without distortion and without significant delays to the user in real time. According to researchers at Google, the long distance of objects is not the cause of artifacts. The most common difficulty catalyst is a different series of problems:

1. Objects are too close – the camera does not have the ability to integrate video at a minimum distance with objects.
2. Blurred structure of the object – rendering fails if the camera does not have the ability to recognize a clear structure of the object, landscape and other details.
3. Comprehensive panorama – complex scenes can cause flashbacks.

The above reasons for the malfunctions of the FPV system can also affect the focus quality of the drone's camera. Google developers provided a number of recommendations for users in the form of a list (Fig. 9) [15].

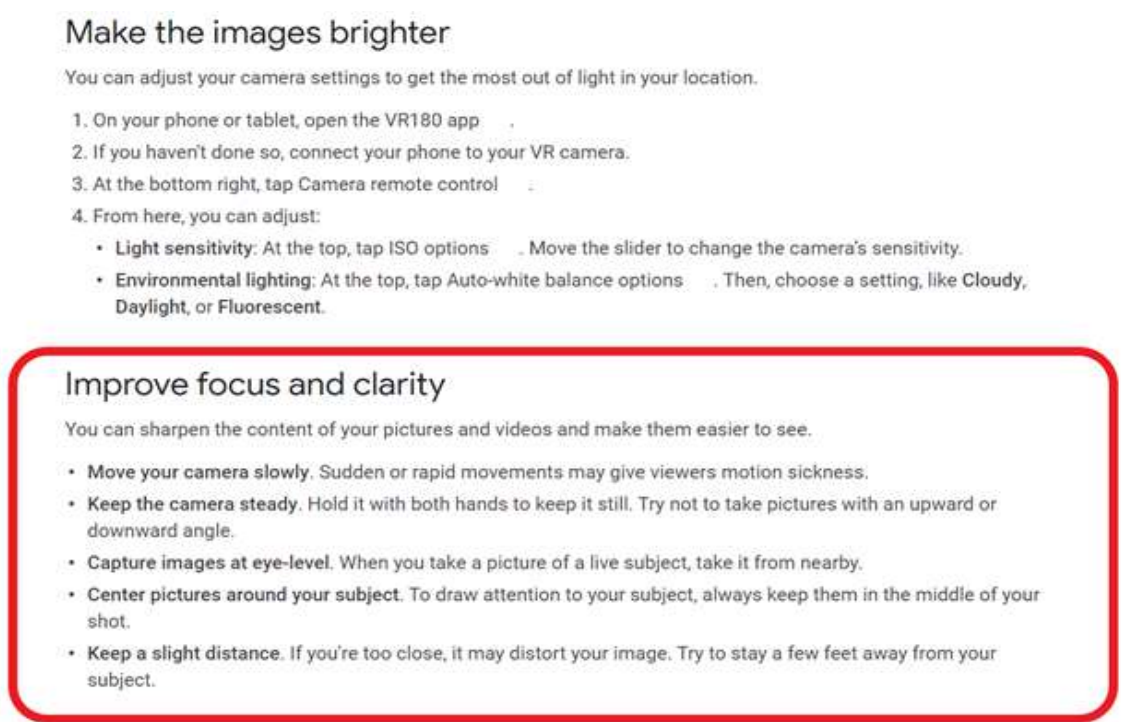


Fig. 9. Google Developer's Guidelines for a clear focus of objects

At the moment, a block of recommendations on virtual reality and viewing a video file using a VR headset is available only in English. The list describes the following points:

1. The camera should be controlled smoothly so that objects are adequately captured and broadcast without flaws.
2. It is necessary to avoid sudden movements and dramatic changes in the course of the aircraft.
3. It is necessary to be from the object in a certain availability.
4. It is necessary to place the subject of interest closer to the center for quick focus.
5. It is not necessary to get too close to the object that interests you.

An example of ways to edit a streaming file was also given above. In addition to standard tools for changing the resulting picture, there are additional programs for editing the received streaming video. Thus, the user can create his own video, interactive content and more. If the VR glasses support the augmented reality (AR) format, then it is possible to use two functions in parallel through the provision.

To date, a number of companies are working on a line of VR headsets, which would be able to provide opportunities for shooting streaming video and in non-stop editing of the information received, followed by the overlay of the necessary data on the finished video file or in real time. Existing models have a viewing angle of only 110 degrees. Manufacturers claim that with the help of additional cameras and installation systems, it is possible to increase the overall visibility by 40 degrees.

BEST STANDALONE VR HEADSETS 2019

Search:

Standalone VR headset	FOV	DoF	Country	Release year	Price in USD (MSRP*)
DPVR M2 PRO	96°	3DoF	China	2016	\$590
GenBasic Quad HD	110°	3DoF	United States	2016	\$199
HTC VIVE Focus	110°	6DoF	Taiwan	2018	\$650
Lenovo Mirage Solo	110°	6DoF	China	2018	\$400
Oculus Go	-	3DoF	United States	2018	\$199
Oculus Quest	95°	6DoF	United States	2019	\$399
Pico Goblin	92°	3DoF	China	2017	\$269
Pico Neo	-	6DoF	China	2018	\$749
Xiaomi MI VR	-	3DoF	China	2018	\$235

Fig. 10. Table of models of VR-headsets with the possibility of mixed reality

Figure 10 shows a list of universal helmets that support parallel augmented reality. It can be seen above that the maximum viewing radius is 110 degrees [16].

An algorithm for transmitting information from a drone to a VR system is proposed below, in Figure 10. The automatic system calibrates the received data, taking into account all the details when calibrating files from all cameras. Streaming video is processed and also corrects errors due to external influences on the aircraft. The final step is to create a common picture with the output of the final image in ODS format to a virtual reality headset (VR glasses).

Conclusion and prospects for further development. The 21st century is a stage in the rapid development of modern technology. Today, users have the opportunity to use a special equipment to receive a three-dimensional image or watch live video broadcasting. The article touched on the issue of FPV systems that are aimed at providing real-time image from aircraft cameras (drones) with broadcast through a VR headset in the mode of 180-360 degrees of view. It was found that this area of research is relevant, as the demand for virtual reality technology is growing. Algorithms and techniques that are used in innovative VR models have been proposed, and an analysis of the difficulties that have yet to be solved has been performed.

References.

1. Official YouTube Blog: The world as you see it with VR180. [Electronic resource] // <https://youtube.googleblog.com/2017/06/the-world-as-you-see-it-with-vr180.html>
2. Alexandra Voit, Sven Mayer, Valentin Schwind, Niels Henze: Online, VR, AR, Lab, and In-Situ: Comparison of Research Methods to Evaluate Smart Artifacts. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Proceedings, 2019. –P. 1-10.
3. The 360° VR Paradox — Why 360° video is both a problem and a necessity for the success of Virtual Reality.. [Electronic resource] // URL: <http://nicklievendag.com/the-vr-paradox/>
4. VR dynamic to growth. [Electronic resource] // URL: <https://www.gamesindustry.biz/articles/2018-12-06-ar-vr-spending-to-jump-69-percent-in-2019-idx>.
5. The future of mobile video is virtual reality. [Electronic resource] // URL: <https://techcrunch.com/2016/08/30/the-future-of-mobile-video-is-virtual-reality>.
6. Xing Liu, Qingyang Xiao, Vijay Gopalakrishnan, Matteo Varvello: Research 360° Innovations for Panoramic Video Streaming, – P. 50-55. ACM, 2017.
7. Field of View. [Electronic resource] // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Field_of_view.

8. B. Han, F. Qian, L. Ji, and V. Gopalakrishnan. MP-DASH: Adaptive Video Streaming Over Preference-Aware Multipath. In Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies, – P. 129–143. ACM, 2016.
9. Что такое рендеринг? [Electronic resource] // URL: <https://www.aion.pro/post/chto-takoe-rendering-v-realnom-vremeni-i-zachem-on-nuzhen>.
10. Video 360°: качественно новый зрительский опыт [Electronic resource] // URL: <https://www.thinkwithgoogle.com/intl/ru-ru/insights-trends/user-insights/video-360-kachestvenno-novyi-zritelskii-opyt/>.
11. Gluckman, J., Nayar, S. K. Real-time omnidirectional and panoramic stereo. – P. 121-122, 1998.
12. ODS format. [Electronic resource] // URL: <https://whatis.techtarget.com/fileformat/ODS-OpenDocument-Spreadsheet>.
13. Robert Anderson, David Gallup, Jonathan T.: Virtual Reality Video, – P. 1-15, 2019.
14. Evaluation Methodology. [Electronic resource] // URL: <http://videomattng.com>.
15. Tips for taking VR footage – VR180 Help. [Electronic resource] // URL: <https://support.google.com/vr180/answer/7687174?hl=en>
16. The best all-in-one headsets. [Electronic resource] // URL: <https://www.aniwaa.com/best-of/vr-ar/best-standalone-vr-headset/>

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-14

УДК: 004.421.2

М. М. Поліщук, С. В. Гринюк, Д. Янчук

Луцький національний технічний університет

ТЕСЛА-СВІЧ 4-Х БАТАРЕЙ НА ОСНОВІ СИСТЕМНОЇ ПЛАТИ ARDUINO UNO

М. М. Поліщук, С. В. Гринюк, Д. І. Янчук. Тесла-свіч 4-х батарей на основі системної плати Arduino Uno. У статті було досліджено наявність ефекту «Тесла-свіч» на базі розробленого генератора, та була визначена структурна схема пристрою. Було проведено аналіз розробленого генератора Тесла для 4-х батарей та представлено код програми управління оптронами. У статті також представлено переваги, недоліки та перспективи вдосконалення пристрою.

Ключові слова: тесла-свіч, генератор, комутатор, батареї, оптопар, транзистор, системна плата, arduino, мікроконтролер.

Н. Н. Полищук, С. В. Гринюк Д. И. Янчук. Тесла-свеч 4-х батарей на основе системной платы Arduino Uno. В статье было исследовано наличие эффекта «Тесла-свеч» на базе разработанного генератора и была определена структурная схема устройства. Был проведен анализ разработанного генератора Тесла для четырех батарей и представлено код программы управления оптронами. В статье также представлены преимущества, недостатки и перспективы совершенствования устройства.

Ключевые слова: тесла-свечей, генератор, коммутатор, батарее, оптопары, транзистор, системная плата, arduino, микроконтроллер

M. M. Polishchuk, S. V. Hryniuk, D. Yanchuk. Tesla candle for four batteries based on Arduino Uno motherboard. The article investigated the presence of the Tesla-candle effect on the basis of the developed generator and determined the structural scheme of the device. An analysis of the developed Tesla generator for four batteries was carried out and the code of the optocoupler control program was presented. The article also presents the advantages, disadvantages and prospects of improving the device.

Keywords: Tesla candle, generator, switch, batteries, optocouplers, transistor, motherboard, arduino, microcontroller.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день досить актуальна тема енергозбереження та екологічності систем електропостачання на випадок природної катастрофи. Повінь на Далекому Сході вивела з ладу лінії електропередач. В Японії сталося лихо, під час якого постраждала атомна електростанція і виділилася назовні величезна доза радіації, яка завдала величезної шкоди навколишній природі і людині. Після аварії на Саяно-Шушенській ГЕС немає впевненості, що існуюча система електропостачання надійна і стабільна.

Сучасна людина безпосередньо залежить від енергопостачання, так як побутове обладнання вимагає постійного електроживлення. Але основні джерела електрики - атомні і річкові електростанції. Виникає питання, а чи є альтернатива вже наявних джерел електричної енергії? Чи не можна створити автономне джерело енергії?

Мета та завдання. Перевірка теорії генератора 4-х батарей Нікола Тесла, шляхом практичної реалізації та експериментальних досліджень.

Аналіз попередніх досліджень.

