МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ

Відповідальний редактор – професор, д.ф-м.н., Пастернак Я.М.

№47 2022

м. Луцьк
Видавництво Луцького національного технічного університету

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: **cit-journal.com.ua**

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

№47 2022р.

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 №11 засідання від 30.06.2022)
Журнал рішенням МОН України
наказом №515 від 16.05.2016р,
включено в перелік наукових фахових видань.

Видання індексується у
наукометричних та реферативних базах:
Open Academic Journals Index
Academic Resource Index ResearchBib
Rootindexing
Information Matrix for the Analysis of Journals
Ulrichsweb.

ISSN 2524-0560 (Online)
ISSN 2524-0552 (Print)

ЗМІСТ

ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-01
UDC 004.05(075.8)
Andrushchak Igor Yevhenovich, Ph.D., Professor
https://orcid.org/0000-0002-8751-4420
Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

FEATURES OF THE MAIN DIRECTIONS, TECHNIQUES AND METHODS OF PROTECTION AGAINST FISHING ATTACKS.

Andrushchak I.Ye. Features of the main directions, techniques and methods of protection against fishing attacks. This article discusses common modern heuristic technologies used in anti-phishing tools and protection methods. An overview of different types of mobile phishing attacks is given, as well as the main methods of detecting and reducing the level of fishing attacks.
Keywords: fishing, favicon, cyber threat, vishing, smishing, mobile application, anti-phishing protection, site falsification.

Андрущак І.Є. Особливості основних напрямів, технік та методів захисту від фішингових атак. У даній статті розглядаються поширені сучасні евристичні технології, що використовуються в антифішингових засобах та методах захисту. Наведено огляд різних типів мобільних фішингових атак, а також розглянуто основні методи виявлення та зниження рівня фішингових атак.
Ключові слова: фішинг, фавікон, кіберзагроза, вішинг, смішинг, мобільний додаток, антифішинговий захист, фальсифікація сайтів.

Formulation of the problem. Currently, many services have become available via the Internet and not only. The financial sector is also no exception. Various payment systems, payment terminals, Internet wallets have appeared. The security of payments within these systems is ensured by a variety of high-tech solutions, such as security certificates, cryptographic protocols. However, all these solutions turn out to be ineffective when attackers use social engineering methods that exploit the weaknesses of the human factor.

One of the most common methods of this kind of attack today is fishing. A popular phishing technique is to create fake websites that look identical to the real ones. Fishing crimes cost billions of dollars in damages. At the same time, according to statistics, the number of fishing attacks increases by about one and a half times every year.

It is possible to stop the rapid development of such crimes by creating complex systems of protection against phishing attacks. Since the arsenal of phishers is growing at a rapid pace, it is necessary to ensure the trainability of such systems. Currently, there are no solutions of this kind, as the statistics eloquently narrates, so the creation of a comprehensive, trainable, highly effective system for protecting against fishing attacks is an interesting and relevant area. The creation of such a system involves a preliminary study of the characteristic features of fishing resources and the development on their basis of methods for assessing the degree of danger of an information resource and identifying potentially dangerous resources. This is the main focus of this work. On the basis of the obtained results, a scheme of functioning of the system of protection against fishing attacks is proposed.

Analysis of research. Currently, there is an active growth in the number of cybercriminals and cybercrimes. Fraud is the most common crime on the Internet. In this case, the victim voluntarily and knowingly provides confidential information that fraudsters can use and cause material harm. Information is often obtained through phishing, a type of Internet fraud.

Every year the number of fishing attacks is growing and their methods are being modernized. In addition, the effectiveness of fishing attacks is affected by the human factor, as scammers actively use social engineering. Therefore, there is no universal way to protect against fishing, and in order to prevent or prevent it, it is necessary to constantly study its development and methods used by attackers [1].

Since phishing resources cause the greatest damage on the first day of their existence, to ensure effective protection against them, it is necessary to continuously monitor information resources. However, it is not possible to analyze all the resources of the Internet, so you should concentrate on those that are most likely to be dangerous. When developing fishing sites, attackers are guided by the fact that the user will either make a mistake when typing a domain name, or follow a link that looks like a trusted resource. According to this, several principles for constructing domain names have been identified that represent a potential danger in relation to the given one.

Presentation of the main material and the justification of the results. Fishing is a type of fraud through which attackers obtain the user's personal information (logins, passwords, details of pay-

ment documents). Phishing can be spread through email, messaging applications (Skype, Viber, WhatsApp), social and professional networks and other web resources with high traffic (news sites, thematic forums, bulletin boards).

Fishing can be in the form of a hyperlink leading to a fake site where you need to enter the user's personal data, or in the form of a malicious application that may contain the following functionality: intercepting characters entered from the keyboard, stealing passwords from the operating system and browsers, recording audio and video, transfer of personal information and interaction with the attacker's C&C server. Fishing does the most damage to the financial sector. More than 900 bank customers fall victim to financial phishing in world every day, which is three times the daily number of victims from malware [2].

More than eight million spam and fishing attacks are recorded daily by the IBM X-Force system. This indicates that phishing attacks are an urgent threat to all areas of activity. Today, anti-fishing technologies are used based on heuristic algorithms and reputation databases (white and black lists).In the following, common heuristic techniques that are used to detect phishing links will be discussed [3].

- IP address in URL. Most legitimate web resources register a domain name. Fishers - cybercriminals who carry out phishing attacks - often save money on domain registration. As a result, on phishing sites, instead of the domain in the URL, the IP address of the malicious web server is indicated, for example, http://104.131.37.183/itau.

- Dots in URL: In a URL, dots are used to indicate a subdomain. Attackers can create third-level and higher domains to make the site address look legitimate, for example, http://settings-upgrade.000webhostapp.com/.

- Suspicious symbols. Phishers use special characters in the domain name to fool the inattentive user. Often in the URL of a fishing page you can see the special characters "@", "&", "-" and "_", for example, https://team-update-informations-account.com/.

- Slashes in URL: In URLs, slashes (slashes) indicate the presence of subfolders. As a result of a compromise of a legitimate site, a fisher can upload a phishing page to an existing subfolder (or a newly created one). As a result, the user will think that he is entering sensitive data on a legitimate site. Example: http://www.carisma.org.br/css/netflix11/.

- Availability of an SSL certificate. The certificate data indicates the use of a secure connection for the secure transmission of data between the client and the web server. SSL certificates come in entry level (DomainSSL), business level (OrganizationSSL), and extended trust level (ExtendedSSL). Acquiring ExtendedSSL is expensive for attackers. But an entry-level certificate of trust can be obtained absolutely free of charge, for example, in the Let's Encrypt certification center. Most legitimate sites have SSL certificates.

- Empty anchors or anchors leading to third-party web resources. An anchor is an HTML element that contains a link to navigate to a specific location on a given web page or to a bookmark from another web page. A fake site often has many empty anchors or anchors that lead to third-party web resources, which is rare for legitimate sites [2].

- Position of the URL and/or domain in Google, Bing and Yahoo search engines. Newly created phishing sites do not have time to be indexed by search robots, as a result of which information about them is not included in the search results.

All of the above heuristic fishing detection algorithms have both advantages and disadvantages. Let's consider some of them.

Fishing sites that use IP addresses in URLs, suspicious characters, or are located on third-level domains and above are used for mass attacks and can be easily detected by employees of companies that have received information security awareness training. The use by attackers of empty anchors or anchors leading to third-party web resources also indicates the low quality of the attack and their mass focus. The slash in URL heuristic only detects a fake page on hacked sites. Knowing the position of a domain in search engines will increase the chance of a Type 2 error if the attack comes from an infected legitimate domain, and the chance of a Type 1 error for recently registered legitimate domains [4].

The heuristic technology developed as part of the scientific work, based on the analysis of the content of a web resource, namely, on the analysis of favicons (a small image that is displayed on a browser tab to the left of the title of an open web page), is able to detect targeted phishing attacks that are carried out from again registered domains and subdomains of the third level and above, but is ineffective against fishing carried out from hacked legitimate sites. Thus, each anti-phishing technology is designed for a specific task, and only the use of all these technologies in combination with the use of machine

learning algorithms makes it possible to confirm or deny the maliciousness of a web resource with a high degree of probability.

Mobile Fishing is a growing security threat in today's world. In a mobile phishing attack, the attacker typically sends an SMS message containing links to phishing web pages or apps that ask for credentials when visiting. Attacks can also be initiated using email messages downloaded in the browser of mobile devices.

Experts come to the conclusion that the number of mobile phishing attacks has increased significantly over the past few years for various platforms on mobile devices. Compared to traditional users of desktop software, mobile app users are more vulnerable to phishing attacks. Experts agree on some common, well-known reasons for this vulnerability:

- on a small device, it is quite difficult for the user to verify the authenticity of the page, which confirms private hyperlinks, since URLs are not always displayed on mobile browsers;
- mobile users are less aware of security options to stop or prevent fishing attacks;
- Most legitimate mobile apps require users to enter their credentials with a very simple user interface, which makes it quite easy for an attacker to come up with fake apps or simple websites that mimic legitimate user interfaces [5].

The main phishing methods based on mobile device infrastructure vulnerabilities:

1. Screen size - mobile devices tend to have a small screen size. These small screens make it hard to see the full URL when users follow the link. Therefore, many users do not know when they are not on official sites when browsing the Internet. In addition, it should be noted that the small size of the on-screen keyboard can also lead to an error in typing the address.

2. Applications - the creation and deployment of malicious software (SW) does not require a high level of knowledge and special skills to persuade users in order to force them to install malware. Many mobile device owners accept offers of games, unfamiliar software, or attractive images, even if they are not at all sure about the source of the software.

3. Delays in software updates - untimely software updates allow attackers to exploit this vulnerability. First, many lower-end phones are never updated because they can't support the newer software version. Secondly, mobile device users do not install updates immediately for several reasons, for example, the update procedure takes a long time, the phone runs out of power, and the like.

4. Smishing (SMS Phishing) - Another popular phishing method uses SMS messages. This method is called "smishing". This method works in the same way as phishing, but instead of email, the victim receives a regular SMS text message. The SMS message contains a link to a phishing site. Alternatively, the user of the mobile device is asked to send confidential information in a response SMS message, for example, payment details or personal access parameters to information and payment resources on the Internet. Once the user receives such a message from a phone number, it is recommended to notify the cellular service provider.

5. Wi-Fi fishing - occurs when a user connects to the Internet through public Wi-Fi hotspots. WiFFhisher is a tool that can find WPA-secured wireless networks and disable their access points, then creates a fake WPA page that asks for password confirmation. Due to a malfunction of the access point, the user is forced to look for other available points, and without knowing it, he connects to a fake network. This allows an attacker to perform man-in-the-middle attacks and also use fake access points to intercept traffic.

6. Vishing - is one of the social engineering scams. It consists in the fact that an attacker, using telephone communication and playing a certain role, for example, a bank employee, etc., under various pretexts, entices confidential information from the payment card holder or pushes them to perform certain actions with their card account.

7. Email/Spam is the most common form of phishing. It uses the "spray and pray" approach, i.e. the same email is sent to millions of users, in the hope that the fishing attack will succeed.

8. Malware - fishing scams that involve malware that requires it to run on the user's computer. For example, ransomware is a malicious program that denies access to a device or files until some amount of money is paid. A program such as keylogger is used to identify keyboard input. The information is sent to hackers who will be able to decrypt passwords and other types of information. The trojan malware infiltrates a computer under the guise of a legitimate piece of software, but actually performs unauthorized access to the user's account. The resulting information is then passed on to cybercriminals. Malicious software is usually attached to an email sent to a user by fishers, or may also be attached to downloaded files.

9. Malvertising is malicious advertising that contains scripts designed to download malware or force inappropriate content to be placed on a user's device.

10. Spear Phishing is a more targeted attack in which scammers know which specific person or organization they are targeting. Attackers examine the target to personalize the attack and increase the chance of the victim falling into their trap.

11. Whaling is not very different from Spear Phishing, but the target group becomes more specific and limited. This method targets senior positions that are considered important figures in the information chain of any organization, commonly known as "Whale" ("Whale") in fishing terms.

12. Fishing through Search Engines - A method involving search engines where the user is directed to sites that may offer inexpensive products or services. When a user tries to buy a product, they enter their payment card or e-wallet details, which are collected by the phishing site.

13. Web Based Delivery is one of the most difficult fishing methods. Also known as "man-in-the-middle" when the hacker is between the original site and the fishing system. The phisher keeps track of the details during the transaction between the genuine website and the user without the user being aware of it.

14. Pop-Ups - Pop-ups are one of the easiest methods to successfully launch phishing attacks. They allow attackers to obtain login information by sending users pop-up messages and eventually leading them to fake websites. One type of phishing attack, also known as in-session phishing, works by displaying a pop-up window during an online banking session that looks like a message from a bank.

15. Session Hijacking is a session hijacking technique in which a phisher uses a web session control mechanism to steal information from a user.

16. Content Injection is a method in which a fisher modifies some of the content on a page of a trusted website. This is done in order to mislead the user and send him to a page outside of the genuine website, where the user is prompted to enter personal information.

17. Clone fishing is a type of phishing attack in which a legitimate and previously delivered email containing an attachment or link is used to create a nearly identical or cloned email. An attachment or link in an email is replaced with a malicious version and then sent from an email address spoofed to appear to be from the original sender. Typically, this requires either the sender or the recipient to have been previously hacked by a third party.

18. Filter evasion is a technique in which phishers use images instead of text to make it harder for anti-phishing filters to detect the text commonly used in phishing emails. In response, more sophisticated anti-phishing filters are able to recover hidden text in images using OCR (Optical Character Recognition).

19. Link Manipulation - Using this method, the scammer sends a link to a malicious website. When a user clicks on it, they open the phisher's site instead of the one listed in the link.

Fishers can use subdomains. For example, looking at the URL www.mybank.user.com, an uninformed person will think that the link will lead him to the "user" section. In fact, the link leads to the "mybank" section, since the domain hierarchy always goes from right to left. There is a way to hide the actual URL under plain text. Instead of displaying the actual URL, fishers use offers such as "click here" or "subscribe". In fact, the URL behind the text leads to phishing sites. A more compelling email might even display an actual link, but it leads to a phishing site.

Another link manipulation method is when scammers buy domains with different spellings of a popular domain, such as: facebok.com, googlle.com, yahooo.com, etc. They then trick users into creating similar sites and asking for personal information. In the following method, the attacker misleads the user about the link by taking advantage of similar characters. For example, the Latin letters "s", "o" and "x" can be replaced with similar Cyrillic letters.