Генератор Тесла для 4-х батарей

Корпорація Electrodyne тестувала схему Тесла з 4-ма батареями протягом 3-х років. Вони виявили, що у кінці тестування батареї, не показали ознак будь-якого зносу, при цьому використовувалися звичайні кислотно-свинцеві батареї. Системи живила освітлення, обігрівачі, телевізори, невеликі двигуни, а також електродвигун потужністю 30 к.с. Якщо батареї розряджалися до найнижчого значення, а потім підключалися з навантаженням, то перезарядка батарей відбувалася менш ніж за 1 хв. Залишена без втручання, кожна з батарей приймала заряд до 36 В. При застосовуванні механічних комутаторів дійшли висновку, що при частоті комутації менше 100 Гц схема неефективна, а понад 800 Гц може бути небезпечно, схема Тесла з 4 батареями зображено на рис. 1.1.

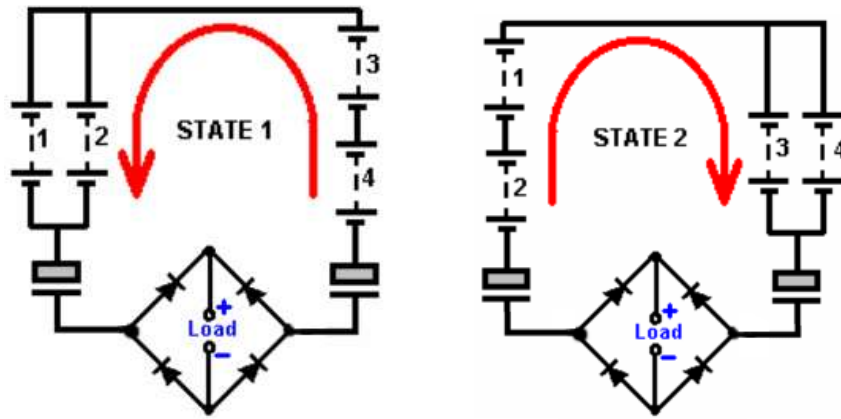


Рис. 1.1 – Схематичне зображення підключення батарей для двох тактів генератора Tesla

У першій фазі 3 і 4 батареї заряджають 1 і 2 батарею і живлять навантаження, а другій – навпаки (рис. 1.2).

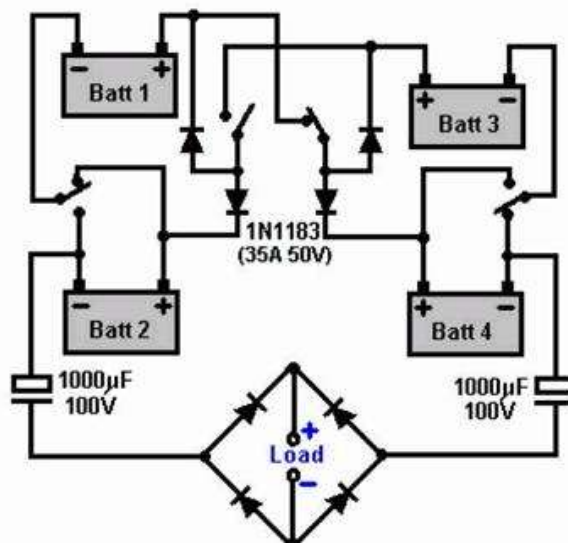


Рис. 1.2 – Схема генератора Tesla побудованого на механічних перемикачах

Тут Tesla використовував чотири діоди, щоб спростити перемикання і зменшити кількість перемикачів. Розглянемо роботу схеми. Крок перший (рис. 1.3):

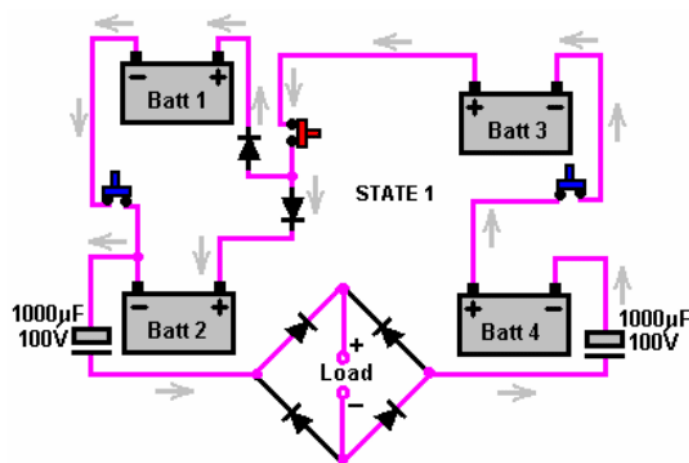


Рис. 1.3 – Рух струму в генераторі в першому такті роботи

Тут батареї 1 і 2 з'єднані паралельно, а батареї 3 і 4 послідовно. Крок другий (рис. 1.4):

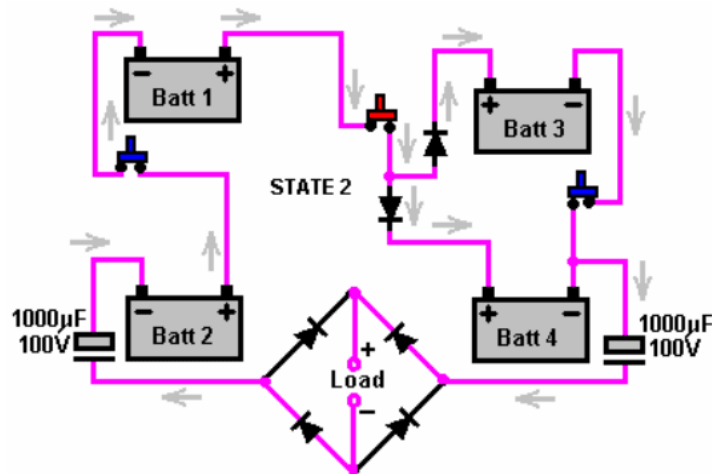


Рис. 1.4 – Рух струму в генераторі в другому такті роботи

Простий спосіб зробити шість швидкодіючих перемикачів на валу двигуна (рис. 1.5):

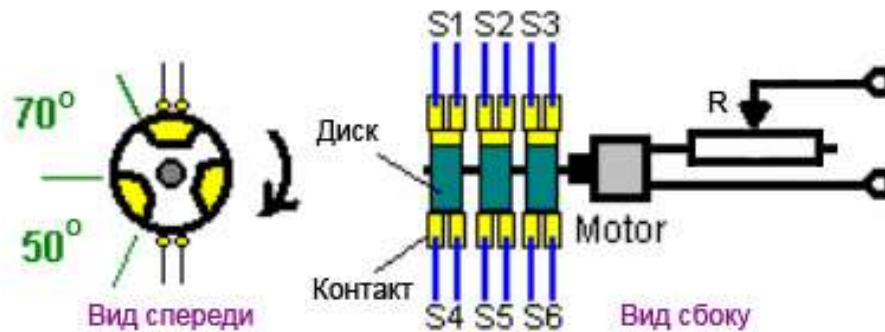


Рис. 1.5 – Реалізація високошвидкісних механічних перемикачів

Ці три ротора ізолювані один від одного з секторами до якими підключені щітки контактів. При роботі двигуна відбувається механічне перемикання таким чином: коли верхні щітки комутують ланцюг, нижні щітки - розмикають ланцюг. Дуже важливо, щоб ні в якому разі при обертанні на були скомутовані нижні і верхні щітки. Тобто спочатку розрив, а потім підключення контактів.

У замкнутому стані без навантаження схема заряджає акумулятори аж до 36 вольт без ознак "хвороби" банок. При навантаженні падає до 12 вольт і тримає це значення. Частоти в схемі приблизно від 300 до 800 Гц.

Відбувається розряд двох послідовно з'єднаних акумуляторів на два з'єднані паралельно. Потім ті акумулятори, які з'єднали паралельно з'єднуємо послідовно, а інші навпаки.

Робимо це з частотою приблизно 500-1000 Гц. Отримуємо змінний ємнісний струм. Як навантаження використовуємо індуктивність.

Уже при даній частоті за умови присутності проти-едс паралельно включених акумуляторів, струм провідності виникнути не може. Але "хвиля, що біжить" відбиваючись від кінця лінії і повертаючись назад викликає рух вільних електронів в провіднику. Акумулятори мають рівний вольтаж і ємність.

Акумулятор не розряджаються тому, що ми використовуємо їх саме як ємності, що не замикають ланцюга плюс мінус. Включення полярних конденсаторів в якості діодів називається електролітичним випрямлячем. Застосування даних схем обмежена частотою з якою можуть працювати той чи інший конкретний вид конденсаторів по документації для них.

Ставлячи замість лампочки два зустрічно підключених (мінус-мінус) полярних конденсатора та індуктивне навантаження між ними маємо наступну картину. Такт I - ЕРС лівої гілки більше ЕРС правої - заряджається конденсатор підключений до акумулятора зі зворотною полярністю, інший просто не перешкоджає цьому процесу. Такт II - ЕРС правої гілки більше ЕРС лівої - заряджається конденсатор підключений до акумулятора зі зворотною полярністю, інший не просто не

перешкоджає, а й віддає заряд (назвемо їх "буферною" ємністю), резонансний режим роботи дасть потужніший підйом напруги заряду.

Механічне перемикання можна замінити електронними ключами, з'єднаємо схеми разом та отримаємо (рис. 1.6):

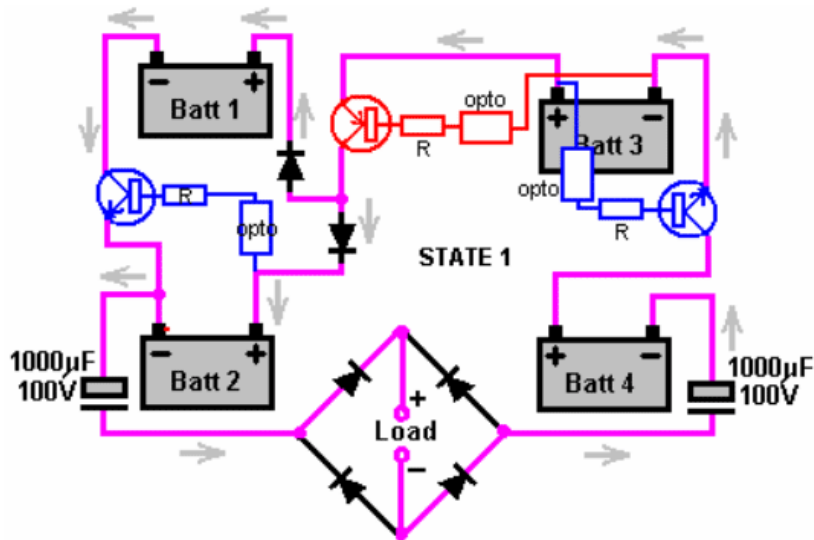


Рис. 1.6 – Рух струму в генераторі з напівпровідниковими транзисторними ключами в першому такті роботи

Кожен з трьох механічних вимикачів замінений транзистором - один тип P-N-P і два типи N-P-N-структури. Вони повинні бути розраховані на 30 ампер мінімально. Струм на базу транзистора надходить через обмежувальний резистор, що живиться від відповідної батареї 12В. Перемикання здійснюється з використанням опторозв'язки для гальванічного від'єднання генератора робочої частоти від основної схеми. Три оптопари вмикаються одночасно за сигналом керуючого генератора, а інші три оптопари при цьому відключені (рис. 1.7).

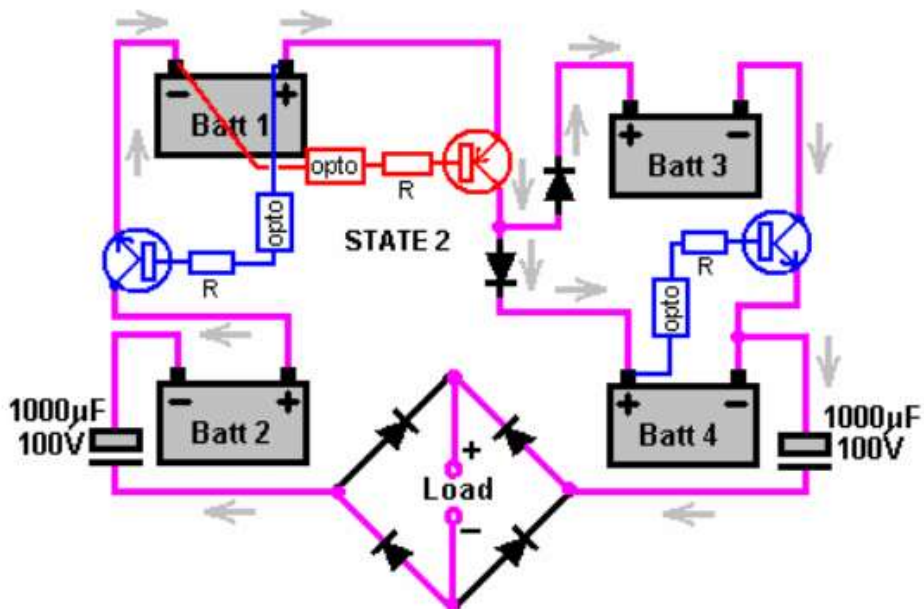


Рис. 1.7 – Другий такт роботи генератора з транзисторними ключами

Запропонована вище схема реалізована на найпростіших і доступних компонентах. Але необхідна ще схема контролю заряду акумуляторів, щоб не перезаряджати їх, щоб вони не вибухнули або не вийшли з ладу.

Схема для контролю напруги вмикає підзарядку, коли вона досягає 14 - 15 В і вмикає, коли вона опускається до 12.5 В або близько того.

З'єднувальні провідники і діоди повинні бути розраховані на 30-50 А. Акумулятори у Тесли свинцево-кислотні, але Джон Бедіні успішно використовував нікель-кадмієві.

Для підключення навантаження можна використовувати інвертор 12/220 В для живлення будь-яких пристроїв.

Виклад основного матеріалу.

Ідея генератора для 4-х батарей не нова та виникла задовго до появи напівпровідникових радіоелектронних компонентів. Для швидкісного перемикачання батарей в перших генераторах використовувались механічні реле та контактори. Однак вони не могли забезпечити стабільного контакту, частоти перемикачання та відсутності спотворень. Також важко було уникнути втрат на контактах.

З розвитком елементної бази стало легше виконувати завдання по створенню нових схемотехнічних рішень. Напівпровідникові транзистори стали відмінним заміником механічних перемикачів при побудові схем із швидкісною комутацією. Однак на високих частотах залишилась проблема стабілізації частоти перемикачання. Із складністю такого гатунку успішно справляються схеми керуючих генераторів із кварцовим резонатором.

Як правило із стабілізацією частоти роботи на основі кварців будуються схеми арифметико-логічних пристроїв. Мікроконтролер, як ніщо інше, згодиться для керуючого пристрою генератора Тесла. При побудові пристрою використання мікроконтролера дозволить:

- налаштувати параметри системи;
- отримати на виході стабільну частоту;
- підключити додаткові сенсори для контролю роботи системи;
- ввести в пристрій управляючі елементи, якими буде управляти мікроконтролер.

Через відносно високі напруги, які будуть працювати в системі, існує великий ризик пошкодити схему управління та мікроконтролер. З іншого боку сам мікроконтролер не призначений для управління силовими системами. В цій ситуації в нагоді стане пристрій опто-електричного перетворення – оптрон або опто-пара. Він дозволить стабільно, і з високою швидкістю мікроконтролеру керувати силовими ланцюгами генератора. Також буде здійснена гальванічна розв'язка схеми генератора та блока управління, що захистить мікроконтролер від пошкодження високою напругою.

З огляду на все вище сказане була обрана схема генератора Бедіні-Тесла із такими модифікаціями:

- біполярні транзистори були замінені на польові;
- для гальванічної розв'язки були використані оптрони;
- керуючим пристроєм було обрано програмований мікроконтролер.

Силова частина генератора має такий вигляд, який зображено на рисунку 1.8.

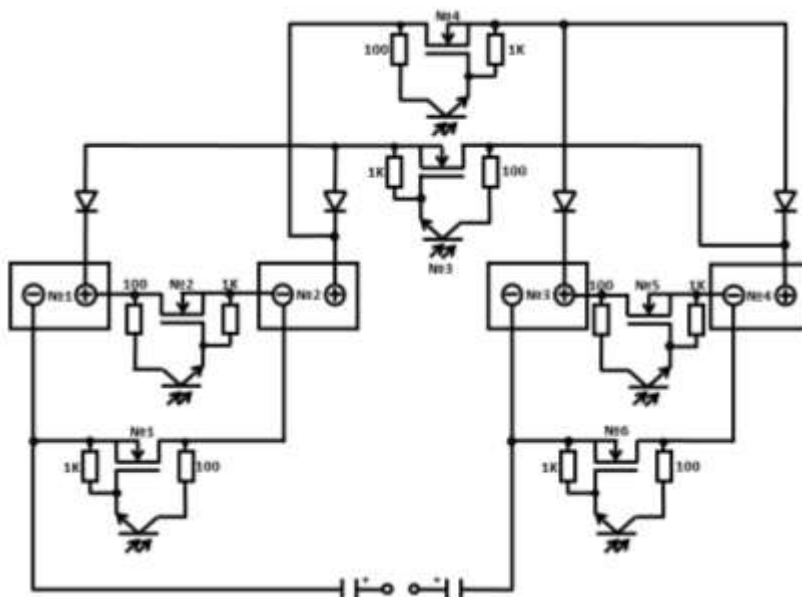


Рис. 1.8. Схема силовій частини генератора

На схемі (рис.1.8) схематично не показані управляючі частини оптронів, оскільки всі вони напряму підключені до мікроконтролера за однаковою схемою та не має значення як саме вони підключені фізично, оскільки виходи мікроконтролера (рис.1.9) програмуються довільно.

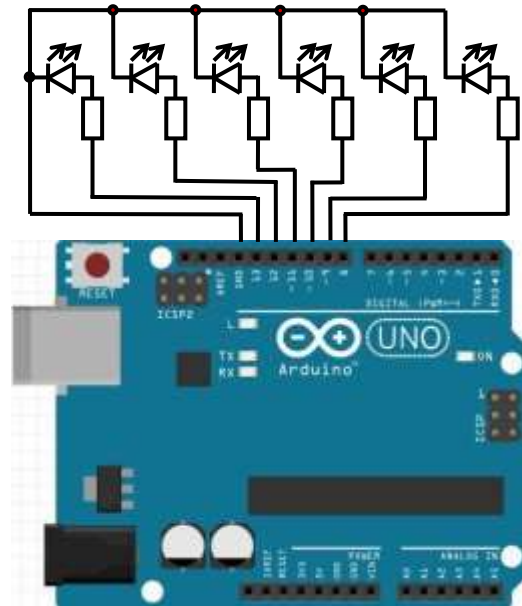


Рис. 1.9. Схема керуючої частини генератора

Код програми для перенесення в мікроконтролер

Для програмування системних плат Arduino використовується спрощений варіант мови програмування «C» орієнтований на роботу з арифметико-логічним ядром мікроконтролера та середовище розробки Arduino IDE 1.6.4 з відкритим вихідним кодом.

Для проведення досліджень нам потрібно по чергово перемикаєти 6 транзисторних ключів з використанням гальванічної (оптрон) розв'язки. Оскільки підключення в схемі та управління оптроном нічим не відрізняється від підключення та управління світло діодом, то і програмний код для мікроконтролера буде дуже схожий на код управління 6-ти світлодіодами. Трійки світлодіодів (оптронів) будуть по чергово вмикатись та вимикатись через однакові проміжки часу.

Тож програма управління оптронами буде мати такий вигляд:

```
// блок setup виконується один раз при включенні
// або перезавантаженні
void setup() {
  pinMode(8, OUTPUT); // ініціюється цифровий пін 8 як вихід
  pinMode(9, OUTPUT); // ініціюється цифровий пін 9 як вихід
  pinMode(10, OUTPUT); // ініціюється цифровий пін 10 як вихід
  pinMode(11, OUTPUT); // ініціюється цифровий пін 11 як вихід
  pinMode(12, OUTPUT); // ініціюється цифровий пін 12 як вихід
  pinMode(13, OUTPUT); // ініціюється цифровий пін 13 як вихід
}

// блок loop виконується по колу знову і знову
void loop() {
  digitalWrite(8, LOW); // на виході 8 встановлює потенціал НИЗЬКИЙ
  digitalWrite(9, LOW); // на виході 9 встановлює потенціал НИЗЬКИЙ
  digitalWrite(10, LOW); // на виході 10 встановлює потенціал НИЗЬКИЙ
  digitalWrite(11, HIGH); // на виході 11 встановлює потенціал ВИСОКИЙ
  digitalWrite(12, HIGH); // на виході 12 встановлює потенціал ВИСОКИЙ
  digitalWrite(13, HIGH); // на виході 13 встановлює потенціал ВИСОКИЙ
}
```

```
delay(5);          // затримка в мілісекундах
digitalWrite(13, LOW); // на виході 13 встановлює потенціал НИЗЬКИЙ
digitalWrite(12, LOW); // на виході 12 встановлює потенціал НИЗЬКИЙ
digitalWrite(11, LOW); // на виході 11 встановлює потенціал НИЗЬКИЙ
digitalWrite(10, HIGH); // на виході 10 встановлює потенціал ВИСОКИЙ
digitalWrite(9, HIGH); // на виході 9 встановлює потенціал ВИСОКИЙ
digitalWrite(8, HIGH); // на виході 8 встановлює потенціал ВИСОКИЙ
delay(5);          // затримка в мілісекундах
}
```

На протязі проведення досліджень програма не змінювалась за виключенням рядка delay (5). Число в дужках – затримка в мілісекундах між переключеннями генератора. Змінюючи дане число в обох рядках можна змінювати частоту роботи генератора. На рис. 1.10 представлено блок-схему роботи генератора.

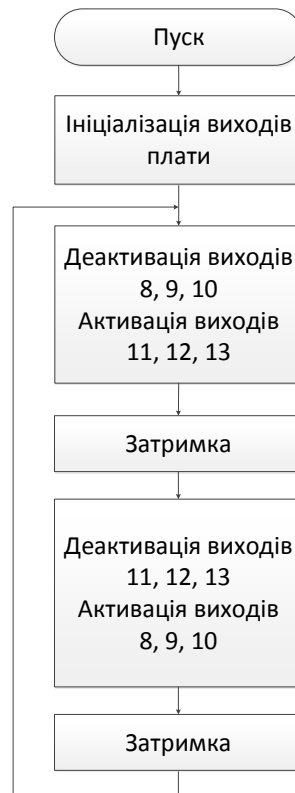


Рис. 1.10. Блок-схема алгоритму роботи генератора

Висновки. У ході виконання роботи було досліджено наявність ефекту «Тесла-свіч» на базі розробленого генератора.

Провівши аналіз існуючих варіантів побудови подібних систем була визначена структурна схема. Даний пристрій має структуру побудови, що дозволяє повністю визначити вимоги до розв'язуваних пристроєм проблем, а також визначені технічні вимоги. Також в процесі виконання роботи були досягнуті відповідні технічні показники, які задовольняють вимоги технічного завдання. А також забезпечено рівень якості виробу, який, завдяки простоті та гнучкості, дозволяє подальшу розробку, зміну схемо-технічного виконання та проведення досліджень в майбутньому.