20. Website Forgery - a method in which a malicious website pretends to be genuine. Forgery is mainly carried out in two ways: cross-site scripting and site spoofing.

21. Cross-site scripting (XSS) is an attack in which a hacker injects malicious code into a web application or website. This is a very common and widely used technique in which the victim is not the direct target. Most likely, an attacker exploits a vulnerability in a web application or website that the user is visiting. Ultimately, the malicious script is delivered to the victim's browser. Another method is to create a website that looks like a legitimate site that the user actually intends to access. The fake website has a similar user interface and design, often with a similar URL [6].

Methods for detecting mobile fishing attacks. Typically, phishing detection systems for mobile devices contain a filter-based mechanism: blacklist and whitelist. Filtering mechanism: URLs are checked in this technique. Filtering can be done based on a set of rules or based on statistical differences between legitimate and fraudulent content. This method can effectively detect smishing, vishing and Wi-Fi fishing.

"Blacklist": A human-checked method that compiles a list of websites known as phishing links. This method is currently supported by various browsers that communicate with trusted servers to obtain a blacklist of URLs.

Whitelist: In this method, users specify sites they trust. The method can be used to detect an attack where multiple legitimate numbers can be provided to stop receiving unwanted SMS containing fake web addresses, such as smishing.

Methods to reduce mobile fishing attacks. While it can be difficult to identify fake mobile apps, there are several ways to mitigate phishing attacks on mobile devices:

a) Use Official Apps: Users should only download apps from official stores.

b) User education: User education is very important to prevent users from clicking on unknown links.

c) Use secure browsers: Browsers with security features eliminate malware and phishing sites to protect users.

d) App Store Control: Providers must take additional steps before allowing developers to upload apps to the public.

e) Security Solutions: Just like for regular desktop computers, security vendors offer antivirus programs for mobile devices. Such programs eliminate malicious attacks on mobile devices[7].

Conclusion and prospects for further research

The considered methods and technologies of fishing attacks demonstrate how resourceful attackers are, and the study of the analysis of diagrams confirms the relevance of the phishing problem. Effective protection against phishing is possible only with the complex specific use of various technologies.

Fishing sites use various types of technologies to prevent users from entering sensitive information. Currently, the most popular browsers are equipped with anti-phishing protection. Many companies specializing in the development of cyber threat protection systems create software that includes filters for fishing sites.

A popular type of solution to alert the user to an unsafe site is to use a database with a list of phishing site addresses. The problem is that today's phishers create and distribute phishing sites faster than the addresses of these sites can be blacklisted. In addition to list-based technology, machine learning is used, where a combination of various site characteristics determines the level of trust in it. Both the appearance of the site and its registration data are considered.

The task of determining the technologies of the level of trust in an Internet resource is difficult to formalize, and the site URL also contains a lot of information that can be extracted and used. algorithmically difficult to implement. Despite this, some algorithms can be used in combination with different methods. For example, this is how you can determine the degree of similarity between a phishing domain and a domain from the "white list" and use this feature in a multicriteria task.

References

1. Bay H., Ess A., and Tuytelaars T. SURF: Speeded Up Robust Features // Computer Vision and Image Understanding (CVIU). 2008. V. 110. No. 3. P. 346–359.
2. Devyanin P. N. Security models of computer systems. Access and information flow management. Proc. allowance for universities. M.: Hotline-Telecom, 2011.
3. Lininger R. and Vines D. Phishing: Cutting the Identity Theft Line. Wiley, 2005. 334 p.
4. Mobile Phishing Attacks and Mitigation Techniques. [Electronic resource] // Journal of Information Security. URL: http://www.scirp.org/journal/jis/
5. Patil R., Dhamdhere B.D., Dhonde K.S., Chinchwade R.G., Mehetre S.B. A hybrid model to detect phishing sites using clustering and bayesian approach // IEEE International Conference for Convergence of Technology (I2CT), 2014.
6. RamB.Basnet,TenzinDoleck.TowardsDevelopingaTooltoDetectPhishingURLs:A Machine Learning Approach // IEEE International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology. 2015.
7. Sandhu R., Coyne E. J., Feinstein H. L., and Youman C. E. Role-Based Access Control Models // IEEE Computer (IEEE Press). 1996. V. 29. No. 2. P. 38-47.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-02
UDC 004.4'24
Pasternak Iryna Ihorivna, Ph.D,
https://orcid.org/0000-0001-7261-3189
Hryhlevych Maxym Ivanovich, student
https://orcid.org/0000-0002-5983-2130
National University «Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine

WEB-SERVICE FOR OPTIMIZING THE WORK OF SECONDARY SCHOOLS

Pasternak I., Hryhlevych M. Web-service for optimizing the work of secondary schools. Web-service for optimizing the work of secondary schools helps teachers and school administrations to organize the learning process, saving a lot of time. The article considers some problems of imperfection of modern education and develops a web service that solves them.
Key words: optimization, school, teacher, web-service.

Пастернак І.І., Григлевич М.І. Веб-сервіс для оптимізації роботи загальноосвітніх навчальних закладів. Веб-сервіс оптимізації роботи загальноосвітніх навчальних закладів допомагає вчителям та адміністрації шкіл організувати навчальний процес, економлячи багато часу. У статті розглянуто деякі проблеми недосконалості сучасної освіти та розроблено веб-сервіс, який їх вирішує.
Ключові слова: оптимізація, школа, вчитель, веб-сервіс.

Education is one of the most important branches of human activity. It is the educational quality of a person that corresponds to the future of the services provided by him, because the development of the necessary skills is paramount. Improving the quality of education is definitely developing in all other areas. Getting education by human begins at school. The school provides basic knowledge, without which it is impossible to master any profession. One of the methods to increase the efficiency of the school is optimization.

In today's world, the term "optimization" can be heard in any field of activity, because it is primarily an identification of the concept of "development". Human labor with many benefits does not mean that a better result is required to work. Optimizing the desire to get unnecessary processes in the course of work, without which you can work.

The best example of optimization is Henry Ford's invention of the conveyor in 1913. After the innovation in production, the process of assembling a Ford "Model T" car was reduced from 12.5 to 6 hours. That is, during the same working hours, workers were able gather twice as many cars as before. The quality of these cars wasn't getting worse, and there have been positive changes in this regard. Because each person had his or her own place on the assembly line and was solely responsible for assembling specific universities, his or her skills improved at an extremely rapid pace.

Another striking example of successful optimization is the world's most famous fast food chain McDonald's. At the end of the 40s of the 20th century, the company underwent large-scale changes aimed at fully optimizing the work of the institution (at that time it was the only one). The McDonald brothers closed their restaurant for 3 months and focused on action plans and design. The idea was that employees did not have to make unnecessary movements, fulfilling customer orders. Periodically, they selected their employees on the tennis court, where they marked the areas that corresponded to different places in the kitchen. They were asked to take their positions and imitate their usual work. When the shortcomings of the location of the working areas were identified, McDonalds redrawn, taking into accounting their mistakes, and then such a scheme all at first and so on in a circle, until they reached the ideal. During the experiment, many options for the placement of kitchen appliances were considered, all interactions between employees were considered, and as a result, the best scheme of the institution was developed. Thanks to this, fantastic results were achieved - the service time of one client was reduced from 15 minutes to 30 seconds, that is 30 times less.

Modern technologies optimize work much more efficiently. With the development of computer technology, there are more and more opportunities to automate many processes, even in some cases, technology can completely replace human labor. For example, we can see an electronic menu in many restaurants, where we choose dishes and pay for our order, and then pick it up when the order number is displayed on the board. That is, there is no need to interact with the cashier, computer do everything for him. It also manifests itself in buying flowers online, booking apartments, buying goods in online stores and more.

Today, educators are full of different tasks. Many of these tasks are not related to teaching the material to students, they prevent educators from doing what is primarily intended for their work. This web service will take over most of the work, thus relieving the staff of the school, and they in turn will have more time to devote to its students. After conducting research, it became known that similar services are not very effective in this regard, because their functionality for the most part simply replaces the usual work with electronic, rather than simplifying it.

During the development, an analysis of existing web services designed to optimize and manage the work of the school. The most popular among them are: Yedyna Shkola, Evolution and SMLS. We will conduct research based on the presented web services.

Yedyna Shkola. This service is recommended by the Ministry of Education and Science of Ukraine. The functionality is based on the entered electronic journal, in other words the service provides the teacher with extra clerical work, such as grading separately in the journal and diary. The system will display it wherever needed. Also, using this service, lists of students for each subject will be automatically generated, so the class teacher does not spend more time to complete the journal for each subject.

Evolution. It is a learning management system based on the student's personality. The idea of its developer is not only to automate the processes used to conduct a lesson or assess students, but also in certain analysts, monitoring the interest of students in different schools. At the same time, the most important task of the service is to create the formation of the student's personality, to see his strengths, these interests, and so on.

SMLS. Full name "School Management and Training System". The essence of the service is the distributed roles of participants in the educational process and the interaction between them. The service has a very wide range of features, which includes viewing the schedule, information about the school, the menu of the school canteen, the route of the school bus, and human resource management, statistics, reporting and more. It is more like a complete network for school staff and students.

In the above versions, the functionality is aimed directly at the learning process, such as conducting a lesson, filling out a journal and things like that. These things, of course, simplify the work of the teaching staff of the school, but they involve only the replacement of physical processes by electronic ones, and human participation in these processes is not greatly reduced.

The web service developed in this article focuses on processes in which human participation can be optimized to a much greater extent. Some features of my web service may not seem important in the educational process to focus on. However, this is why they need to be optimized, because spending precious time on them has a negative impact on the workload of teachers, principals and other school staff. Table 1 lists the advantages and disadvantages of the web services described in this article.

Tab. 1. Comparing current web service with similar services.

Web-service	Advantages	Disadvantages
Web-service developed in this article	The web service optimizes school activities that spent a lot of time, which greatly simplifies the work of the school. It contains only those functions that will relieve school staff from overburdening, and the rest of the work will be performed by school staff in the usual way. This allows you to quickly integrate the web service into the learning process.	It does not act as an e-school service. It has only the functionality that saves time.
Yedyna Shkola	The service provides digital activities of school.	It is not aimed at optimization and its use does not greatly simplify the work of school staff.
Evolution	The service aimed at powerful analysis of school	The functionality of the service almost does not include

	subjects and the formation of the student's personality.	the learning process.
SMLS	It has a wide range of functionality, covering all areas of school activity.	The service has many extra features that are used very rarely.

The web service developed in this article will help teachers to do their job without hassle. The idea of the web service is to relieve participants of unnecessary worries so that they can focus purely on education: the teacher - directly on the delivery of material in an understandable and accessible form, and the student - on obtaining and consolidating knowledge.

In the future, it will be possible to expand the functionality so much that most of the usual work for teachers now will be performed automatically. This will primarily improve the quality of education, as facilitation of work will significantly relieve the learning process and the teacher will have more opportunities to pay attention directly to students.

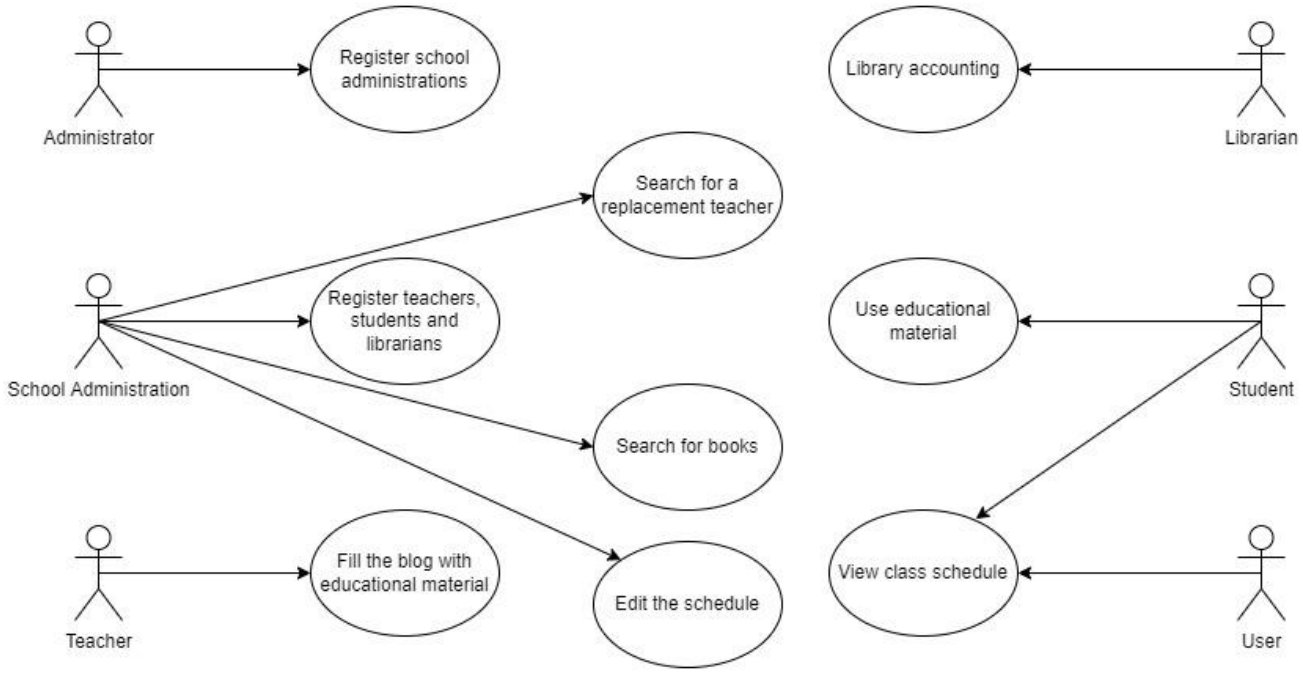


Fig. 1 – UML use-case diagram.

Unified modeling language (UML) is used to design the web service. In fig. 1 you can see a use-case diagram. This chart allows you to visually show features that are available to specific types of users. User roles can be as follows:

• Administrator - a single administrator for the entire web service. His role is to create and remove schools, appoint the school's account;

• School Administration - one such account per school. Appointed by the administrator. Performs the most important functions of school management, is also responsible for the appointment of teachers, students and librarians;

• Teacher;

•Student;

• User - any user who has not been logged in.

Different functions are available for each user role. Features include:

• Register school administrations;

• Register teachers, students and librarians;

• Search for a replacement teacher;

• Search for books;

• Edit the schedule;

• Fill the blog with educational material;

• Library accounting;
• Use of educational material;
• View class schedule.