Переваги:

- простота схеми
- простота програмування мікроконтролера
- можливість змінювати частоту
- можливість вдосконалювати (підключення сенсорів та додаткових виконуючих пристроїв)

- можливість підключення пристроїв відображення внутрішніх параметрів системи
- захист керуючої системи завдяки гальванічній розв'язці між генератором та польовими транзисторами
- більший термін роботи батарей в межах одного циклу заряду та розряду

Недоліки:

- габаритні розміри та маса
- нагрівання польових транзисторів
- менший вихід потужності порівняно з прямим підключенням навантаження до батарей
- висока ціна управляючого системної пристрою
- маса приладу

У перспективі передбачається удосконалити цей пристрій а саме змінювати частоту шляхом зміни програмного коду мікроконтролера. Також можна додатково підключати різні сенсори, виконуючі пристрої та пристрої відображення інформації. Також є можливість переконфігурувати силову частину генератора для зменшення температури транзисторних ключів та, як наслідок, збільшення ККД пристрою. Код програмного забезпечення даного пристрою відкритий для вдосконалення та адаптації в залежності від змін в електронній схемі пристрою.

Список бібліографічного опису.

1. Кудрявцев И.А. Фалкин В.Д. Электронные ключи: учеб. пособие. – Самара : Самар. гос.аэрокосм. ун-т., 2002. – 24 с.
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 768 с.
3. Вимірювання в електроніці: Довідник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневські та ін; Під. ред. В.А. Кузнецова, - М.: Вища школа, 1987.-512 с.
4. Иванов В.И. Неприводникові оптоелектронні прилади: Довідник / В.И. Иванов, А.И. Аксьонов, А.М. Юшин - 2-е изд., Перераб. і доп. - М.: Вища школа, 1988. - 448с.
5. Ирвинг М., Готтлиб. Источники питания. Инверторы, конвертеры, линейные и импульсные стабилизаторы. – 2-е изд. – М.: Постмаркет, 2002. – 544 с.
6. Предко М. Руководство по микроконтроллерам. Том 1. / Пер. с англ. под ред.И. И. Шагурина и С.Б. Лужанского - М.: Постмаркет, 2001. - 416 с.
7. Вуд А. Микропроцессоры в вопросах и ответах. / Пер. с англ. под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Энергоатомиздат. 1985. - 184 с.
8. Довідник «Импортные биполярные и полевые транзисторы. Параметры»: .<http://www.orgtechnica.ru/integraltr.htm>
9. Аверченков О.Е. Схемотехника: аппаратура и программы. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 588 с.
10. Кашкаров А.П. Популярний справочник радіолюбителя. – М.: ИП «РадиоСофт», 2008. – 416 с.
11. Монк Саймон, Мейкерство: Arduino и Raspberry Pi. Управление движением, светом и звуком: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 336 с.
12. Титце У., Шенк Л., Полупроводниковая схемотехніка. 12-е узд. Том II: Пер. с нем. – ДМК Пресс. – 942 с.
13. Момот М.В., Мобильные роботы на базе Arduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 288 с.
14. Петин В.А., Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 464 с.
15. Соммер Улли, Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino: Пер. с нем. – 2-е изд. перараб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 256 с.
16. Малахов В.П., Мікроконтролери: Навчальний посібник для студентів бакалаврської підготовки за напрямком 6.050102 – комп'ютерна інженерія / В.П.Малахов, Д.П.Яковлев. – О.: Наука і техніка, 2008. – 224 с.
17. Орнатський П.П. Автоматичні вимірювання та прилади: Підручник для вузів. - 4-е изд., Перераб. і доп. - Київ: Вища школа., 1980. – 560 с

References.

1. Kudryavtsev IA Falkin VD Electronic keys: textbook. allowance. - Samara: Samar. state aerospace. Univ., 2002. - 24 p.
2. Yu.F. Obadchy, OP Gludkin, AI Gurov. Analog and digital electronics - M.: Hotline - Telecom, 2000. - 768 p.
3. Measurement in electronics: Handbook / VA. Kuznetsov, V.A.Dolgov, V.M. Konevsky et al; Under. ed. V.A. Kuznetsova, Moscow: High School, 1987.-512 p.
4. Ivanov VI Semiconductor Optoelectronic Devices: Handbook / VI Ivanov, A.I. Aksyonov, A.M. Yushin - 2nd ed., Remaking. and ext. - M.: Higher School, 1988. - 448s.
5. Irving M., Gottlieb. Power Supplies. Inverters, converters, linear and pulse stabilizers. - 2nd ed. - M.: Postmarket, 2002. - 544 p.
6. Predko M. Guide to Microcontrollers. Volume 1. / Trans. with English. ed. I. Shagurin and S.B. Luzhansky - M.: Postmarket, 2001. - 416 p.
7. Wood A. Microprocessors in Q&A. / Trans. with English. ed. D.A. Pospelova. - M.: Energoatomizdat. 1985. - 184 p.
8. Directory "Import bipolar and field effect transistors. Options ": .<http://www.orgtechnica.ru/integraltr.htm>
9. Averchenkov OE Circuitry: hardware and software. - M.: DМК Press, 2012. - 588 p.
10. Kashkarov AP Popular radio amateur guide. - M.: RadioSoft, 2008. - 416 p.
11. Monk Simon. Makeup: Arduino and Raspberry Pi. Motion, light and sound control: Trans. with English. - St. Petersburg: BHC-Petersburg, 2017. - 336 p.
12. Titze U., Schenck L., Semiconductor Circuitry. 12th b. Volume II: Trans. with him. - DМК Press. - 942 sec.

13. Momot MV, Mobile robots based on Arduino. - St. Petersburg: BHC-Petersburg, 2017. - 288 p.
14. Petin VA, Projects Using the Arduino Controller. - 2nd ed., Remaking. and ext. - St. Petersburg: BHC-Petersburg, 2015. - 464 p.
15. Sommer Ulli, Programming Arduino / Freeduino Microcontroller Boards: Trans. with him. - 2nd ed. alteration. and ext. - St. Petersburg: BHC-Petersburg, 2016. - 256 p.
16. VP Malakhov, Microcontrollers: Textbook for undergraduate students in the field of 6.050102 - computer engineering / VP Malakhov, DP Yakovlev. - O .: Science and Technology, 2008. - 224 p.
17. Ornatsky PP Automatic Measurements and Instruments: Textbook for Universities. - 4th ed., Remaking. and ext. - Kiev: High School., 1980. - 560 p

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-15

УДК: 004.421:532.64

Приходько О. С. к.т.н., Приходько Г. В.

Луцький національний технічний університет

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ КРАЙОВИХ КУТІВ ЗМОЧУВАННЯ

Приходько О. С., Приходько Г. В. Розробка програмного забезпечення для автоматизованого визначення крайових кутів змочування. Досліджено питання автоматизації обробки цифрових графічних даних експериментів по високотемпературному змочуванню. Розроблено простий та ефективний алгоритм оцифровки профілю лежачої краплі та визначення крайового кута змочування. Отримане програмне забезпечення використано для обробки результатів експериментів.

Ключові слова: змочування, крайові кути змочування, інтерполяція Лагранжа

Приходько О. С., Приходько Г. В. Разработка программного обеспечения для автоматизированного определения краевых углов смачивания. Исследован вопрос автоматизации обработки цифровых графических данных экспериментов высокотемпературного смачивания. Разработан простой и эффективный алгоритм оцифровки профиля лежащей капли та определения краевого угла смачивания. Полученное программное обеспечение использовано для обработки результатов экспериментов.

Ключевые слова: смачивание, краевые углы смачивания, интерполяция Лагранжа

Prykhodko O. S., Prykhodko H. V. Development of software for automatic determination of wetting angles. The issue of automation of processing digital graphic data of high-temperature wetting experiments is investigated. A simple and effective algorithm has been developed for digitizing the profile of a sessile drop and for determining the wetting angle. The resulting software was used to process the results of experiments.

Keywords: wetting, wetting angles, Lagrange interpolation

Постановка проблеми. Дослідження кінетики та параметрів змочування відіграють важливу роль при створенні нових матеріалів з новими властивостями. Зокрема, для 3D друку за допомогою SLM (selective laser melting) технології необхідно, щоб матеріал мав хороші ливарні властивості, малу усадку та однорідну ізотропну структуру при застиганні. У статтях [1,2] показано, що додання порошку дибориду титану в алюмінієво-кремнієвий сплав усуває проблему локальних неоднорідностей (наслідок застосування SLM технології) і робить структуру надрукованого виробу більш однорідною. У цьому випадку, змочування, а отже і адгезія, безпосередньо впливає на міцність отриманого матеріалу, а отже дослідження кінетики змочування є досить актуальним. Враховуючи, що під час експериментів по змочуванню отримуються значна кількість графічних даних (іноді до десятків тисяч файлів) постає необхідність автоматизації їх обробки.

Аналіз досліджень. На даний час існує досить багато обладнання для автоматизованого визначення кутів змочування [3]. Переважна більшість подібного устаткування працює на методі ADSA (Axisymmetric Drop Shape Analysis) [12,13], який дозволяє по формі краплі визначати властивості рідин та розплавів. Суть методу полягає в виділенні контуру краплі та підборі коефіцієнтів рівняння Юнга-Лапласа, яке описує форму краплі так, щоб реальний контур співпадав з розрахованим.

Також варто відмітити результати отримані у роботах [9-11]. У [9] автором розроблено методику розрахунку поверхневого натягу лежачої краплі та проведено на основі неї ряд розрахунків. Однак не розглянуто питання автоматизації обробки великих об'ємів даних. В роботі [10] вдосконалено методику визначення крайового кута змочування за уточненою формулою для його розрахунку. В [11] побудовано та перевірено алгоритми розв'язання рівняння Лапласа-Юнга для різних випадків початкових даних та геометричних параметрів краплі.

Необхідність обробки великих масивів графічних даних експерименту приводить до значних витрат часу при ручному, чи навіть напівручному визначенні кутів змочування та інших параметрів. На даний час створено кілька програм, які дозволяють автоматизувати дані операції [4,5]. Програма, створена авторами за методикою [4] працює лише зі знімками 640x480, що суттєво спотворює результати, отримані за допомогою камер більш високої роздільної здатності. Методика [5] є досить цікавою, так як дозволяє автоматично з заздалегідь заданою точністю визначити параметри змочування, використовуючи лише максимальний діаметр лежачої краплі та її висоту, проте неефективно працює при кутах змочування менших за 90° , і крім того, більш орієнтована на визначення поверхневого натягу.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування отриманих результатів дослідження. Для експериментального визначення параметрів змочування використовується метод лежачої краплі. На рис. 1 показано схему експерименту. На пластинку з досліджуваного на змочуваність матеріалу (дибориду титан, наприклад) методом СН (Contact Heating [7]) або СР (Capillary Purification [8]) наносять краплю розплавленого металу (наприклад, алюмінієво-кремнієвий сплав). Температуру, а також атмосферний склад у випробувальній камері можна змінювати. Під час експерименту проводить відеозйомку профілю лежачої краплі у контрольному світлі.



Рис. 1. Схема експериментального визначення кінетики змочування

Це досить поширена методика, яку просто реалізувати. В результаті отримується серія знімків з чітким обрисом краплі. На рисунку показано приклад типових кадрів на протязі одного експерименту (краплі з хорошим змочуванням.)



Рис. 2. Типові обриси краплі із хорошим змочуванням на протязі експерименту

Крайовий кут змочування визначається за кутом нахилу дотичної до контуру, який описує обрис краплі (рис. 3).

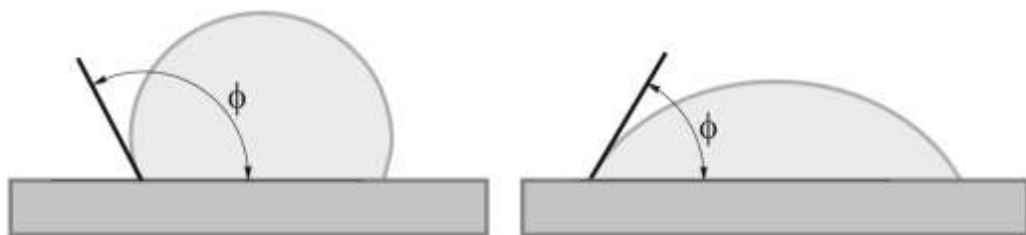


Рис. 3. Методика вимірювання крайового кута змочування лежачої краплі

Роздільна здатність знімків може бути до 4К. Проте для того, щоб відслідкувати швидкі зміни контуру краплі під час процесу плавлення та змочування (а при методі СР ще і коливання контуру після посадки краплі на пластинку) необхідно використовувати великі частоти кадрів (FPS, frame per second), що призводить до зменшення роздільної здатності (до 800x600). При FPS 10...1000 кадрів/сек отримуються тисячі (а іноді і десятки тисяч) кадрів, для кожного з яких бажано визначити кут змочування, а також інші параметри. Після визначення можна будувати графіки залежностей кута змочування, діаметру краплі, густини тощо від часу, температури.

Під час відеозйомки внаслідок недосконалого освітлення спостерігаються спотворення контуру краплі (рис. 4).

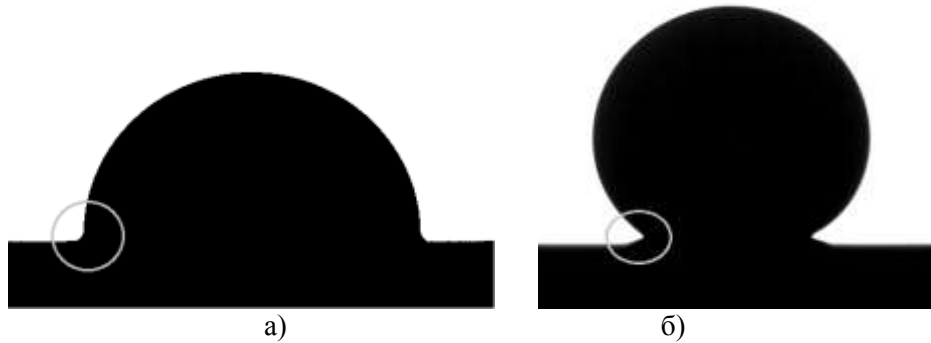


Рис. 4. Приклади дефектів контуру контурів обрису лежачої краплі під час експерименту змочування, а) кут змочування $\sim 90^\circ$, б) кут змочування $\sim 150^\circ$

Знімки отримано на експериментальній установці [6] центру високотемпературних досліджень інституту ливарництва, м. Краків, Польща. Можна спостерігати спотворення форми краплі (показано колом з лівої сторони краплі) тінню від самої краплі. Через це втрачається інформація про крайовий кут змочування краплі біля поверхні пластинки. При кутах змочування більших 100° - 110° це призводить до значних похибок (до 25-30%). Ця проблема повністю усувається алгоритмами програми.

Методика обробки.

1. В першому наближенні кожен знімок бінаризується і представляється у вигляді двовимірного масиву RawArray, в якому 0 означає білий колір (пустота), 1 – чорний (матеріал краплі, або пластинки). Бінаризація відбувається у графічному редакторі IrfanView у пакетному режимі. Ця операція закруглює контур краплі, що призводить до несуттєвої втрати точності. В подальшому планується реалізувати в програмі обробку зображень з 256 градаціями сірого, щоб повністю уникнути втрати точності.

2. Далі необхідно визначити лінію підложки (пластинки TiB2). Для цього в циклі перебираються елементи масиву по координаті Y (починаючи від нуля) в діапазоні координат $X_1 \dots X_2$ (точки 1 і 2 на рисунку 5).

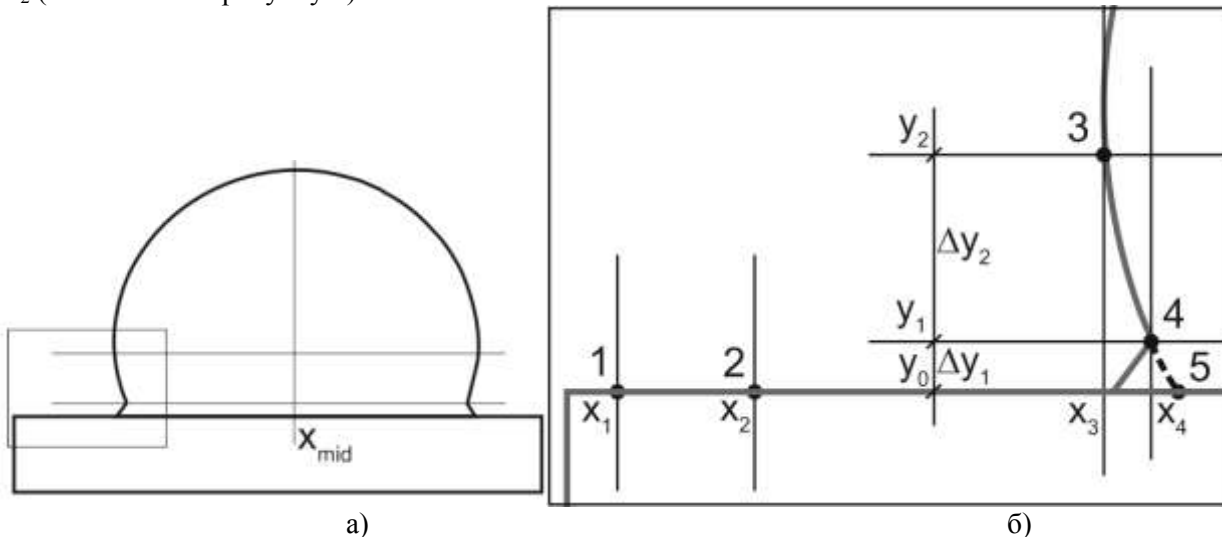


Рис. 5. Схема автоматизованої обробки контуру краплі. а) – загальний вигляд, прямокутником з лівого боку показано межі рисунку б)

При зміні значень елементів масиву з 0 на 1, їх координати Y запам'ятовується і усереднюються. В результаті отримується координата y_0 (лінія підложки). Для того, щоб виключити область, спотворену тінню від краплі до y_0 додається Δy_1 , в результаті отримується горизонтальна лінія з координатою y_1 . Δy_1 задається в інтерфейсі програми окремо для кожної серії знімків. Також задається Δy_2 , з таким розрахунком, щоб лінія з $y_2 = y_1 + \Delta y_2$ гарантовано проходила через краплю в кінці експерименту (коли крапля розпливається, і, відповідно, стає нижчою). В більшості випадків це

30-60% від початкової висоти краплі, що складає 40-50 пікселів (в залежності від кінцевої змочуваності). В результаті отримуємо на контурі краплі дві точки 3 і 4 (див. рис. 5).

3. Визначається координата X_{mid} центру краплі по осі X, як середнє арифметичне всіх координат X ненульових елементів масиву RawArray в діапазоні $y_1...y_2$.

4. Для виділення лінії контура краплі масив RawArray сканується по координаті X (X змінюється від X_{mid} до 0) в діапазоні $y_1...y_2$. При зміні значення елемента масиву RawArray з 1 на 0 координати цього елемента запам'ятовувались в масив LineArray.

5. Отримані координати (елементи масиву LineArray) проходили через інтерполятор Лагранжа по 4 точкам, в результаті чого отримувався поліном 4 степеня.

$$L = \sum_{i=0}^3 \left(x_i \prod_{j=0, j \neq i}^3 \frac{(y - f_j)}{(f_i - f_j)} \right),$$

де y – змінна по осі OY, $f_0 = y_1$, $f_1 = 0.33y_2$, $f_2 = 0.67y_2$, $f_3 = y_2$

При підстановці в цей поліном значень $y_0...y_1$ відновлювали спотворену тінню форму краплі (на рис. 5б показано пунктиром від точки 4 до точки 5).

6. Крайовий кут змочування визначався як арктангенс похідної від полінома в точці 5.

$$\alpha = \arctg(L'(y_0)),$$

де



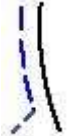

$$L'(y) = \sum_{i=0}^3 \left(x_i \frac{\sum_{k=0, k \neq i}^3 \prod_{j=0, j \neq i, j \neq k}^3 (y - f_j)}{(f_i - f_j)} \right).$$

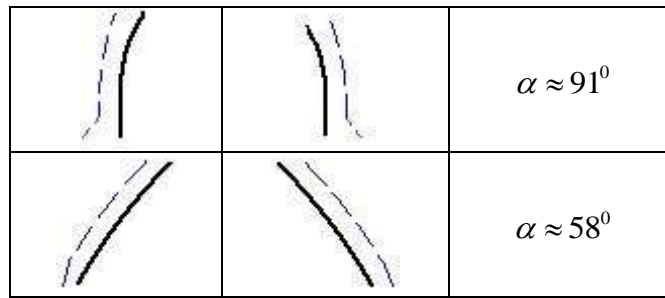
7. Пункти 4-6 повторювались і для правої половини краплі, лише X в пункті 4 змінювалася від X_{mid} до X_{max} .

В деяких випадках спостерігались осциляції даних, коли незначна зміна контуру призводила до раптової зміни кута змочування на 3-5 градусів. Це спостерігалось для контурів з кутами змочування близькими до 90^0 . В такому разі дані проходили через лінійну фільтрацію.

В таблиці 1 наведено порівняння фрагментів реального контуру краплі з графічним відображенням отриманого полінома для різних стадій експерименту. Пунктирною лінією показано фрагменти реального контуру, суцільною – результат роботи програми.

Таблиця 1. Порівняння результатів інтерполяції з фрагментами контурів краплі

Лівий фрагмент контуру	Правий фрагмент контуру	Крайовий кут змочування
		$\alpha \approx 137^0$
		$\alpha \approx 106^0$



З таблиці можна бачити добре співпадіння фрагментів реальних контурів краплі з інтерпольованими даними, а також адекватність відновлення спотвореного контуру краплі.

Висновки та практичне застосування. Алгоритми, що лежать в основі програми дозволяють автоматично та з достатньо високою швидкістю оброблювати дані, отримані під час високотемпературних експериментів по змочуванню. Програма була використана для обробки результатів експериментів. Обробка масиву даних 3..6 тисяч знімків займає близько 20-30хв. Планується подальша модернізація програми, яка буде стосуватись визначення інших параметрів краплі (розмірів, густини, коефіцієнту поверхневого натягу тощо).

References.