The key functions of the web service are "teacher replacement search" and "book search". These features involve the use of a search algorithm for nearby schools that have something in excess that the current school lacks. This algorithm is a valuable unit, because it can be used in the future to create many useful features for secondary schools, which indicates a good prospect for this web service. Finding the right resources in other schools takes a lot of time, which can be spent on improving educational material or other important processes of educational activities. This web service will do this job in seconds. Search for nearby schools using the Google Maps service. Each school has its own address and, accordingly, coordinates on the map. The Google Maps API calculates the distance and travel time from the current school to each in the system, and then sorts by distance (Fig. 2).

Teacher replacement search (Fig. 3). The task of this algorithm is to simplify the procedure for finding a teacher who is currently free from work in other schools. The algorithm will be based on the schedule of teachers and the location of the school. The process of finding a teacher will take into accounting the time spent in the lesson, the time on the way from the school where the teacher works to the school where he will replace his colleague, as well as the time on the way back. The result of the sequence of algorithms will be a teacher who, according to the above criteria, is best suited to replace another teacher. This feature is relevant right now. With the onset of the Covid-19 pandemic, the problem of replacing teachers for some time is becoming increasingly important. Finding a free teacher in nearby schools saves time on school logistics.

Book search (Fig. 4). The task of this algorithm is to replace human resources and optimize time spent searching for excess textbooks in other schools. The algorithm will be based on the accounting of textbooks in schools maintained by a librarian. As a result of the sequence of actions of this algorithm, a school or a list of schools will be published, where you can get textbooks for students who did not have enough of them.

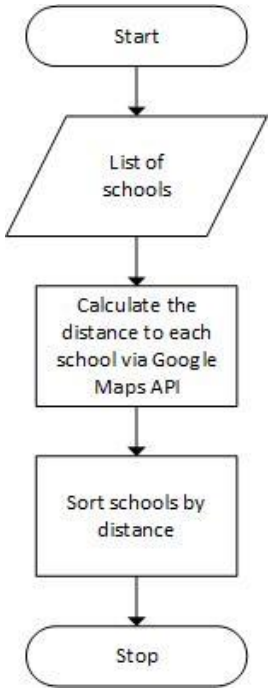


Fig. 2 – Nearby school search algorithm.

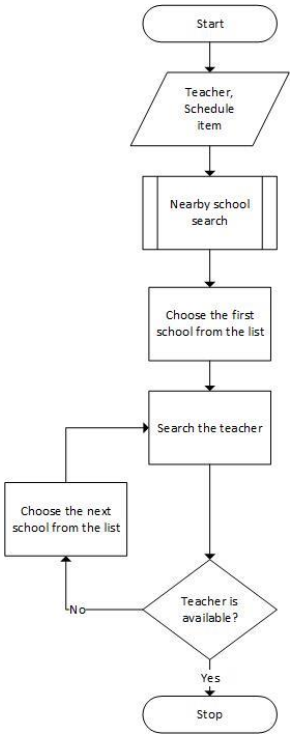


Fig. 3 – Teacher replacement search algorithm.

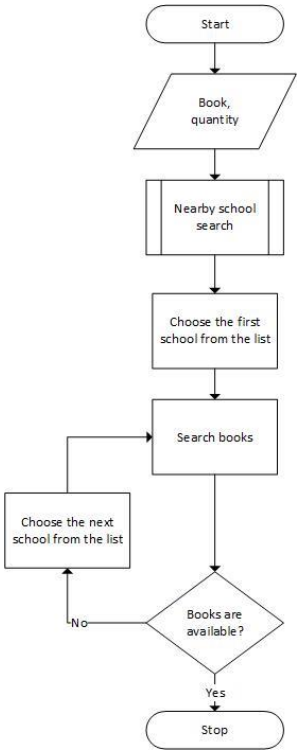


Fig. 4 – Book search algorithm.

The client-server architecture was chosen for the software implementation of the web service. The client part is implemented in the form of a web page in HTML, CSS, Javascript using the Javascript framework React JS, and the server part is written in Java using the Spring framework. The Postgres relational database was chosen as the database. Implementation of communication between client and server parts is presented in the form of REST API using HTTP protocol. Data is transmitted in JSON format.

Many modern web services now work on this principle, as such web services are extremely convenient to expand, adapt to different platforms, etc. In the future, on the basis of the server part, you can make more than one client. For example, you can develop applications for various operating systems, including mobile.

Figure 5 shows a sequence diagram. It shows communication between user, client (web-page), server (app developed in Java), database and Google Maps service.

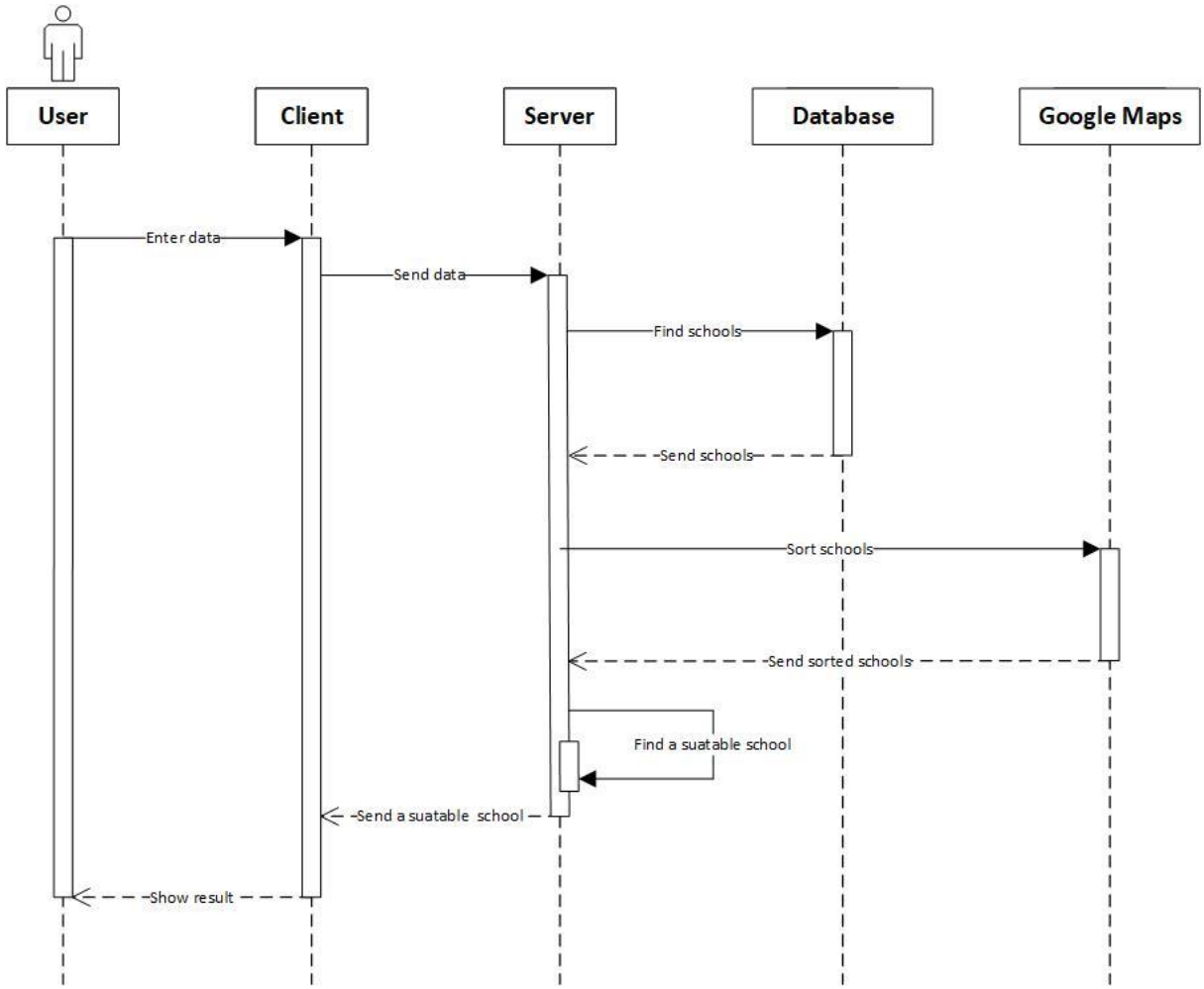


Fig. 5 – UML sequence diagram.

Figure 6 shows a class diagram. It shows the architecture of the components of the web service. User, Admin, SchoolAdmin, Student, Teacher and Librarian classes are responsible for functionality that is only available to specific users who have certain roles. School class represents a school with own schedule, represented by Schedule class. ScheduleItem class is a component of Schedule, represents a school lesson. There is a composition of School, Schedule and ScheduleItem classes. Post class represents a teacher's post. Library class represents a library with books. Book class represents a book. Library and Book classes make a composition.

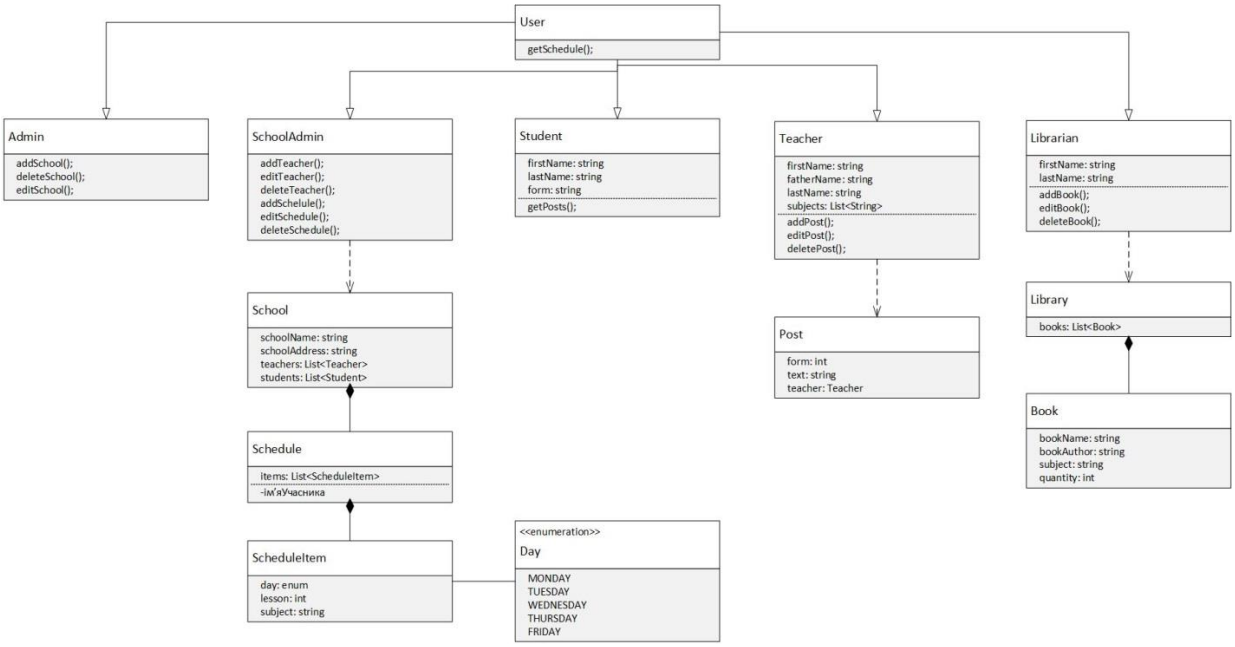


Fig. 6 – UML class diagram.

After the development of the web service, its work was tested. The time spent on key features took a few seconds. Without the use of a web service, the time spent can be more than an hour. Therefore, the web service developed in this article fully fulfills the task and solves the problem posed in the article.

Conclusion. The article develops a web service to optimize the work of secondary schools. The analysis of similar services is carried out, the problems which they solve, and also processes which still need realization are defined. A model of web service functioning has been developed. The technologies of web service development are given. The perspective of the web service developed in the article is assessed.

References

1. Henry Ford, Samuel Crowther My Life and Work – 2013 – 47p.
2. Ray Kroc, Robert Anderson Grinding It Out: The Making of McDonald's – 1992 – p.12-18.
3. Yedyna Shkola [Electronic resource]: https://eschool-ua.com/
4. Nova elektronna shkola [Electronic resource]: https://platfor.ma/topic/nova-elektronna-shkola-yak-ukrayinski-shnyky-gotuyut-revolyutsiyu-v-systemi-osvity/
5. School Management and Training System [Electronic resource]: https://smls.com.ua/
6. Casimir Saternos Client-Server Web Apps with JavaScript and Java: Rich, Scalable, and RESTful – 2014 – p.8-11.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-03
UDC 004.4'24
Pasternak Iryna Ihorivna, Ph.D,
https://orcid.org/0000-0001-7261-3189
Struk Iryna Tarasivna, student
https://orcid.org/0000-0003-1363-5489
National University «Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine

NAVIGATION SERVICE SEARCH FOR BLOOD AND ORGANS FOR PATIENTS

Pasternak I., Struk I. Navigation service search for blood and organs for patients. The purpose of this work is to develop a navigation web service to help find information and order medical products in emergency situations from neighboring medical institutions. This paper describes the problem of late receipt of medical products, solving this problem, finding the necessary method. The interface of the web-service has been developed.
Key words: web-service, medicine, emergency.

Пастернак І., Струк І. Навігаційна служба пошуку крові та органів для хворих. Метою даної роботи є розробка веб-сервісу навігації, який допоможе знайти інформацію та замовляти медичні вироби в екстрених ситуаціях із сусідніх медичних закладів. У цій роботі описана проблема несвоєчасного отримання медичних виробів, вирішення цієї проблеми, пошук необхідного методу. Розроблено інтерфейс веб-сервісу.
Ключові слова: веб-сервіс, медицина, невідкладна допомога.

Today, such standard and necessary devices as smartphones, computers, laptops, tablets and many other smart devices for various purposes have entered and are widely used in everyday life. These devices are the result of human activities to automate various technological processes. Today, one of the most common and accessible ways to automate various processes is to develop web-based software systems for process management. Modern web-based tools are used in practice to solve a variety of problems - from the management of complex technological equipment to the management of typical household appliances. There are many problems in the world of different nature, using the capabilities of web-based information systems, you can greatly facilitate their solution.

The practical value of this article is that a software product has been developed to automate the order and receipt of such medical products as organs or blood. The process of finding and ordering medical products often takes too long and it is a danger to human life. This service will allow more people to receive the necessary help in time.