1. Xi, Lixia & Wang, Pei & K G, Prashanth & Li, Haichao & Prykhodko, H.V. & Scudino, Sergio. (2019). Effect of TiB₂ particles on microstructure and crystallographic texture of Al-12Si fabricated by selective laser melting. *Journal of Alloys and Compounds*. 786. 10.1016/j.jallcom.2019.01.327.
2. Greer, A.. (2016). Overview: Application of heterogeneous nucleation in grain-refining of metals. *The Journal of Chemical Physics*. 145. 211704. 10.1063/1.4968846.
3. Drop shape analyzers [Electronic resource] : [List of laboratory equipment]. – Hamburg: KRÜSS GmbH, 2013-2015. – Access mode: <https://www.kruss-scientific.com/products/high-temperature/drop-shape-analyzer-dsa-high-temperature/> (Revision Date 11.12.2019) – The title from the screen.
4. L. Liggieri & A. Passerone (1989) An automatic technique for measuring the surface tension of liquid metals, *High Temperature Technology*, 7:2, 82-86, DOI: 10.1080/02619180.1989.11753417
5. Levitskaya T.A. Development of a software package for processing a digital image of a sessile drop in studies of the surface properties of melts / T.A. Levitskaya // *Information processing systems*. - 2015. - №10. - С. 219-221
6. Instrumentation of Centre for high temperature studies [Electronic resource]: [List of laboratory equipment], Foundry Research Institute – https://iod.krakow.pl/wp-content/uploads/2018/10/katalog_EN.pdf Page 38. (date of appeal 11.12.2019) – The title from the screen.
7. Wettability and Reactivity of liquid Gd in contact with Al₂O₃ Ceramics [Electronic resource]: [Contact Heating demonstration] / Foundry Research Institute // YouTube. – Access mode: <https://www.youtube.com/watch?v=2c-Wj6YrmNk> – The title from the screen. – Date of publication: 21.11.2017. – Revision Date: 11.12.2019.
8. Wettability tests of liquid AM60 alloy on steel-1H18N8T substrate (capillary purification procedure) [Electronic resource]: [Capillary Purification demonstration] / Foundry Research Institute // YouTube. – Access mode: <https://www.youtube.com/watch?v=W-7fXYTquD0> – The title from the screen. – Date of publication: 6.09.2017. – Revision Date: 11.12.2019.
9. Lytvyn M. Software for determination of surface tension with sessile drop method // *TASK QUARTERLY* vol. 21, No 1, 2017, pp. 65–76
10. Kiselev M.G. Determination of the wetting angle on flat surfaces / M.G. Kiselev, V.V. Savich, T.P. Pavich // *Bulletin of the Belarusian National Technical University*. 2006. № 1. С. 38-41.
11. Marchuk. I.V. Determination of surface tension and contact angle of wetting by the surface shape of axisymmetric bubbles and drops / I.V. Marchuk, V.V. Cheverda, P.A. Strizhak, O.A. Kabov // *Thermophysics and Aeromechanics*, 2015, Volume 22, No. 3. S.311-317
12. Del Río O.I., Neumann A.W. Axisymmetric drop shape analysis: computational methods for the measurement of interfacial properties from the shape and dimensions of pendant and sessile drops // *J. of Colloid and Interface Sci.* 1997. Vol. 196, No. 2. P. 136–147.
13. Zholob S.A., Makievski A.V., Miller R., Fainerman V.B. Optimisation of calculation methods for determination of surface tensions by drop profile analysis tensiometry // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2007. № 134, 135. P. 322–329.

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-16

УДК 621.311.69:681.586.7

¹М. Г. Томенко, ¹В. І. Томенко, ²О. О. Корецька,

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

²Чорноморський національний університет імені Петра Могили

ВИЗНАЧЕННЯ НА РАННІХ СТАДІЯХ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ЗА РАХУНОК ФІКСАЦІЇ ЗМІН В ВІБРАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ

Томенко М. Г., Томенко В. І., Корецька О. О. Визначення на ранніх стадіях аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв за рахунок фіксації змін в вібрації обладнання. В статті розглядаються можливість визначення аварійності технологічного обладнання на ранніх стадіях за рахунок фіксації змін вібрації при роботі обладнання. Для цього в роботі розглянуто використання консольних п'єзоперетворювачів на базі асиметричних біморфних п'єзоелементів, причому найбільшу увагу приділено визначенню лінійних розмірів та форм таких перетворювачів для побудови ефективних систем фіксації зміни вібраційної картини роботи обладнання. Розроблені макети, проведені експериментальні дослідження, отримано рекомендації по розробці п'єзоперетворювачів для систем раннього визначення аварійних ситуацій.

Ключові слова: аварійні ситуації, консольні доменно-дисипативні п'єзоперетворювачі, ідентифікація обладнання
Форм. 1. Рис. 6. Лит. 10.

Томенко М. Г., Томенко В. І., Корецькая А. О. Определение на ранних стадиях аварийных ситуаций потенциально опасных производств за счет фиксации изменений в вибрации оборудования. В статье рассматриваются возможности определения аварийности технологического оборудования на ранних стадиях за счет фиксации изменений вибраций при работе оборудования. Для этого в работе рассмотрено использование консольных пьезопреобразователей на базе асимметричных биморфных пьезоэлементов, причем наибольшее внимание уделено определению линейных размеров и форм таких преобразователей для построения эффективных систем фиксации изменения вибрационной картины работы оборудования. Разработанные макеты, проведены экспериментальные исследования, получены рекомендации по разработке пьезопреобразователей для систем раннего определения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: аварийные ситуации, консольные доменно-дисипативные пьезопреобразователи, идентификация оборудования
Форм. 1. Рис. 6. Лит. 10.

Tomenko M.G., Tomenko V.I., Koretska O.O. Identification of potentially hazardous production at the early stages of emergency situations by recording changes in equipment vibration. The article discusses the possibility of determining the accident rate of technological equipment in the early stages by recording changes in vibration during operation of the equipment. For this purpose, the use of cantilever piezoelectric transducers based on asymmetric bymorph piezoelectric elements was considered, with the greatest attention paid to determining the linear dimensions and shapes of such transducers to build effective systems for recording changes in the vibrational pattern of equipment operation. Designed models, conducted experimental studies, received recommendations on the development of piezoelectric transducers for early detection systems for emergency situations.

Keywords: emergency situations, cantilever domain-dissipative piezoelectric transducers, equipment identification
Form 1. Fig. 6. Lit. 10.

Постановка проблеми. В більшості випадків аварії на потенційно-небезпечних об'єктах виникають в наслідок порушення технологічного процесу через поломку обладнання або недбале управління, тобто через людський фактор. В таких випадках аварія, як правило, не відбувається миттєво – їй передують деякі зміни в роботі обладнання, які можуть бути визначені на ранніх стадіях, наприклад – зміна параметрів вібрації. Зміна в роботі обладнання призводить до змін струмів, механічних обертів тощо, що супроводжується зміною технічних параметрів окремих елементів, зміною механічних коливань агрегатів тощо, що можна визначити за допомогою відповідного обладнання. Наприклад, на рис. 1 наведений приклад використання вібродатчика на основі п'єзоперетворювача Vulture на коливній платформі [1].

Фіксація відхилень в вихідному струмі п'єзоперетворювача слугує показником порушення функціонування контролюємого обладнання за рахунок визначення зміни вібраційної картини.

Таким чином, попередження виникнення аварійних ситуацій та аварій на ранніх стадіях в технологічних процесах, пов'язаних з хімічною, радіаційною та пожежовибухонебезпекою, є важливим питанням в запобіганні виникненню та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру [7, 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В якості таких датчиків визначення механічних відхилень (включаючи вібрацію) в роботі обладнання найчастіше використовують п'єзокерамічні

перетворювачі (ПП) [6, 9]. Проте при такому методі фіксацій в відхиленні роботи обладнання виникає декілька технічних питань, одним з яких є підвищення чутливості датчиків для фіксації малих відхилень вібрацій.



Рис. 1. Закріплений п'єзодатчик вібрації Volture на коливній платформі [1]

Для цього авторами запропоновано використання п'єзодатчиків вібрації у вигляді консольних доменно-дисипативних п'єзокерамічних перетворювачів (КДПП) [2, 3, 5]. Збільшення чутливості за рахунок використання доменно-дисипативних властивостей п'єзоелементу, коли вектор напруженості поля вихідного сигналу практично перпендикулярний вектору поляризації кераміки, можна досягти зміною форм електродів на сторонах п'єзоелемента.

Проте варіантів виконання таких перетворювачів безліч, які відрізняються різною формою та розмірами як ПП, так і біморфної і консольної пластини. Отже **метою даної роботи** є визначення лінійних розмірів та форм консольних п'єзокерамічних перетворювачів, що може бути використане в системі визначення аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв за рахунок фіксації зміни вібраційної картини роботи обладнання.

Основні результати дослідження. Рівень вихідного сигналу ПП залежить не тільки від значень електричних і пружних п'єзоконстант, а й від просторового співвідношення векторних величин: \mathbf{P} – вектора поляризації, \mathbf{F} – вектора сили, що впливає на ПП та \mathbf{E} – вектора напруженості поля між вихідними електродами. При перпендикулярному розташуванні векторів \mathbf{P} та \mathbf{E} (доміно-дисипативний ефект) можна досягти більшої чутливості п'єзоелемента, ніж при їх традиційному паралельному розташуванні [9].

Для визначення рівня вихідного сигналу КДПП в залежності від розміщення вихідних електродів, тобто від кута δ між векторами \mathbf{P} і \mathbf{E} , була отримана залежність значення п'єзомодуля d_{31} від кута δ і механічних напруг [4]:

$$d_{31} = d_{31}^{(0)} - \frac{2}{\pi^2} \int_0^{\frac{1}{4} \sin(\delta)} d\delta \cdot (X_1 \cos^2(\delta) + Y_1) \sqrt{\sin^2(\delta) - \cos^2(\delta)} \times \arcsin \sqrt{\frac{\cos^2(\delta) - \sigma_p}{1 - \cos^2(\delta)}},$$

де $\sigma_p = \sigma_c / \sigma$, σ – механічна напруга на біморфному ПП; σ_c – критична механічна напруга домену; X_1 та Y_1 – коефіцієнти, що визначаються відповідними значеннями п'єзомодулів.

Беручи до уваги той факт, що є п'єзоелемент є дуже складним електромеханічним елементом, його математичний опис представляє великі складності. Це ускладнюється ще й необхідності врахування коливань та деформацій консольної металевої пластини. Отже в роботі основні результати дослідження отримано експериментальним шляхом.

Для проведення експериментальних досліджень були розроблені дві експериментальні установки: для дослідження вібраційних (рис. 2, а) та акустичних (рис. 2, б) впливів на п'єзоперетворювачі. В роботі були проведені дослідження з п'єзоелементами 14 типів (у вигляді

кілець та дисків різної товщини та діаметрів) з керамік ЦТС-19 та ЦТС-23, а також з біморфними та консольними металевими пластинами різної товщини та з різних матеріалів [10].



а)

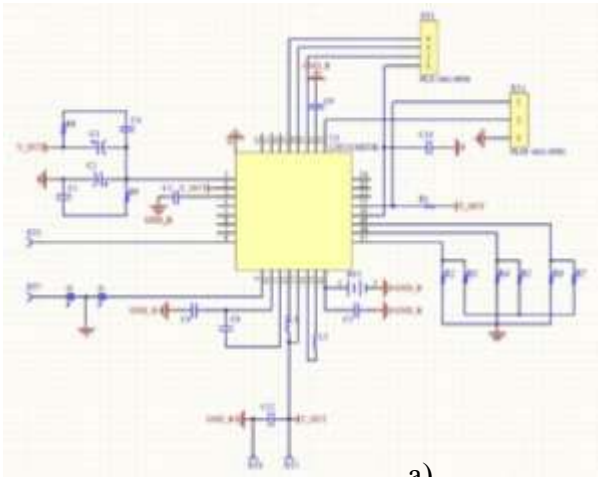


б)

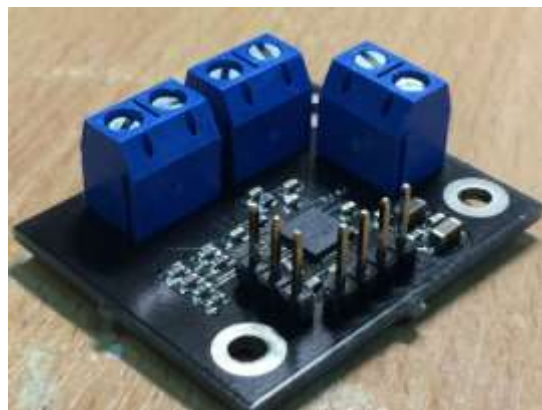
Рис. 2. Загальний вигляд установки для дослідження КДПП при вібраційному (а) та акустичному (б) впливі на п'єзоперетворювачі:

1 – осцилограф SDS1052DL+; 2 – мілівольтметр ВЗ-38; 3 – джерело живлення Lips2010; 4 – генератор ГЗ-106; 5 – експериментальна платформа АОУУЕ328; 6 – двигун AMS1141M від Elecrow з асиметричним навантаженням на валу; 7 – пульсофон; 8 – досліджувані асиметричні біморфні п'єзоперетворювачі

Для накопичення енергії було спроектовано та виготовлено плату випрямляча на базі чипу LTC3330, що зображена на рис. 3 [4].