During the development, an analysis of existing services used in medicine was conducted. The following two services are among the most common in practice: «NHS Blood and Transplant» and «Helsi». We will carry out the analysis on the basis of the specified means.

NHS Blood and Transplant is a web service which provide a blood and transplantation service to the NHS, looking after blood donation services in England and transplant services across the UK. This includes managing the donation, storage and transplantation of blood, organs, tissues, bone marrow and stem cells, and researching new treatments and processes. Figure 1 shows the NHS Blood and Transplant home page.

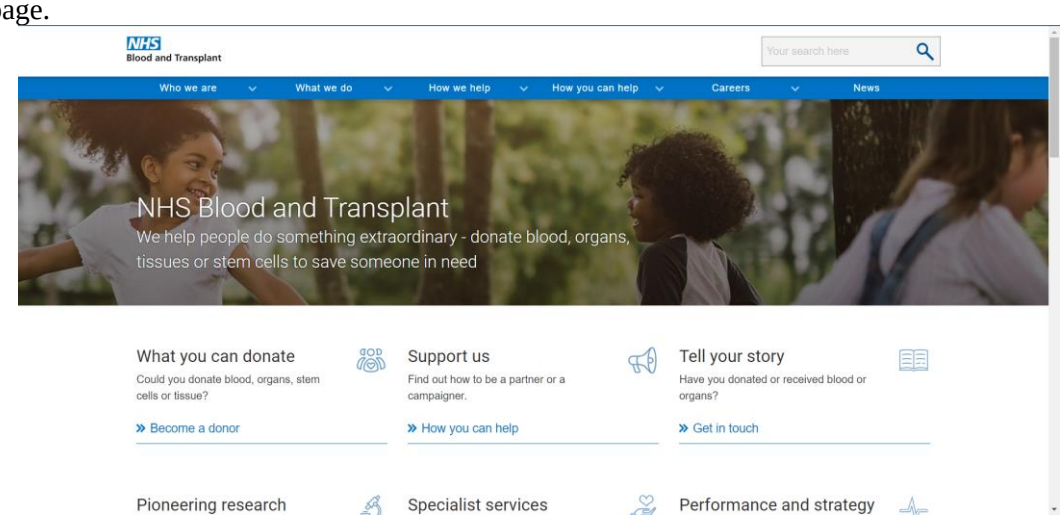


Fig. 1 – Home page of NHS Blood and Transplant home page.

NHS Blood and Transplant provide a safe, accessible and effective blood service for donors and patients. They are responsible for:

- Patient safety - fair, unbiased and compassionate matching and allocating of donated organs, tissue and stem cells
- Specialist support - dedicated clinical nurses and 24 hours support teams
- Community awareness - our campaign teams work tirelessly across the UK to encourage donations and enable us to offer more transplants

Also they have diagnostic and therapeutic services. These specialist services provide:

- Safe transfusion and transplantation therapies, including efficient, accurate and speedy patient and donor testing and matching
- High quality, cost effective, patient-focused, advanced diagnostic and therapeutic services for the NHS
- Fully accredited laboratories in Barnsley, Birmingham, Filton, Colindale, Newcastle, London, Tooting and Liverpool.

The advantages of the web service: convenient and intuitive interface, the ability to remotely record. The disadvantage is that the service takes place in England; there is no navigation part of the web service.

Helsi is a modern, convenient and reliable electronic medical system designed for patients, doctors, public and private medical institutions. This service is one of the most popular in Ukraine. The main page of the service is shown below:

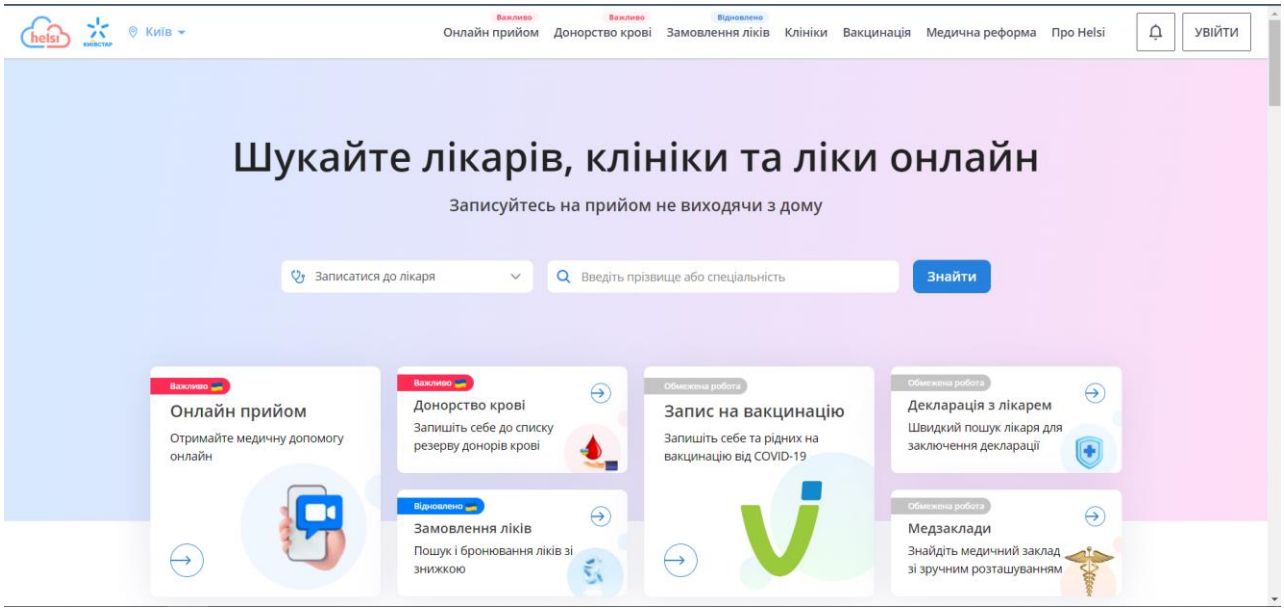


Fig. 2 – Helsi home page

Helsi provides such opportunities for patients like:

- Ability to easily find and choose your doctor;
- Quick registration for on-line reception of yourself and your family members;
- Access to your electronic medical card (EMC);
- Instant results of tests and diagnostics in the patient's office;
- Access to doctor's appointments and treatment plan.

Using Helsi doctors can convenient record a history of patients, prompt receipting of diagnostic results and tests, easily use of clinical protocols. Also the service provide blood donation.

The advantages are the same as advantages of the previous service. The disadvantage is the lack of search for organs for transplantation.

Unified Modeling Language (UML) was used to develop the software. This language is used to create a descriptive and graphical model of the software product.

One such chart is a precedent chart or usage chart. This is a diagram showing the relationship between the actor and the precedents in the system. Precedents describe the sequential actions performed

by a system so that the actor can get a certain result. This diagram helps to clearly see the functionality of the system.

Fig. 3 shows a use-case diagram showing precedents and the relationships between them that belong to the "User" actor. Among the functionalities:

- registration in the service
- access to the personal account
- the ability to view information, access to the rating of doctors and their personal information
- access to medical cards of patients and the ability to add new ones
- the choice of medical product and its order

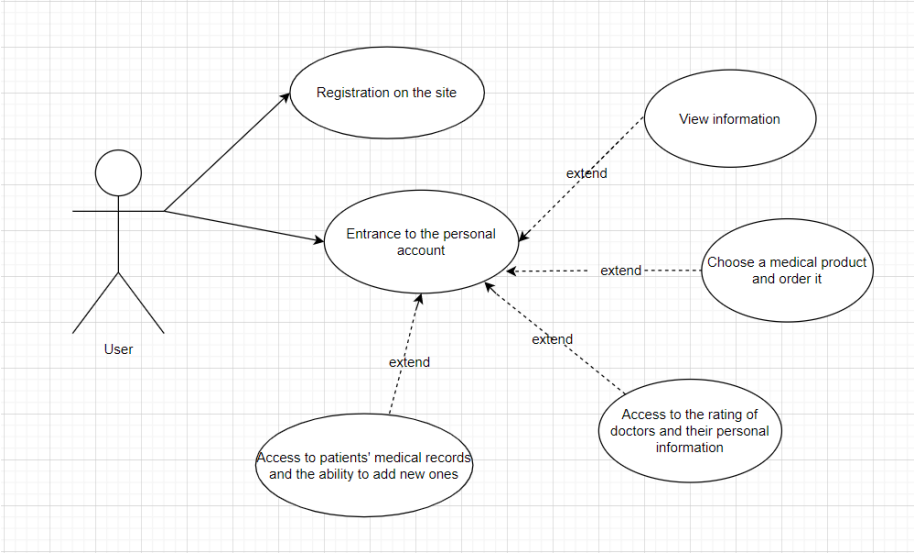


Fig. 3 - Diagram of precedents for the actor User

Fig. 4 shows a diagram of the algorithm of the registration process in the service:

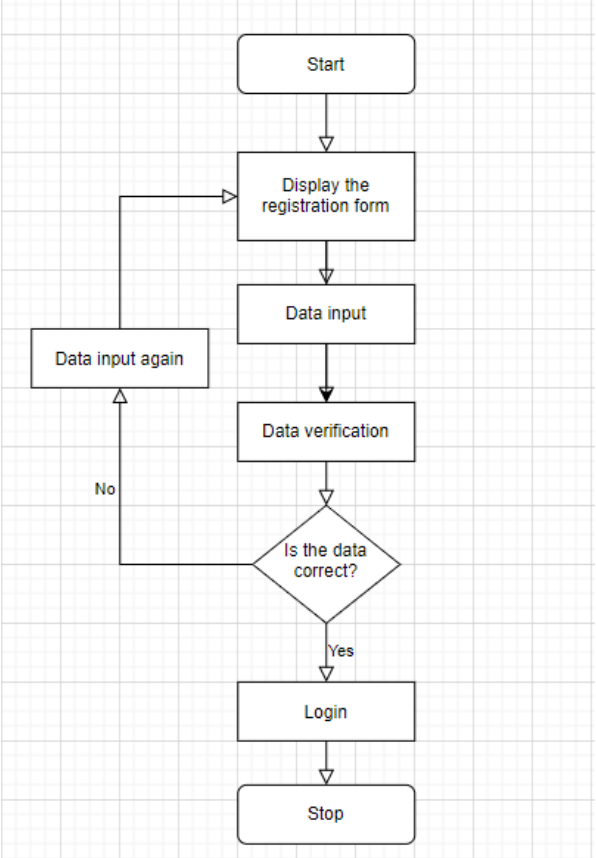


Fig. 4 - Diagram of the algorithm of the registration process

This diagram describes the sequence of processes during registration. When entering the service, the user, having chosen the registration, must enter the name and surname, the name of the completed higher education institution, e-mail address and password. This is followed by input validation (verification of the entered data). If the input is valid, registration takes place, otherwise the user will receive an error message about the invalidity of the input and will need to re-enter the data.

JavaScript programming language was chosen for software development. This programming language is a high-level language. Nowadays, JavaScript remains the only language that allows you to develop applications that run in the browser. The React library, HTML hypertext markup language, and CSS page style language were also used.

Therefore, using a class diagram, you can represent different classes, specifying their attributes and the methods that make up the service. The diagram also shows the static relationship between classes.

Figure 5 shows a UML diagram, namely a diagram of the classes of the navigation service search for blood and organs for patients.

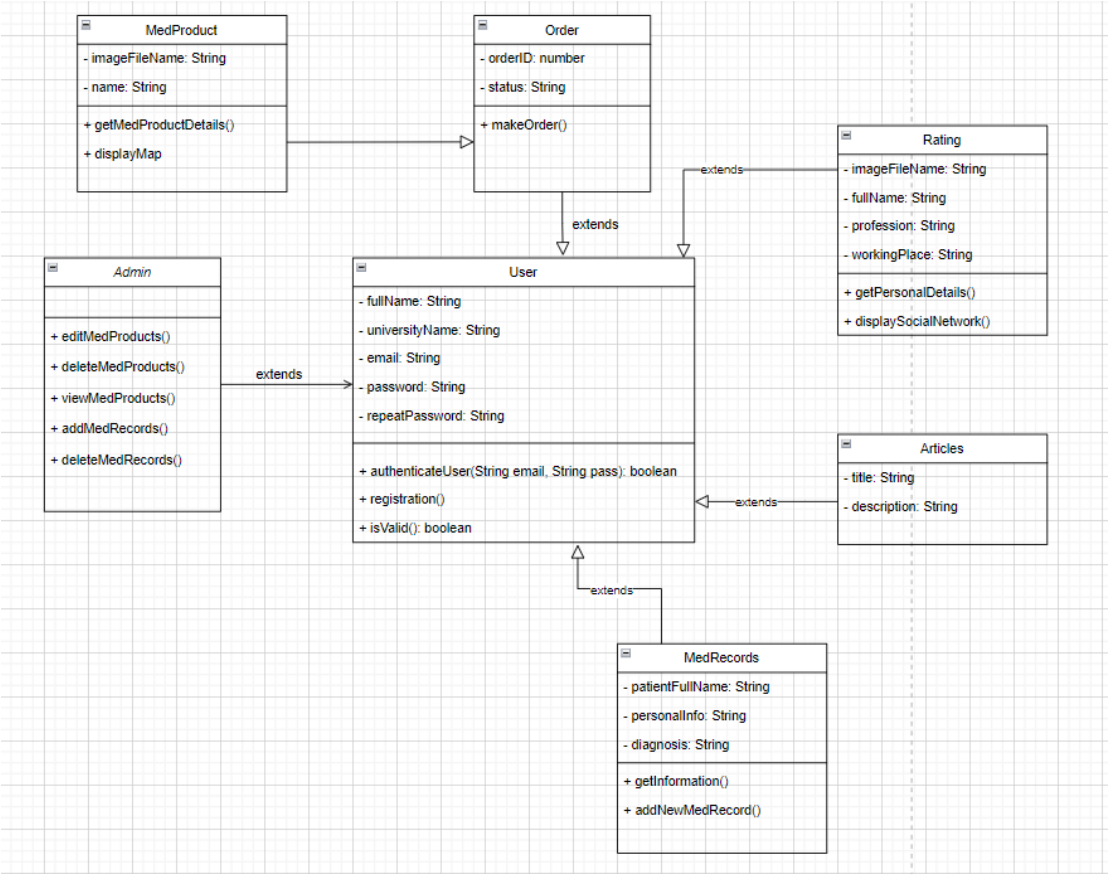


Fig. 5 - Diagram of classes

The main classes of the developed service include: Admin, User, Medical Records, Rating, Articles, Order and its component Medical Product.

The diagram shows the relationships that arise between classes, and each class contains the entities and properties that will be used in the development of the software product.

An important step in the development of a web service is the development of the user interface. After all, the interface is one of the most important components of any software product. This is what the user encounters when looking at the device or screen: the location of graphical interface elements, buttons and navigation. A person's desire to use a web service or application depends on how user-friendly the interface is.

When entering the web service, the user sees the "Home" page. Immediately the user can read the name of the web service and see the main image, which makes it clear why you need this software product. The buttons at the top Login and Registration are responsible for redirecting to the login page of the personal account and the ability to register in the system. After successful login or registration, the main functions of the software product become available for use.

Among the possibilities of this service is definitely the ability to order blood or an organ from a neighboring medical institution. After choosing a medical product, the doctor will be transferred to a page with a map, which will show exactly where the order is located territorially. After the order, information will be received on the account that the driver with the order has already left and how long to wait for arrival. There are also interesting articles from various fields of medicine. Another option for doctors is to review patients' medical records and add new medical records. And you can also view the rating of doctors in the city and go to the social network for better information.

Conclusion.

Blood donation is a major concern to the society as donated blood is lifesaving for individuals who need it. Blood is scarce. There is a shortage to active blood donors to meet the need of increased blood demand. Blood donation as a therapeutic exercise. Globally, approximately 80 million units of blood are donated each year. One of the biggest challenges to blood safety particularly is accessing safe and adequate quantities of blood and blood products.

As a result of scientific research, a web-based navigation service for searching for blood and organs for patients was developed. The analysis of analogues in the market is carried out, their pluses and minuses are defined. The diagrams of the service operation are also developed and the technologies of development of this software product are described.

References

1. Dan Morris, Christopher Sewell, Federico Barbagli // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2006.
2. Katrenko A. V. System analysis of objects and processes of computerization. - Lviv, Novyy Svit-2000, 2003. – 424 p.
3. Dubuk V.I., Kotsun V.I., Chornyy M.V. Improving the method and means of protection of the control system for the graphical human-machine interface of the information system // Ukrainian Journal of Information Technology, 2019, vol. 1, № 1, p. 41-45
4. User interface (UI) [Electronic resource]: https://www.techtarget.com/searchapparchitecture/definition/user-interface-UI
5. NHS Blood and Transplant [Electronic resource]: https://www.nhsbt.nhs.uk/
6. Sem Kaner, Jack Folc, Nguyen Eng Keck. Software testing. Fundamental concepts of business application management. - Kyiv: DiaSoft, 2001. - 544p.
7. User interface (UI)

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-04
UDC 004[657+005]338.4
Zalialetdzinau Kanstantsin, software engineer Brimit LLC
https://orcid.org/0000000319380122

AUTOMATION OF ORGANIZATIONS USING CLOUD TECHNOLOGIES: SECURITY ISSUES

Zalialetdzinau K. Automation of organizations using cloud technologies: security issues. The article reveals the principles of automation of organizations using cloud technologies through the prism without the peak aspect. The main stages of development of cloud technologies are characterized, the advantages of using these systems in everyday work are revealed (low consumption of financial resources, possibility of universal access to information, constant improvement of software and technologies). At the same time, attention is drawn to the main challenges facing users of cloud services: the need for a constant and uninterrupted Internet, the inability to recover information in case of loss. Security remains a major issue, therefore. The purpose of the article is to analyze the risks and possible ways to overcome them in the work of organizations with cloud technologies. It is established that the system that affects the reliable storage of information from customers can be exposed to such threats as cross-site-scripting, fishing, Trojans, viruses. This is due to the fact that, as a rule, consumers working with the cloud computing service, use an Internet browser. In order to optimize information security at this level, you need to use licensed anti-virus software packages, personal firewall tools, tools to encrypt data or information on disk, a properly configured Internet browser. It is proved that the security of virtualization mechanisms also affects the reliability of the virtual environment. For example, if the attack is organized on the monitor of virtual machines, the attacker may unnoticed by the security system, which are in the virtual machines can edit, copy or block the flow of information. Thus, if a hacker gains access to control capabilities, he will not only be able to edit data, but also steal it throughout the virtual network. Therefore, to avoid this situation, you need to protect the administration or servers of virtual machines. In addition, you need to create specialized information security tools that can monitor traffic inside the required server. At the same time, compliance with basic fire safety rules is also important for the safe operation of servers.
Key words: cloud technologies, security, virus, information.

Золялетдінов К. Ю. Автоматизація організацій із використанням хмарних технологій: проблеми безпеки. У статті розкрито принципи автоматизації організацій із використанням хмарних технологій крізь призму безпекового аспекту. Охарактеризовані основні етапи розвитку хмарних технологій, виявлені переваги використання цих систем у повсякденній роботі (мала витрата фінансових ресурсів, можливість універсального доступу до отримання інформації, постійне удосконалення програмного забезпечення та технологій). Водночас, звернено увагу на головні виклики, що стоять перед користувачами хмарних сервісів: потреба у постійному й безперебійному Інтернеті, неможливість відновлення інформації у випадку її втрати. Вагомою проблемою, отже, лишається забезпечення безпеки. Мета статті – проаналізувати ризики та ймовірні шляхи їх подолання при роботі організацій із хмарними технологіями. Встановлено, що система, яка впливає на забезпечення надійного збереження інформації у клієнтів може піддатися таким загрозам як cross-site-scripting, phishing, трояни, віруси. Це пояснюється тим, що, як правило, споживачі працюючи із сервісом хмарних обчислень, застосовують Інтернет-браузер. Із ціллю оптимізації інформаційної безпеки на цьому рівні, потрібно на боці клієнта використовувати ліцензійні пакети антивірусних програм, засоби персонального брандмауера, засоби для шифрування даних чи інформації на диску, правильно налаштований Інтернет-браузер. Доведено, що безпека механізмів віртуалізації також впливає на забезпечення надійності віртуального середовища. Наприклад, якщо атака організована на монітор віртуальних машин, то зловмисник може непомітно для системи захисту, які знаходяться у віртуальних машинах може редагувати, копіювати чи блокувати інформаційних потік. Таким чином, якщо хакер отримає доступ до можливостей керування, то він зможе не просто редагувати дані, а й викрасти їх по всій віртуальній мережі. Тому для того аби уникнути цієї ситуації потрібно захистити до адміністрування чи серверів віртуальних машин. Крім цього, потрібно ще створити спеціалізовані засоби захисту інформації, які зможуть контролювати трафік усередині необхідного сервера. Водночас, дотримання елементарних правил протипожежної безпеки також важливе для безпечної роботи серверів.
Ключові слова: хмарні технології, безпека, вірус, інформація.

Introduction and problem statement. The use of cloud technology is very popular among Internet users because it contributes to ease of operation, and cost-effectiveness and generally improves the quality of user experience. This, in turn, contributes to the popularization of cloud technology in the IT services market.

The advantage of cloud service is the possibility to work with necessary information all the time having only a computer or a laptop. Moreover, cloud technologies allow you to adjust the corporate IT infrastructure quickly, taking into account immediate needs, and consuming exactly as many resources as necessary. Due to its popularity, the use of cloud technology is constantly improving, so their use in the work is constantly updated, and in the direction of improving and facilitating. The use of cloud technology, as follows. Allow to minimize the cost of digital operations, and avoid the purchase of expensive network equipment, complex hardware, and software solutions.

In general, cloud computing allows organizations to achieve some advantages in two fundamental categories of business and technology efficiency - faster time to market and increased agility. However, these approaches to evolving cloud technologies can create security gaps and human error. There are other potential drawbacks to cloud adoption in small businesses, including platform mismatch, network vulnerability, unreliable data, and business interruption. There may also be challenges in working with these technologies. For example, working with cloud technology requires staying online, that is, without an Internet connection to work with such services is not possible, this problem is still difficult to overcome, although recently developed mechanisms for an emergency, but slow communication, which will allow to obtain from the "clouds" only critical information needed in urgent cases. It is also impossible at this stage of its development to restore lost data, which may be very relevant in case of unpredictable circumstances. The latter is also possible due to the neglect of security rules, which is a vulnerable side of cloud technology users.

Cloud computing brings convenience and benefits to an organization, such as elasticity of business, lower costs, automatic hardware, and software updates, elasticity, and scalability. The main advantage is that it helps reduce unnecessary costs such as the purchase and maintenance of hardware and software. It also reduces the number of people working in IT. However, like all technologies, cloud computing has some problems. The biggest problem is security, especially data theft. More organizations will only want to use cloud computing if the problems are solved. Therefore, the security of the cloud computing service must be put first. Cloud service providers must ensure compliance with regulatory requirements that may be of concern to users. Through compliance, it helps users to be safety certified. In addition, security, policy should be provided by the details of access control, risk management, backup, and system recovery. Due to time constraints in the future, several examples will be chosen and discussed regarding how organizations have benefited from cloud computing. A theoretical framework will also be used to discuss how organizations use the framework. Different types of attacks always occur in the cloud environment, so a strong theoretical framework and architecture will be offered, especially for security. This is an important step needed for a cloud service provider to deal with a cyberattack.

Analysis of recent publications and research. The problem of using cloud technology is a hot topic for research, given the modern development of the computer system and the general Internet. Domestic science has not paid due attention to this topic, but foreign scientists have repeatedly drawn attention to the imperfect development of techniques for the security of digital information channels. In particular, Attaran M. and Woods J. characterized the problem of using cloud technology to improve enterprise operations [5]. They believe that cloud computing technology is a revolutionary way to harness the power of the Internet, providing software and infrastructure solutions to enterprises around the world. The authors mainly focused on the use of this technology in small businesses. Consequently, their work explores the specifics of using cloud technology in different types of small businesses, with Attaran M. and Woods J. referring to its successful practical application in Europe. In general, the system of cloud computing allows organizations to achieve some advantages in the two fundamental categories of business and technology efficiency - faster time to market and increased agility [5].

At the same time, Xu S. and Xin F. investigated the main advantages and challenges of cloud computing implementation in business. The researchers believe that nowadays the important task of modern organizations is to improve and automate the traditional ways of doing business. For this reason, they note that cloud computing is considered an innovative way to improve business. In particular, they play an important role in addressing inefficiencies and increasing business growth, helping organizations to remain competitive [10]. Creswell K. et al. outlined the major challenges and opportunities for cloud technology in healthcare. Their study is based on interviews with more than 20 individuals, mostly professionals working for large cloud providers, small and medium-sized software vendors, and academic institutions [6]. Skale M. also characterized the features of the implementation of automation processes in enterprises using cloud technology. He believes that security capabilities are the main obstacles to further adoption of cloud technologies because cloud systems are often a key target for cybercriminals [9]. For this reason, the protection of cloud platforms and information remains important. Ukrainian specialists have also investigated the problem of using these technologies. In particular, Litoshenko S. and others investigated the use of cloud computing to automate the accounting process but in accounting systems [2].

Kulik V. described the process of using cloud technologies in accounting and enterprise management. The researcher presented the key models of cloud computing aimed at the end-user: private,

public, public, and hybrid clouds [1]. At the same time, Liubimov V. and others highlighted the key problems of implementation strategy and increasing demand for cloud technologies in the IT market [3]. In addition, they believe that the pattern of cloud computing is due to the need for ubiquitous and comfortable network access. Consequently, this problem is quite widely represented in modern science.

Highlighting the previously unresolved parts of the overall problem. Therefore, the paper will focus on the security aspect of working with cloud technologies, which have not yet received adequate coverage in the Ukrainian scientific literature.

The **purpose of the study**. Accordingly, the purpose of this article is to analyze the security factor in the work of organizations with the use of cloud technologies.

Presentation of the basic material of the study. The concept of cloud technology was first used by E. Schmidt, the CEO of Google. However, their very concept emerged back in 1960, at the same time the American researcher J. McCarthy suggested that soon computer computing will be provided akin to public utilities. Consequently, since 2008 the term began to be used en masse in the field of information technology [2, p. 86]. The increase in the use of cloud computing led to the spread of highly powerful networks, the low cost of computerized systems and data storage apparatuses, the spread of virtualization principles, etc.

Modern researchers note that the term cloud technology should be understood as technologies that provide Internet users with access to computer resources of servers and facilitate the use of software as an online service. Consequently, if the user has the ability to connect to the Internet, he can use the mechanisms of complex calculations, to process various kinds of data, while using the power of remote servers [1, p. 41]. The specified technologies allow to manage the organization much more effectively through centralization of the managerial or accounting information, bandwidth, processing, and reliability of data storage. So, the user gets access to personal data but does not have the ability to manage and not worry about the operating system or the software on which he works. At the same time, an important aspect of the use of cloud technology is its cost-effectiveness, which affects the accessibility to different segments of the population in order to preserve information data. Individual organizations use them for work that requires temporary computing, instead of setting up an internal infrastructure [8, p. 12]. This is quite convenient in financial terms since the calculation itself lasts only during the period of their use. At the same time, it should be remembered that the use of cloud technologies can also lead to the risk of loss of information, where the possibility of control is quite limited.

Obviously, public clouds, like other networked systems, can be subject to attacks on the Internet. In general, researchers identify several attacks that may be specific to cloud systems [5, p. 498]:

1. Typical attacks affecting software
2. Attacks that exclusively target the client
3. Network attacks
4. Attacks that primarily target cloud servers
5. Attacks, which carry out a variety of threats.

Despite this, experts note that if a hacker has successfully orchestrated an attack, there is a threat of information security breach over every element of the cloud. In particular, such categories as privacy, confidentiality, and integrity are involved. In addition, a key feature of building a high level of security is providing access to private data to disinterested parties, which is established through additional activity protocols between the user and the cloud system provider.

In general, the system affecting the security of customer information can be exposed to threats such as cross-scripting, phishing, trojans, and viruses. This is due to the fact that, as a rule, consumers, working with cloud computing service, use the Internet browser [9, p. 11]. In order to optimize information security at this level, it is necessary on the client-side to use licensed antivirus software packages, personal firewall tools, tools for encrypting data or information on the disk, and a properly configured Internet browser.

These vulnerabilities point to the importance of protecting cloud platforms, infrastructures, hosted applications, and information and create a demand for top-level cloud security management and centralized security management in cloud environments. Other major concerns for IT managers are the compatibility of the cloud with company policies, IS development environments, and business needs.