а)



б)

Рис. 3. Схема (а) та виготовлена плата (б) накопичувача енергії на основі чипу LTC3330 Linear Technology

Схема перетворювача зі схемою випрямлення і накопичення наведена на рис. 4 [1].

В експерименті в якості ПП використані п'єзоелементи 7ВВ-12-9 фірми Murata Manufacturing Co. [10], що складаються з металевих пластинок з латуні діаметром 12 мм та товщиною 0,1 мм із закріпленими на них п'єзоелементами діаметром 9 мм та товщиною 0,12 мм. В якості консольної пластини використана оцинкована сталеві пластина марки 08пс/3сп розмірами 35x20x0,4 мм [4].

За допомогою складених експериментальних установок були проведені усі необхідні дослідження щодо лінійних розмірів п'єзоелементів та металевих пластин (МП). Так, на рис. 5 та рис. 6 приведені отримані і розраховані за розробленими в роботі [4] залежності рівня вихідного сигналу (нормовані) в залежності від форм та розмірів електродів.

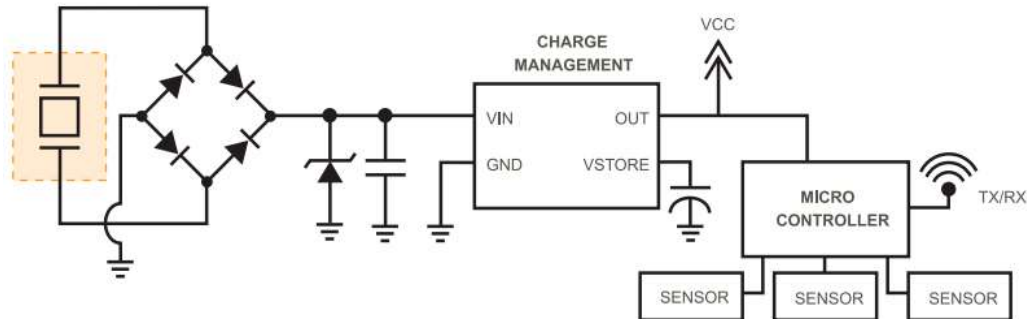


Рис. 4. Схема пристрою накопичення енергії з п'єзоперетворювачем [1]

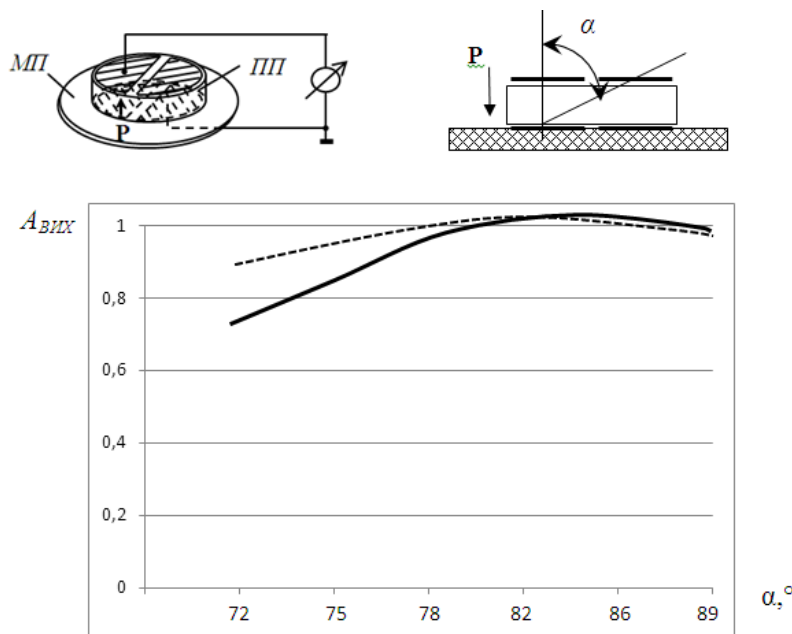


Рис. 5. Розраховані (пунктирна лінія) та експериментально отримані (суцільна лінія) залежності рівнів вихідного сигналу (нормовані) в залежності від форм та розмірів електродів: МП – металева пластина; ПП – п'єзоперетворювач

На рис. 5 наведено результати дослідження тонких КДПП у формі диска [4]. Зміною розмірів (відповідно й форм) електродів змінюється кут між векторами поляризації \mathbf{P} й напруженості поля між вихідними електродами \mathbf{E} . Як видно з рис. 5, б, крива має свій максимум, тобто рівень вихідного сигналу є максимальним не завжди при перпендикулярних векторах \mathbf{P} та \mathbf{E} . Це означає, що при проектуванні конструкції ПП необхідно враховувати значно більше факторів, а ніж просто забезпечувати перпендикулярність відповідних векторів. Цей результат був підтверджений й на інших подібних експериментах.

На рис. 6 показаний випадок дослідження циліндричних ПП, у яких ПП поляризовані по товщині [4]. Електроди розміщувалися на торцях циліндру, забезпечуючи при цьому майже перпендикулярний кут між векторами \mathbf{P} та \mathbf{E} . Зміною розмірів та форм електродів досліджувався вплив кута між основними векторами на рівень вихідного сигналу. Отримані результати підтверджують висновки, що були отримані в попередньому дослідженні.

Загалом, при проведення усіх досліджень різниця відхилень між експериментальними та теоретичними даними не перевищувала 10 %.

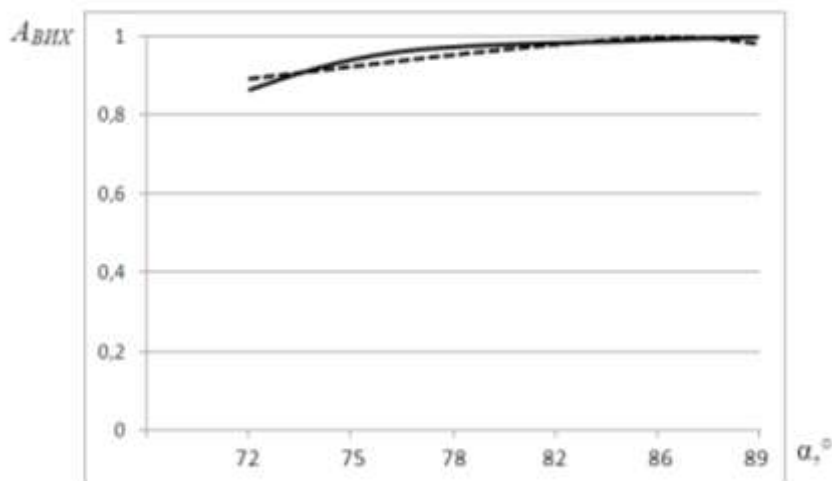


Рис. 6. Розраховані (пунктирна лінія) та експериментально отримані (суцільна лінія) залежності рівнів вихідного сигналу (нормовані) в залежності від форм та розмірів електродів з ПП у формі циліндра

Висновки. Таким чином, в результаті проведення роботи отримані такі результати:

- зібрані експериментальні стенди для дослідження вібраційних та акустичних впливів на КДПП; розроблене власне схемотехнічне рішення накопичувача енергії від ПП на основі чипу LTC3330 Linear Technology, виготовлені зразки;
- за допомогою установок були досліджені різні варіанти виконання конструкції КДПП для визначення параметрів вібрації, досліджені різні схеми під'єднання п'єзоелементів, їх кількість та тип (дослідження проводилися з 14 типами ПП, різними типами біморфних та консольних пластин);
- на основі проведених в роботі досліджень зроблено висновки та надано рекомендації щодо розташування електродів на п'єзокерамічному елементі, тобто щодо забезпечення необхідного кута між векторами \mathbf{P} та \mathbf{E} , для досягнення максимального рівня вихідного сигналу.

Список бібліографічного опису.

1. Бугаев В. И. Сборщики энергии вибраций от Mide Technology приходят на смену батарейкам / В. И. Бугаев, В. А. Дидук, М. П. Мусиенко // Новости электроники. Москва. – № 7(141). 2015. С. 23 – 27.
2. Корецька О. О. Доменно-дисипативні п'єзоперетворювачі в конструкціях п'єзомагнітних тахометрів / О. О. Корецька // Матеріали XXI Всеукр. наук.-метод. конф «Могилянські читання – 2018», 12–17 листопада 2018. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили. – 2018. – С. 100–101.
3. Корецька О. О. Методи та засоби підвищення вихідної напруги датчиків, що працюють від енергії вимірювального сигналу / О. О. Корецька // Матеріали XIX Всеукр. наук.-метод. конф «Могилянські читання – 2016», 14-18 листопада 2016. Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили. – 2016. – С. 91–93.
4. Корецька О. О. Моделі та засоби побудови енергоефективних IoT пристроїв на базі п'єзокерамічних перетворювачів: дис. на отримання наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.13.05 „Комп'ютерні системи та компоненти” / О. О. Корецька. – Черкаси, 2019. – 154 с.
5. Мусиенко М. П. Консольні п'єзоелектричні накопичувачі вібрації для IoT пристроїв / М. П. Мусиенко, О. О. Корецька // Наукові праці: науковий журнал. Серія «Комп'ютерні технології». Вип. 296. Т. 308. Миколаїв: ЧНУ ім. Петра Могили. – 2017. – С. 139–145.
6. Мусиенко М. П. Теоретические основы, методы и средства структурно-энергосилового преобразования на основе полиэлектродных пьезокерамических элементов для систем управления: Диссертация д-ра техн. наук: 05.13.05. – Одесса, 2006. – 495 с.
7. Томенко М. Г. Використання консольних п'єзокерамічних ідентифікаторів у вібродіагностиці при визначенні аварійних ситуацій потенційно небезпечних виробництв / М. Г. Томенко, О. О. Корецька // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. 2018. № 4. – Черкаси: ЧДТУ. – С. 68–72.

8. Томенко М. Г. Підвищення надійності систем раннього визначення аварійності складних технологічних виробництв за допомогою безпроводних автономних п'єзотранспондерів / М. Г. Томенко, О. О. Корецька // Наукові праці: науковий журнал. Серія «Комп'ютерні технології». Вип. 305. Т. 317. – Миколаїв: ЧНУ ім. Петра Могили. 2018. – С. 122–126.
9. Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В. М. Шарапов, М. П. Мусиенко, Е. В. Шарапова // Москва: Техносфера, 2006. – 632 с.
10. Murata. Innovator in electronics. 7bb-12-9 [Электронный ресурс] // Веб-сайт магазина muRata. – Режим доступа: URL: <https://www.murata.com/products/productdetail?partno=7BB-12-9>.

References.