There is also the need to properly organize the subsystem responsible for keeping data in the public cloud. It is about keeping it safe, for which a special virtual private network (VPN) tunnel is used

[1, p. 43]. Thanks to this, it is possible to achieve client-server association with the proper level of secure connection.

In addition, the security of virtualization mechanisms also affects the reliability of the virtual environment. For example, if an attack is organized on a virtual machine monitor, then an attacker can edit, copy or block information flow unnoticed by the protection system located in virtual machines. Thus, if a hacker gains access to the control capabilities, he can not only edit the data but also steal across the entire virtual network. Therefore, in order to avoid this situation, it is necessary to protect before administration or virtual machine servers [10, p. 10]. Besides this, it is also necessary to create specialized information protection tools, which can control the traffic inside the necessary server. The replication network transmits segments of their RAM, so if attackers intercept data during an attack, there is a direct security threat, hence it is necessary to isolate the replication network from other networks and use certified VPNs for the replication channel [8, p. 8]. It is not necessary to rely on the triviality of virtual machine structure, as this can lead to great security problems, but it is necessary to organize the process of virtual machine management, so that it is consistent with the organization's security policy.

In addition to the internal software organization, it is worth noting the general provisions of security compliance at cloud facilities. The presence of a video surveillance system allows you to visually monitor everything that happens in the enterprise, its advantages lie in the following: no need to assign separate guards to each server, 24/7 and remote control over the object, the ability to review old records, if necessary, to identify potential and actual intruders is important. For comprehensive data center security, threats such as possible fires or smoke should be considered, and the best effective tools are employee and security notification systems to combat. One of the most effective notification methods is an automated fire extinguishing system, which acts on the fire center while it is still in progress and does not allow the fire to become extensive, which leads to minimization of losses [4, p. 62]. The system of access control and administration allows an automated way to control entrances and exits, limit user access to a certain territory, keep statistics of visitors, monitor the movement of users on the territory, etc. Consequently, compliance with elementary security rules is also important for the safe operation of servers.

Also, the following economic issues can prevent sufficient resistance to virtual threats [6]:

1. Lack of sufficient internal resources - lack of training/education is one of the biggest obstacles to the rapid implementation of security programs in small businesses. Small business owners tend to make decisions without advice from competent IT professionals. These firms often lack experienced IT support staff, and rarely do small business owners deviate from individual decisions to listen to the advice of outside IT professionals. It also happens that small businesses usually don't have the financial resources to hire advanced IT professionals in-house.

2. Lack of time to implement new initiatives - Lack of sufficient time is also a major barrier to the rapid adoption of security systems in small businesses. Small businesses are often understaffed and overworked, leaving very little time to implement new initiatives. While cloud computing can bring significant benefits to small businesses, implementation is often delayed due to a lack of time for firm leaders to even consider the prospect.

3. Cost Management - There are other barriers to rapid adoption - particularly the cost of supporting the cloud and the speed of uploading files. Cloud costs can rise quickly, especially for customizations to meet business needs. Uploading large files can take a long time, creating frustration and inconvenience for day-to-day business operations. Other obstacles include management and control, the complexity of building a private cloud, and performance issues.

4. Cloud control is another obstacle to the rapid introduction of security into online small business operations. The cloud is inherently an open and shared resource. It is a potential target of cyber attackers. The top three cloud security issues facing small businesses are legal issues, compliance, and loss of control over data.

Important benefits, such as increased IT infrastructure flexibility, computing power, the ability to use existing infrastructure with pay-per-use, and the use of that infrastructure to analyze big data, better visibility of information, and the cost-effectiveness of disaster recovery upgrades make cloud technology popular. Servers hosted in the cloud provide significant savings for small businesses. Using PaaS and SaaS structures, small businesses can benefit and improve performance and security [5, p. 500]. This allows the IT infrastructure of small businesses to evolve quickly and allows companies to save time and focus on new opportunities. Small businesses are now able to access the same types of high-quality

enterprise IT services used by larger organizations at a price and scale available to smaller businesses. Small businesses will retain critical company data in a secure cloud-based system. Cloud services are not only less expensive than traditional ways for small businesses to manage internal IT, but they are also secure for data storage and disaster recovery. Small businesses can use the many SaaS-based programs and services available for business project management, document storage and sharing, marketing, and accounting at an affordable price. The study also discussed an example of a small business that successfully transitioned to cloud infrastructure and used various SaaS-based applications and services to reduce operating costs and improve productivity [5, p. 502].

When working with cloud technologies, one should also consider the economic aspects - to treat the security of one's environment responsibly. Cloud computing allows organizations to effectively manage their business. Through cloud computing, you can avoid unnecessary procedural, administrative, hardware, and software costs [8, p. 11]. In the costs of organizations in general, cloud computing allows organizations to effectively manage their business. By means of cloud computing, it is possible to avoid unnecessary procedural, administrative, hardware, and software costs in the expenses of organizations.

Conclusions. The use of cloud technologies when working with information is an important attribute when working with modern networked systems. With all their advantages (convenient access, mobility, and low resource costs), ensuring overall data security is a major challenge. The high risk of hacker attacks and lack of skills when working with server systems can lead to the loss or theft of information that is almost impossible to restore. To optimize information security, the cloud service client must use licensed anti-virus packages and have a properly configured Internet browser. There is also a need to properly organize the subsystem responsible for saving data in the public cloud. We are talking about keeping it safe, for which a special virtual private network (VPN) tunnel is used. At the same time, following basic security rules is also important for secure server operations. When implemented properly, cloud technology has real potential to provide accuracy, reliability, improved service, and cost savings for small businesses. The challenge for IT experts today is to understand the role of the cloud and develop strategies that leverage its potential. They must meet the prerequisites (the steps of a cloud adoption strategy) before making the technology decisions necessary for a service-oriented business.

References

1. Kulyk, V. A. & Liubymov, M.O. (2019). Opportunities, threats, and prospects for using cloud technologies in accounting. *Naukovyj visnyk PUET, 2 (93)*, 40-46.
2. Litoshenko, A.V. (2017). Cloud computing as a kind of outsourcing of Computer Services and its advantages. *Ekonomika ta derzhava, 6*, 86-89.
3. Liubymov, M. O. & Kulyk, V.A. (2019). Opportunities, threats, and prospects for using cloud technologies in accounting. *Naukovyj visnyk Poltavs'koho universytetu ekonomiky i torhivli, 2(93)*, 40-46.
4. Mazina, O.I., Olijnyk, V.S. & Rohoznyj, S.A. (2020), Digitalization as the most important tool for the development of the accounting and reporting system. *Internauka. Seriia: Ekonomichni nauky, 5(37)*, 59-66.
5. Attaran, M., & Woods, J. (2018). Cloud computing technology: Improving small business performance using the internet. *Journal of Small Business & Entrepreneurship, 31(6)*, 495-519. https://doi.org/10.1080/08276331.2018.1466850
6. Cresswell, K., Domínguez Hernández, A., Williams, R., & Sheikh, A. (2022). Key challenges and opportunities for cloud technology in health care: Semistructured interview study. *JMIR Human Factors, 9(1)*, e31246. https://doi.org/10.2196/31246
7. Gleeson, N., & Walden, I. (2021). Cloud computing, standards, and the law. *Cloud Computing Law*, 501-524. https://doi.org/10.1093/oso/9780198716662.003.0015
8. Palos-Sanchez, P. R., Arenas-Marquez, F. J., & Aguayo-Camacho, M. (2017). Cloud computing (SaaS) adoption as a strategic technology: Results of an empirical study. *Mobile Information Systems*, 2017, 1-20. https://doi.org/10.1155/2017/2536040
9. Scale, M. E. (2009). Cloud computing and collaboration. Library *Hi Tech News, 26(9)*, 10-13. https://doi.org/10.1108/07419050911010741
10. Xue, C. T., & Xin, F. T. (2016). Benefits and challenges of the adoption of cloud computing in business. *International Journal on Cloud Computing: Services and Architecture, 6(6)*, 01-15. https://doi.org/10.5121/ijccsa.2016.6601

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-05
УДК 004.932.4, 004.627, 004.514
Ковівчак Ярослав Васильович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-3905-4108
Дубук Василь Іванович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-6339-1032
Дмитришин Андрій Ярославович, магістр
Національний університет «Львівська політехніка»

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Ковівчак Я.В., Дубук В.І., Дмитришин А.Я. Розробка автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах. Стаття присвячена розробці автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах. Розглянуто актуальність розробки такого класу систем. Проведено аналіз існуючих методів та засобів контролю надзвичайних ситуацій в лісових екосистемах. Приведено структурну схему систем з урахуванням інформаційних потоків. Розглянуто концептуальну модель системи. Розроблено блок-схеми алгоритмів роботи системи. Приведено діаграму прецедентів. Розроблено діаграму потоків даних та діаграму класів системи. Приведено схему бази даних та основні компоненти системи. Розроблено інтерфейс користувача автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах.
Ключові слова: автоматизована система, моніторинг надзвичайних ситуацій, лісові екосистеми, лісові пожежі.

Kovivchak Ya., Dubuk V., Dmytryshyn A. Development of an automated system for monitoring emergencies in forest ecosystems. The article is devoted to the development of an automated system for monitoring emergencies in forest ecosystems. The urgency of developing such a class of systems is considered. The analysis of existing methods and means of controlling emergencies in forest ecosystems is carried out. The structural scheme of systems taking into account information flows is given. The conceptual model of the system is considered. Block diagrams of system operation algorithms have been developed. The diagram of precedents is given. The data flow diagram and the system class diagram have been developed. The scheme of the database and the main components of the system are given. The user interface of the automated system of monitoring of emergency situations in forest ecosystems is developed.
Keywords: automated system, emergency monitoring, forest ecosystems, forest fires.

Вступ

Лісові екосистеми здійснюють суттєвий вплив на формування сприятливих умов для існування всього живого на планеті Земля, а також є запобіжником від негативних змін клімату під час індустріальної діяльності людини. Природні лісові екосистеми займають понад 30% земної суші та містять понад 3 трильйони різних дерев [6]. Ліси є джерелом ресурсів таких як деревина та інші лісопродукти, вони регулюють поглинання вуглекислого газу, формують передумови для забезпечення людей питною водою, дають змогу створити рекреаційні зони (паркові зони для відпочинку, заповідники тощо). За результатами досліджень встановлено, що глобальні пожежі у лісових екосистемах спричиняють загрози запасам води [10, с.772] та впливають на якість води [11, с. 170], фауну лісів [12, с. 1321], здоров'я населення [13, с. 695].

Інтенсивний промисловий розвиток багатьох країн призводить до глобальної зміни клімату. Також до змін у кліматі може привести постійно зростаюча кількість надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах, зокрема пожеж [7, с.547]. Пожежі впливають на множину параметрів лісових екосистем [9, с. 1179]. Також досліджено [8, с.290], що зміни клімату впливають на ключові параметри лісових екосистем та їх пожежний стан.

До надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах можна віднести природні та викликані людською необережністю лісові пожежі, а також промислову та нелегальну вирубку дерев. У наслідок цього загальна площа лісових екосистем щороку зменшується на мільйони гектарів.

В Україні ліси займають площу близько 10 мільйона га [2], при цьому важливим питанням обліку, підтримки, розвитку, використання і захисту лісового фонду приділяється належна увага держави [1]. У вищих закладах освіти України провадиться підготовка фахівців за спеціальністю 206 «Садово-паркове господарство». При цьому, як вказують автори [3, с. 6]: "Основне завдання ведення лісопаркового господарства – вирощування і формування стійких деревостанів, які володіють високими естетичними і санітарно-гігієнічними якостями.

Особливу увагу при цьому необхідно приділяти ефективному використанню лісових територій для масового відпочинку населення, поліпшення естетичних, оздоровчих і санітарно-гігієнічних функцій лісової рослинності та її психофізичного впливу на людину". Для більш ефективної реалізації відповідних завдань розробляються та використовуються інформаційної системи обліку об'єктів лісопаркового господарства [4, с.25-35].

Складність розв'язання проблеми запобігання надзвичайним ситуаціям у лісових екосистемах полягає у тому, що у більшості випадків ці території є великими за розмірами, віддаленими і недостатньо контрольованими. Тому суттєво ускладнюється задача раннього виявлення можливих надзвичайних ситуацій і, відповідно, затримується їх ліквідація.

З інтенсивним розвитком комп'ютерних інформаційних технологій і засобів комунікації відкриваються нові можливості для запобігання надзвичайним ситуацій у лісових екосистемах. На сьогодні існує велика кількість різних програмних засобів та систем, які дають змогу здійснювати моніторинг надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах. Однак, у більшості з них не передбачено використання необхідних технічних засобів для раннього виявлення лісових пожеж.

Для реалізації ефективного запобігання надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах, необхідно здійснювати швидке їх виявлення і повідомлення не тільки про існування, але і можливість виникнення лісових пожеж.

Огляд існуючих методів та засобів контролю надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах.

На сьогодні, на практиці, застосовують широкий спектр різних методів та засобів виявлення та моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах. До основних із них можна віднести: візуальне спостереження з контрольних веж; засоби аеродинамічного та супутникового спостереження; системи моніторингу за допомогою оптичних засобів і різних типів сенсорів.

Найбільш традиційним методом виявлення надзвичайних ситуацій є візуальне спостереження з контрольних веж. Недоліком цього методу є залежність виявлення надзвичайних ситуації від людського фактору та необхідність наявності великої кількості пунктів спостереження та людських ресурсів. Тому даний метод не є оптимальним.

До основних засобів супутникового спостереження можна віднести полярні орбітальні комплекси та геостаціонарні платформи. Полярні орбітальні комплекси розміщено на супутниках Terra, Aqua та NASA-NOAA Suomi NPP. Вони дають змогу отримати детальне зображення всієї земної поверхні до двох разів на день. До найбільш відомих геостаціонарних платформ можна віднести систему "Copernicus" [14]. Вона розроблена країнами Європейської спільноти для здійснення постійних спостережень за земною поверхнею. До її складу входять наступні підсистеми: підсистема моніторингу атмосфери; підсистема моніторингу морського середовища; підсистема моніторингу земної поверхні; підсистема моніторингу процесів зміни клімату; підсистема моніторингу безпеки в Європі; підсистема моніторингу надзвичайних ситуацій.

Підсистема моніторингу надзвичайних ситуацій за допомогою супутникового дистанційного зондування збирає і передає точну геопросторову інформацію відповідальним особам, які приймають участь у ліквідації наслідків стихійних лих і техногенних надзвичайних ситуацій. Ця підсистема дає змогу здійснювати моніторинг і раннє виявлення надзвичайних ситуацій. Раннє виявлення здійснюється за допомогою: модуля інформування про повені (EFAS); модуль виявлення та попередження посухи (EDO); модуля виявлення лісових пожеж (EFFIS), який у режимі реального часу передає інформацію про лісові пожежі у регіонах Європи, Близького Сходу та Північної Африки.

Перевагами даного методу виявлення надзвичайних ситуацій є те, що спостереження одночасно здійснюється на великих територіях, а отримані дані є достатньо точними. Недоліком є висока вартість таких систем.

Одним із основних вітчизняних засобів відео-моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах є автоматизований апаратно-програмний комплекс «Азимут» [5, с. 59-60]. Принцип роботи даного комплексу полягає у тому, що у режимі реального часу відео-зображення з камер передається за допомогою мереж Wi-Fi на диспетчерський пункт. При виникненні пожежі здійснюється визначення координат місця загорання. Отримані дані передаються диспетчеру. В подальшому відповідні підрозділи протипожежної служби реагують на появу надзвичайної

ситуації. Така система дає змогу прокласти та оптимізувати маршрути до місця надзвичайних ситуацій.

До переваг відповідного комплексу можна віднести: отримання зображення в режимі реального часу; можливість визначення місця виникнення пожежі; формування оптимальних маршрутів для пожежних підрозділів; можливість зворотнього зв'язку та спостереження за діями пожежної бригади; охоронні функції. Недоліки системи: висока вартість самої системи та її обслуговування; необхідність покриття мережами Wi-Fi великих територій.

У даній статті розглянуто розробку автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах, яка в режимі реального часу дає змогу здійснити виявлення і повідомлення про лісові пожежі, а також отримати інформацію про появу передумов їх можливого виникнення.

Концептуальна модель системи

На рис. 1 приведено розроблену концептуальну модель системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах.

Рисунок 1 - Концептуальна модель системи

У відповідності до приведеної концептуальної моделі, передбачено використання наступних зовнішніх сутностей: давачів температури та вологості повітря, давача звуку, давача наявності вогню та давача газу. За допомогою вказаного набору давачів у реальному часі здійснюється моніторинг стану навколишнього середовища. Користувач системи має можливість здійснювати перегляд отриманих даних.

В основу моделі системи покладено клієнт-серверну архітектуру [15]. При цьому вся отримана інформація передається та зберігається на сервері. Дані про біжучий стан навколишнього середовища лісової екосистеми відбираються давачами та передаються в систему за допомогою модуля збору та надсилання даних (рис. 2).

Далі здійснюється попереднє опрацювання даних відповідним модулем, після чого оброблені дані завантажуються в базу даних. Отримані дані піддаються аналізу з використанням модуля інформаційно-аналітичної обробки даних. У випадку необхідності даний модуль формує повідомлення про виявлені надзвичайні ситуації. Також цим модулем здійснюється формування прогнозу можливих надзвичайних ситуацій у навколишньому середовищі. Отримані та опрацьовані дані, сформовані повідомлення та звіти з прогнозами виводяться користувачу за допомогою інтерфейсних модулів представлення даних у варіантах веб- або мобільного застосунку.

Рисунок 2 - Схема взаємодії модулів системи

Розробка компонентів програмного засобу

Під час проектування та побудови системи було розроблено наступні базові алгоритми: алгоритм збору і передачі даних про стан навколишнього середовища; алгоритм попереднього опрацювання та збереження даних та алгоритм перевірки допустимості значень даних про стан навколишнього середовища. Блок-схема алгоритму збору і передачі даних про стан навколишнього середовища приведена на рис. 3.

Для того що розпочати збір даних про стан навколишнього середовища та здійснити їх передачу на сервер необхідно активізувати мікроконтролер. Активізація мікроконтролера здійснюється автоматично при першому його включенні або при його виході зі стану «сну». Якщо ініціалізація є успішною, тоді відбувається опитування та збір даних від давачів, якщо ні - алгоритм завершується. Активізація мікроконтролера є неможливою, якщо у мікроконтролера відсутнє живлення або зв'язок з давачами. Після збору отримані дані надсилаються на сервер, а мікроконтролер на 3 хвилини переходить в режим «сну». По завершенні режиму «сну» відбувається наступна активізації мікроконтролера.

Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму збору і передачі даних

На рисунку 4 приведено діаграму випадків використання автоматизованої системи моніторингу для основного класу користувачів. Такими користувачами можуть бути диспетчер державної лісової охорони України або працівник лісового господарства.

Рисунок 4 - Діаграма випадків використання

Автоматизована система надає їм наступні можливості: отримати біжучі дані та дані за попередні періоди часу про стан навколишнього середовища (значення температури, вологості та задимленості повітря у відсотках), ці дані можуть бути представлені у вигляді графічної інформації; здійснити аналіз отриманих даних і визначити біжучий стан пожежної небезпеки; автоматично отримувати повідомлення про виявлені надзвичайні ситуації; здійс-нювати перегляд та аналіз отриманих повідомлень; отримувати звіти, що містять прогноз погоди і очікуваний

рівень пожежної небезпеки; здійснювати додавання, видалення та перег-ляд інформації про планові вирубки дерев.

Діаграму потоків даних автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій в лісових екосистемах приведено на рисунку 5.

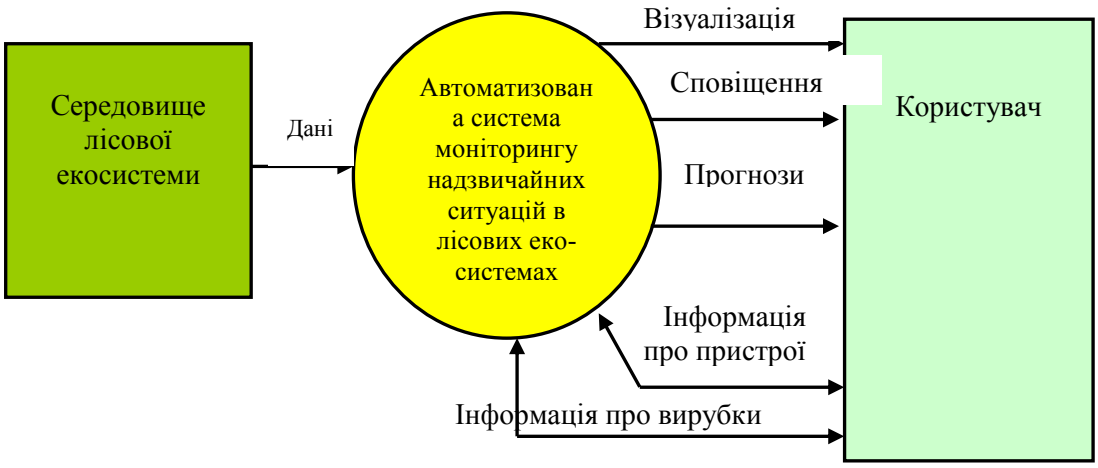


Рисунок 5 - Діаграма потоків даних

Основними вхідними даними для системи є дані про стан навколишнього середовища лісової екосистеми. Після їх опрацювання, система відображає отриману інформацію користувачам. Також здійснюється візуалізація щоденних прогнозів про рівень пожежної небезпеки.

Діаграму класів даних автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій в лісових екосистемах приведено на рисунку 6.

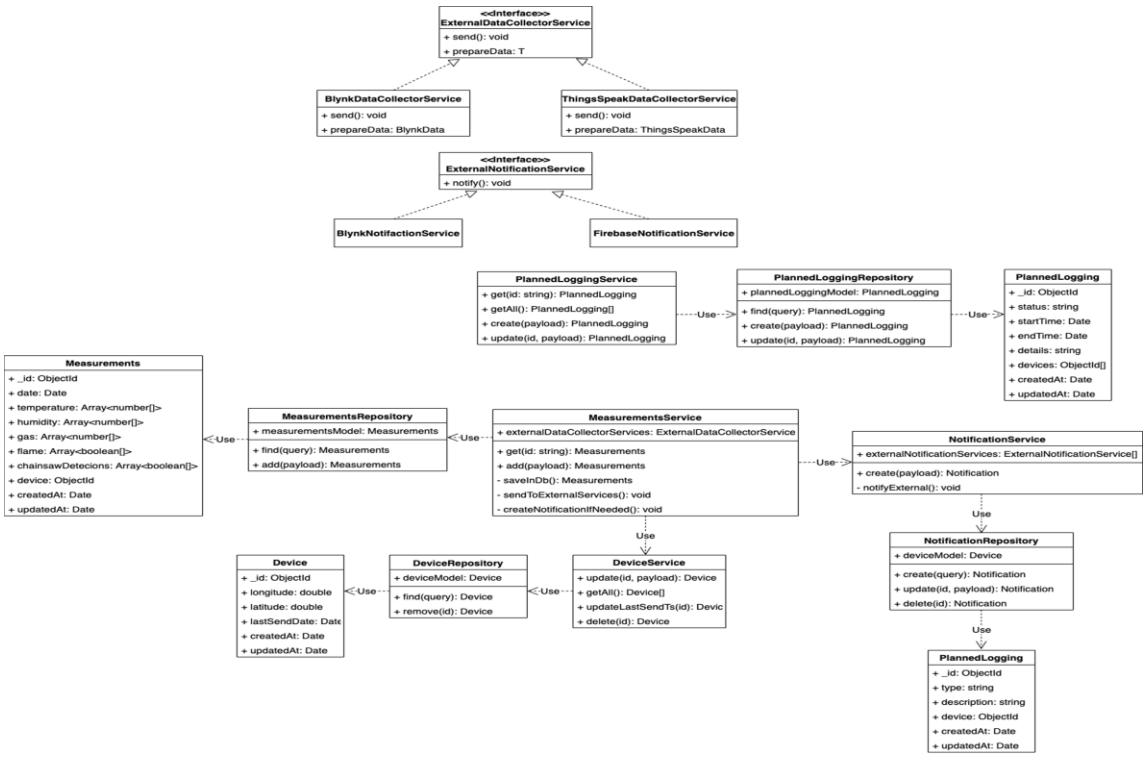


Рисунок 6 - Діаграма класів

Основними класами системи є класи-сервіси: DeviceService, NotificationService, MeasurementsService, PlannedLogging Service. Класи-сервіси BlynkNotificationSerivce і FirebaseNotificationSerivce реалізують інтерфейс ExternalNotificationService. Ці сервіси використовуються для надсилання сповіщень на зовнішні ресурси (Blynk [16], Firebase [17]). Класи-сервіси BlynkDataCollectorService і ThingsSpeakDataCollectorService реалізують інтер-фейс ExternalDataCollectorService і використовують два методи: add() і prepare Data().

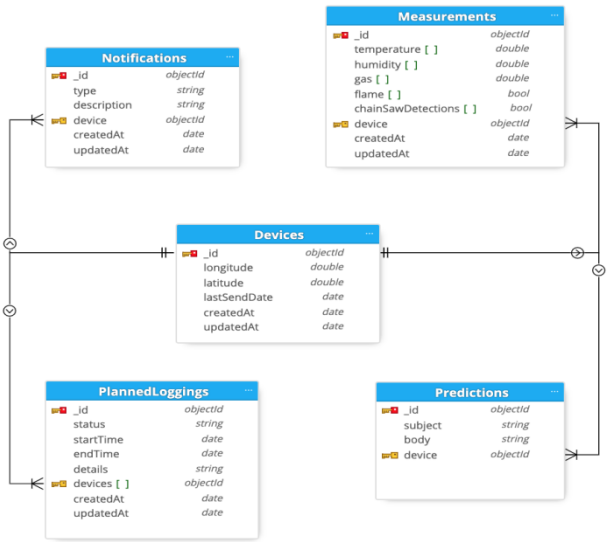


Рисунок 7 - Схема бази даних.

Схема бази даних автоматизованої системи приведена на рис. 7.

Для зберігання даних про стан навколишнього лісового середовища використано NoSQL систему управління базами даних MongoDB [18]. Вона забезпечує роботу з колекціями (аналог таблиць в SQL базі даних) і документами (аналог записів в SQL базі даних). База даних розробленої автоматизованої системи складається з п'яти колекцій (рис. 7): Пристрої (Devices); Сповіщення (Notifications); Вимірювання (Measurements); Заплановані вирубки (Planned Loggings); Передбачення (Predictions).

Апаратний модуль автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах приведено на рис. 8 та рис. 9. Він складається з наступних компонентів: гермобокс Atis [19]; мікроконтролер TTGO T-Call V1.3 ESP 32 [20] з вбудованим GSM-модулем SIM800L [21]; газоаналізатор MQ-2 [22]; давач звуку Waveshare [23]; давачі температури та вологості повітря DHT22 [24]; давач наявності вогню Sunfounder [25]; GSM-антена Evercom TC-7305 [26]; акумулятор Xiaomi Mi Power Bank 3 Pro PLM07ZM 20000mAh [27].

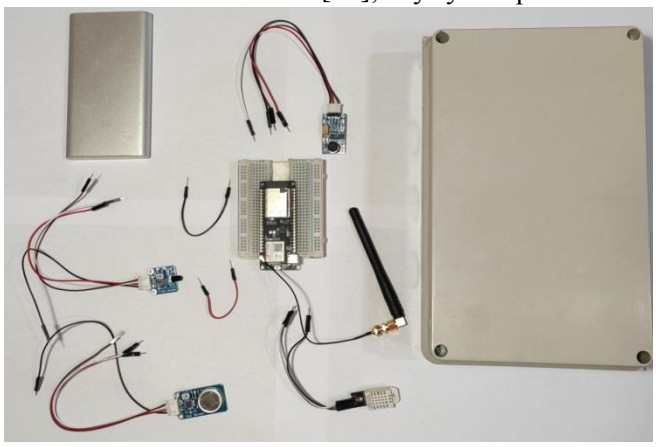


Рисунок 8 - Компоненти апаратного модуля

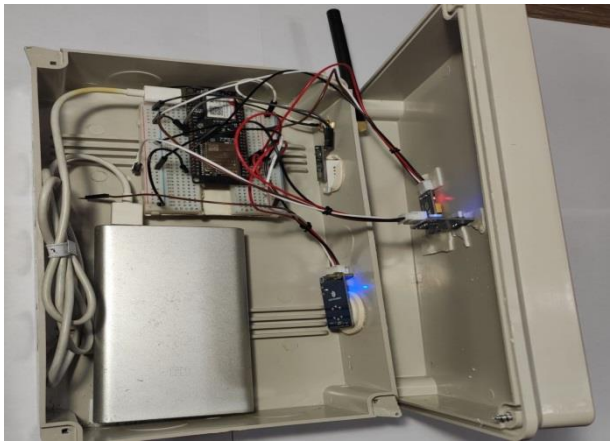


Рисунок 9 - Зібраний апаратний модуль

Для виявлення вогню використано сенсор SunFounder Flame Sensor [23]. Вказаний давач реагує на джерело світла з довжиною хвилі 700-1000 нм. Відкритий вогонь випромінює світлові хвилі саме у цьому діапазоні. Робочий кут сенсора становить 60°, а діапазон допустимих температур знаходиться в межах від -25 до 85 °C.