1. Bugaev, V. I. Vibration energy collectors from Mide Technology replace batteries / V. I. Bugaev, V. A. Diduk, M. P. Musienko, // *Novosti elektroniki*, No. 7 (141), 2015, Moscow, pp. 23–27 [in Russian].
2. Koretska O. O. Domens and Dissipative piezotransducers in the piezo-magnetic tachometer designs / O. O. Koretska // *Proceedings of XXI Ukrainian Scientific and Methodological Conference "Mohylaynsky Readings – 2018"*, November 12-17, 2018. Mykolaiv: BSNU. – 2018. – С. 100–101 [in Ukrainian].
3. Koretska O. O. Methods and means of increasing the output voltage of sensors operating from the energy of the measuring signal / O. O. Koretska // *Proceedings of XIX Ukrainian Scientific and Methodological Conference "Mohylaynsky Readings – 2016"*, November 14-18, 2016. Mykolaiv: BSNU. – С. 91–93 [in Ukrainian].
4. Koretska O. O. Models and tools for constructing energy efficient IoT devices based on piezoceramic transducers: Dissertation for the technical staff. Sciences: 05.13.05. – Cherkasy. – 2019. – 154 p [in Ukrainian].
5. Musiyenko M. P. Console piezoelectric vibration drives for IoT devices / M. P. Musiyenko, O. O. Koretska // *Scientific papers: scientific journal. Computer Technology series*. No. 296. Т. 308. Nikolaev: BSNU. – 2017. – P. 139–145 [in Ukrainian].
6. Musiyenko M. P. Theoretical foundations, methods and means of structural-energy-power conversion based on polyelectrod piezoceramic elements for control systems: the Dissertation of the doctor tehn. sciences: 05.13.05. – Odessa. – 2006. – 495 p [in Russian].
7. Tomenko M. G. The use of console piezoceramic identifiers in vibration diagnostics in the identification of potentially hazardous industries / M. G. Tomenko, O. O. Koretska // *Bulletin of Cherkasy State Technological University. Series: Technical Sciences*. 2018. № 4. Cherkasy: ChSTU. 2018. P. 68–72 [in Ukrainian].
8. Tomenko M. G. Improving the reliability of sophisticated technology early detection systems with wireless stand-alone piezotransponders / M. G. Tomenko, O. O. Koretska // *Scientific papers: scientific journal. Computer Technology Series*. No. 305. Т. 317. Mykolaiv: BSNU. 2018. P. 122–126 [in Ukrainian].
9. Sharapov V. M. Piezoelectric sensors: monograph / V. M. Sharapov, M. P. Musienko, V. V. Sharapova // Ed. V. M. Sharapov. Moscow: Tehnosfera, 2006. 632 p. [in Russian].
10. Murata. Innovator in electronics. 7bb-12-9. URL: <https://www.murata.com/products/productdetail?partno=7BB-12-9>.

ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ТА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ СТАТЕЙ

- **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:**
 - 1) **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
 - 2) **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
 - 3) **виділення невіршених раніше частин загальної проблеми**, котрим присвячується означена стаття;
 - 4) **формулювання мети дослідження** (постановка завдання);
 - 5) **виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження, у тому числі з науковою новизною і
 - 6) **перспективи подальших досліджень** у даному напрямку.
- Статтю можна подавати українською, російською або англійською мовами. Вона повинна бути набрана у текстовому редакторі MS WORD 03/07/10 і надрукована на лазерному або струменевому принтері на білих листах формату А4 (297×210 мм). **Нумерацію сторінок** не виконувати. **Обсяг статті** 5-10 сторінок (не менше).
- **Параметри сторінки.** Верхнє, нижнє та праве поле –1,5 см, лівє – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
- **Шапка статті.** Індекс УДК, ініціали та прізвища авторів, назва організації та назва статті набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується через один рядок нижче назви організації (розмір шрифту 11 пт з напівжирним виділенням та вирівнюванням по центру).
- **Анотації** (українською, російською та англійською мовами) повинні містити прізвища та ініціали авторів, назву статті та короткий її зміст і розміщуються через один рядок нижче назви статті та набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 9 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині. Нижче анотацій обов'язково вказуються **ключові слова**.
- **Основний текст** розміщується на через один рядок нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюється по ширині.
- **Формули** набираються у редакторі формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Cyr; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
- **Ілюстрації**, що присутні у статті, необхідно розташовувати у тексті по центру, вирівнюючи підписи по центру (Рис. 1. Назва). Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
- **Таблиці** потрібно розташовувати у тексті по центру, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею ставиться її порядковий номер і назва (Таблиця 1. Назва) та вирівнюється по центру.
- **Посилання** на ту чи іншу роботу повинні позначатися в тексті у квадратних дужках за порядковим номером у списку літератури в кінці статті; посилання на джерела статистичних даних обов'язкові; посилання на публікації дослідників обов'язкові; посилання на підручники, навчальні посібники, газети і ненаукові журнали – небажані; посилання на власні публікації допускаються тільки у випадку крайньої необхідності; роботи авторів, на прізвища яких є посилання в тексті, мають бути в списку літератури до цієї статті.
- **Джерела** повинні бути оформленні за ВАК-формою 23 «Приклади оформлення бібліографічного опису у списку джерел, який наводять у дисертації, і списку опублікованих робіт, який наводять в авторефераті» (<https://vak.in.ua/>), а їх кількість повинна бути не меншою 10 джерел, що подаються загальним списком в кінці рукопису за абеткою через один рядок після тексту статті двома мовами (англійською та українською)
- До статті обов'язково додається дві **рецензії**: зовнішня і внутрішня. Редакція залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію та відхилити їх в разі відсутності рецензій.
- Стаття обов'язково подається на лазерному диску. Її також можна переслати електронною поштою за адресою: cit@lntu.edu.ua.
- В кінці статті обов'язково вказуються ПІБ, посада, науковий ступінь, вчене звання рецензентів статті.
- Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

(поля верхнє, нижнє та праве -1.5 см, лїве 2см. дзеркальні поля)

УДК: 371.13.001.76

Ткачук Н.М., к.п.н.

Волинський інститут післядипломної педагогічної освіти

ПІДГОТОВКА ВЧИТЕЛІВ ПРОФІЛЬНОЇ ШКОЛИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПЕДАГОГІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ткачук Н.М. Підготовка вчителів профільної школи до впровадження інноваційних педагогічних технологій. У статті розкрито важливість застосування інноваційних педагогічних технологій для реалізації завдань старшої профільної школи. Запропоновано можливості впровадження технологій у навчальний процес шляхом підготовки педагогів в системі післядипломної освіти.

Ключові слова: інновація, технологія, педагогічна технологія, профільна школа, післядипломна педагогічна освіта, підготовка педагога.

Ткачук Н.М. Подготовка учителей профильной школы к внедрению инновационных педагогических технологий. В статье раскрыта важность применения инновационных педагогических технологий в старшей профильной школы. Предложены возможности внедрения технологий в учебный процесс в системе последиplomного образования.

Ключевые слова: инновация, технология, педагогическая технология, профильная школа, последиplomное педагогическое образование, подготовка педагога.

Tkachuk N.M. Teacher training specialized schools to implement innovative pedagogical technologies. The article considers the importance of the application of innovative pedagogical technologies for implementation of tasks of the senior professional schools. The proposed introduction of technology into the learning process through the training of teachers in the system of postgraduate education

Keywords: innovation, technology, educational technology, professional school, post-graduate pedagogical education, training teacher.

Постановка наукової проблеми. Впровадження профільного навчання старшокласників як одного з етапів реформування освітньої галузі зумовлює пошук нових підходів до організації навчання в старшій школі.

Аналіз досліджень. Питанням підготовки вчителів до професійної діяльності в умовах профільного навчання присвятили свої дослідження

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Порівнявши питання підготовки педагогів в процесі підвищення кваліфікації до впровадження інноваційних педагогічних технологій, уточнимо ключові поняття «інновація» та «педагогічна технологія».

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Таким чином, одним з найважливіших стратегічних завдань на сьогоднішньому етапі модернізації післядипломної педагогічної освіти є забезпечення якості підготовки фахівців на рівні міжнародних стандартів.

Список бібліографічного опису.

1. Величко Л. Л. Теоретичні аспекти педагогічної майстерності та методичної культури педагога / Л. Л. Величко, М. М. Савчин., 2013. – 74 с. – (N4).
2. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології : навч. посіб. / І. М. Дичківська. – К. : Академвидав, 2004. – 352 с.
3. Липова Л. Післядипломна освіта в контексті профілізації навчання/ Л. Липова, М. Войцехівський, В. Малишев., 2010. – 3с. – (N1)

References

1. Velichko LL Theoretical aspects of pedagogical skill and methodological culture of the teacher / LL Velichko, MM Savchin., 2013. - 74 p. - (N4).
2. Dichkivska IM Innovative pedagogical technologies: textbook. tool. / IM Dychkivska. - K.: Akademvidav, 2004. - 352 p.
3. Lipova L. Postgraduate education in the context of learning profiling / L. Lipova, M. Voitsekhovskiy, V. Malyshev., 2010. - 3с. - (N1)

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» можна отримати у відповідального секретаря – Свиридюк Катерини Анатоліївни за тел. (0332) 74-61-15, або (063)-940-69-42.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 141

Автор статті отримує 1 примірник збірника. Вартість друку однієї сторінки становить 40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ВУЗів.

Окремо, кожній статті, буде присвоєний DOI (digital object identifier) - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату 45грн.

Кошти можна перерахувати на рахунок:

Луцький національний технічний університет

43018 м.Луцьк, вул.Львівська, 75

р/р **31251222217820** (БУДЬ ЛАСКА ЗВІРЯЙТЕ НОМЕР РАХУНКА)

банк ДКСУ м.Київ,

МФО 820172

Код ЄДРПОУ 05477296

З призначенням платежу: «За інформаційно-аналітичне забезпечення видання «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» від _____ (ПІБ)»

CONTENTS

<i>INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE</i>	
Andrushchak I.Ye, Martsenyuk V.P., Androshchuk I.V, Chudovets V.V.,Poteychuk M.I. Cloud computing and analysis features of cloud information security.	5
Asieieva A.V., Kulakovska I.V. Analysis of technology selection problems for software development.	10
N. V. Bagniuk, O. I. Kuzmych, V. M. Melnyk, P. V. Timoshuk. Concept of formalization of relations with customers and integration of CRM-system.	19
N. V. Bagniuk, O. I. Kuzmych, V.M. Melnyk, G.S. Shepelyuk, M. A. Chornij. MATLAB GUI for modeling self-organization processes in biosystems.	25
O.I. Kuzmych, V.M. Melnyk, V.Yu. Kapish. Research of Procurement Analytics Based on UNF Configuration of 1C: Enterprise 8.3.	31
Lavrenchuk S.V., Iliushyk R.S. Research of technology of natural language processing and machine learning through chat-bot creation by Python means.	36
M. Polishchuk, S. Kostyuchko, M. Khrystynets Comparison of neural network optimization methods using the image classification problem.	43
Tereikovska L.A. Method of neural network analysis of keystroke dynamics.	53
<i>AUTOMATION AND MANAGEMENT</i>	
Grinchenko L.G. Collocation method of systems of linear equations with variable coefficients.	60
N. Ismailova , I. Eliseev. Modeling conjugate surfaces using the circular transformation method in the MATLAB system.	66
Kulakovska I.V. The non-linear regression equations for software size assessment with java mp3players type.	72
Martseniuk V.P., Sverstiuk A.S., Kozodiy N.V., Dzadevich S.V., Stravsky T.Y. Functional features of biosensors and their modeling.	81
B. Moroz, A. Shcherbakov. Research and development of an automated video surveillance system to perform special functions.	89
M.M. Polishchuk, S.V. Hryniuk, D. Yanchuk. Tesla candle for four batteries based on Arduino Uno motherboard.	97
Prykhodko O.S., Prykhodko H.V. Development of software for automatic determination of wetting angles.	106
Tomenko M.G., Tomenko V.I., Koretska O.O. Identification of potentially hazardous production at the early stages of emergency situations by recording changes in equipment vibration.	111

Міністерство освіти і науки
Луцький національний технічний університет

Колектив авторів

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

Науковий журнал

Підп. до друку 27.12.2019. Формат А4. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15.0 Обл. – вид. арк. 14.75
Тираж 100 прим. Зам. № 1

Комп'ютерний набір та верстка:

К.В. Мельник,
К.А. Свиридюк.

Друк ІВВ Луцького НТУ
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК №4123 від 28.07.2011 р.
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, тел.: (0332) 74-61-02
e-mail: rvv_lntu@ukr.net