Під час тестування даного давача було встановлено, що він реагує на відкритий вогонь від сірника на відстані до 1 м. При реальній лісовій пожежі його робоча відстань розпізнання відкритого вогню буде приблизно рівною 10-15 м.

Для виявлення продуктів згорання у навколишньому середовищі використано сенсор SunFounder Gas MQ-2 [20]. Він дає змогу встановити частку горючого газу або диму у повітрі. Його діапазон чутливості становить в межах 300-10000 ppm. Під час тестування затримка часу

спрацювання сенсора при майже непомітному візуально задимленні повітря становила до 3 секунд. Під час реальної лісовій пожежі концентрація продуктів згорання та диму у повітрі буде значно більшою, тому вибраний газоаналізатор спрацює практично миттєво.

При виконанні досліджень було проведено тестування системи та усунуто виявлені недоліки. Було розроблено інтерфейси автоматизованої системи моніторингу надзвичайних ситуацій. На рис. 10-11 приведено зовнішній вигляд мобільного інтерфейсу та веб-інтерфейсу застосунку.

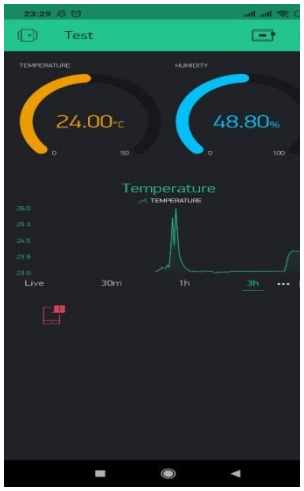


Рисунок 10 – Мобільний інтерфейс

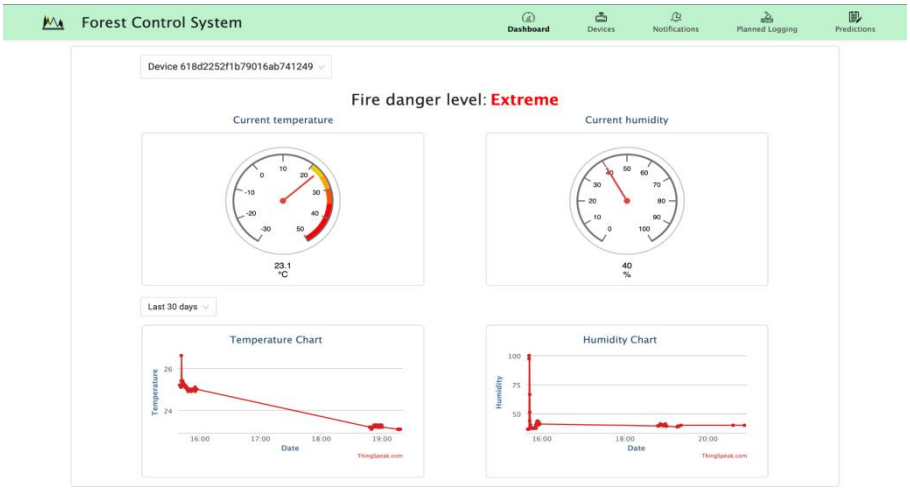


Рисунок 11 – Веб-інтерфейс системи

Висновок

У результаті виконання роботи було розроблено автоматизовану систему моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах. Запропонований засіб дасть змогу підвищити рівень ефективності та своєчасності виявлення надзвичайних ситуацій при лісових пожежах. Вона може використовуватись окремо для виявлення локальних надзвичайних ситуацій, так і як складовий елемент більш глобальних систем моніторингу надзвичайних ситуацій у лісових екосистемах.

Список бібліографічного опису

1. Починається активна фаза пожежонебезпечного періоду: ліквідовано 86 лісових пожеж. Державне агентство лісових ресурсів України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://forest.gov.ua/news/pochinayetsya-aktivna-faza-pozhezhonebezpechnogo-periodu-likvidovano-86-lisovih-pozhezh (дата звернення: 08.04.2022).
2. Рослинність лісів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://osvita.ua/vnz/reports/biolog/27023/
3. Дідур І.М., Матусяк М.В, Прокопчук В.М., Монарх В.В. Лісопаркове господарство. Навч. посібник для студентів спеціальності 206 «Садово-паркове господарство». - Вінниця: ВНАУ, 2020. – 255 с.
4. Дубук, В.І., Ковівчак, Я.В., Кусяк, А.М. (2021). Розробка інформаційної системи обліку об'єктів лісопаркового господарства. Комп'ютерні технології друкарства, 2 (46), 25 – 35. https://doi.org/10.32403/2411-9210-2021-2-46-25-35
5. Зібцев С.В., Сошенський О.М. Підвищення пожежної безпеки української частини Транскордонної Рамсарської території «Ольмани–Переброди» та розробка рекомендацій для транскордонного плану управління пожежами. Звіт.- Київ-Сарни – 2019. – 71 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/ zvit_ olmani-perebr._ohor._vid_pozhezh_zibcev_s.soshenskiyo.pdf (дата звернення: 08.04.2022)

References

6. FAO and UNEP. 2020. The State of the World's Forests 2020. Forests, biodiversity and people. Rome. https://doi.org/10.4060/ca8642en
7. Martin, D.A. Linking fire and the United Nations Sustainable Development Goals. Sci Total Environ. 2019 Apr 20;662:547-558. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.393. Epub 2018 Dec 28. PMID: 30699375.
8. Rocca, M.E., Brown, P.M., MacDonald, L.H., Carrico, Ch. M. Climate change impacts on fire regimes and key ecosystem services in Rocky Mountain forests. Forest Ecol. Manage. (2014), http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.04.005
9. Vukomanovic, J., Steelman, T. A Systematic Review of Relationships Between Mountain Wildfire and Ecosystem Services. Landscape Ecol 34, 1179–1194 (2019). https://doi.org/10.1007/s10980-019-00832-9
10. Hallema, D.W., Robinne, F.N., Bladon, K.D. (2018). Reframing the challenge of global wildfire threats to water supplies. Earth's Future. 6(6): 772-776. 5 p. https://doi.org/10.1029/2018EF000867.

11. Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N.J., Nyman, P., Haydon, S. (2011) Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. Journal of Hydrology. 396. 170-192. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol. 2010.10.043
12. Ward, M., Tulloch, A.I.T., Radford, J.Q., Williams, B.A., Reside, A.E., Macdonald, S.L., Mayfield, H.J., Maron, M., Possingham, H.P., Vine, S.J., O'Connor, J.L., Massingham, E.J., Greenville, A.C., Woinarski, J.C.Z., Garnett, S.T., Lintermans, M., Scheele, B.C., Carwardine, J., Nimmo, D.G., Lindenmayer, D.B., Kooyman, R.M., Simmonds, J.S, Sonter, L.J., Watson, J.E.M. (2020) Impact of 2019–2020 mega-fires on Australian fauna habitat. Nat. Ecol. Evol. 2020 Oct; 4(10). 1321-1326. https://doi.org/10.1038/s41559-020-1251-1. PMID: 32690905.
13. Johnston, F.H., Henderson, S.B., Chen, Y., Randerson, J.T., Marlier, M.E., DeFries, R.S., Kinney, P., Bowman, D.M.J.S., Brauer, M. (2015) Estimated Global Mortality Attributable to Smoke from Landscape Fires. Environmental Health Perspectives, 120(5), 695-701. https://doi.org/10.1289/ehp.110442212.
14. Thépaut, J.-N. Copernicus Climate Change Service (C3S). European Contribution to the Monitoring of Essential Climate Variables from Space. URL: https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2017/17860-european-contribution-monitoring-essential-climate-variables-space.pdf.
15. Berson, A. (1996). Client/server architecture. New York. McGraw-Hill, 569 p.
16. Blynk Documentation. URL: https://docs.blynk.cc/ (Data of Access: 26.11.2021).
17. Firebase helps you build and run successful apps. URL: https://firebase.google.com/ (Data of Access: 26.11.2021).
18. MongoDB Documentation. URL: https://www.mongodb.com/docs/ (Data of Access: 26.11.2021).
19. Atis. URL: https://www.atis.org/about/ (Data of Access: 26.11.2021).
20. TTGO T-Call V1.3 ESP 32. URL: https://diyusthad.com/2020/08/ttgo-t-call-v1-3-esp32-pinout.html (Data of Access: 26.11.2021).
21. SIM800L_Hardware_Design_V1.00 URL: https://www.filipeflop.com/img/files/download/Datasheet_SIM800L.pdf (Data of Access: 26.11.2021).
22. MQ-2 Smoke Sensor. URL: https://www.winsen-sensor.com/sensors/combustible-sensor/mq2.html (Data of Access: 26.11.2021).
23. Sound Sensor Waveshare. URL: https://www.waveshare.com/sound-sensor.htm (Data of Access: 26.11.2021).
24. DHT22 Humidity and Temperature Sensor. URL: https://www.apogeeweb.net/circuitry/dht22-datasheet-pdf-pinout-arduino.html (Data of Access: 12.04.2022).
25. SunFounder Flame Sensor Module. URL: https://www.sunfounder.com/products/flame-sensor-module (Data of Access: 26.11.2021).
26. GSM Antenna Evercom TC-7305. URL: https://www.evercomtech.com/tc-7305 (Data of Access: 26.11.2021).
27. 20000mAh Mi Power Bank 3 Pro. URL: https://www.mi.com/global/20000mAh-mi-power-bank-3-pro/specs/ (Data of Access: 26.11.2021).

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-06
УДК 004.94:656.02
Лавренчук Світлана Василівна, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-5453-3924
Мельник Катерина Вікторівна, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-9991-582X
Багнюк Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-7120-5455
Пащук Владислав Юрійович, магістр
Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВІДСТАНЕЙ, ПРОЙДЕНИХ ТОРГОВИМИ АГЕНТАМИ

Лавренчук С.В., Мельник К.В., Багнюк Н.В., Пащук В.Ю. Дослідження методів розрахунку відстаней, пройдених торговими агентами. Розглянуто різні варіанти розрахунку відстаней, пройдених торговими агентами, здійснено їх аналіз та порівняння, надано рекомендації щодо оптимальних параметрів розрахунків залежно від початкових вхідних даних.
Ключові слова: Python, торговий агент, карти Google, OpenStreetMap, розрахунок відстаней

Lavrenchuk S.V., Melnik K.V., Bahniuk N.V., Pashchuk V.Yu. Investigation of methods for calculating the distances traveled by sales agents. Various options for calculating the distances traveled by sales agents are considered, their analysis and comparison are carried out, recommendations are given on the optimal calculation parameters depending on the initial input data.
Keywords: Python, sales agent, Google maps, OpenStreetMap, distance calculation

Постановка проблеми та аналіз досліджень

У зв'язку з активним зростанням цін, для багатьох підприємств питання контролю та прогнозування витрат палива стає все більш актуальним. Зрозуміло, що такі витрати найбільш залежать від довжини пройденого автомобілем шляху. Логістичні компанії, що займаються перевезеннями вантажів, можуть наперед спланувати та оптимізувати свої маршрути (класична транспортна задача) [3, 4], особливості ж роботи торгових представників не дозволяють цього зробити, адже їх маршрути наперед не відомі і змінюються протягом дня. Досить часто торгові агенти користуються власними автомобілями і роботодавець не може бути впевнений в тому, що абсолютно всі поїздки здійснено саме з робочою метою, тому спосіб використання одометра або GPS-трекінгу не підходить. Розрахунок відстаней, пройдених торговими агентами, відбувається на основі вже пройдених точок. Фіксація їх GPS-координат в торгових точках відбувається в спеціально розробленому фірмою-підрядником додатку. На основі отриманих масивів даних підрядник розраховує пройдені відстані за алгоритмом, що базується на формулі гаверсинуса. Якщо здійснювати розрахунки за формулами гаверсинуса як пряму відстань між двома географічними точками, то може виникнути значне відхилення від фактично пройденої відстані у зв'язку з особливостями конфігурації дороги. Наприклад, на рисунку 1 пряма відстань AC значно менша, ніж реально пройдена (4,6 км).

Тому, з метою уникнення таких значних похибок, підрядником запропоновано рахувати відстань за катетами прямокутного трикутника. Координати точок A та C відомі, а координати точки B знаходять як перетин довготи точки A та широти B (або навпаки). Далі за формулами гаверсинуса шукають відстані AB та BC і за розрахункову приймають відстань AB+BC. Проте, як бачимо з рисунку 1, вона теж відрізняється від фактично пройденої (для даного прикладу відхилення становить майже 22%).

Метою даної роботи є дослідження адекватності алгоритму провайдера для різних категорій торгових агентів та, за потреби, пошук інших методів розрахунку відстаней на основі GPS-координат, адже однозначного вирішення цієї задачі досі не існує.

Розглянуто наступні методи: метод, заснований на формулах гаверсинуса (метод підрядника), Google Maps [7], OpenStreetMap [10] (з різними параметрами). Формули Евкліда для розрахунку відстаней застосовували в працях [2, 4, 5]. Д. Гонсалвес [4] пропонує застосовувати поправочні коефіцієнти до евклідових відстаней.

Рисунок 1 – Різниця між відстанню за формулою гаверсинуса та реально пройденою

Автори роботи [2] вважають, що формули гаверсинусів досить добре узгоджуються з фактичною відстанню за умови застосування методу мікросегментації. Проте в нашій постановці задачі не достатньо GPS-координат для розбиття шляху на сегменти. В роботі [3] розглядається похибка методу Вінсенті, що виникає внаслідок наближеного врахування еліпсоїдної форми Землі. Крім геодезичних методів при розрахунку відстаней між точками на поверхні Землі використовуються також картографічні. В роботах [1, 6] розглядається приклад застосування відкритих карт OpenStreetMap [10] для знаходження відстаней між точками.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів

Для проведення дослідження обрано дві категорії торгових агентів: для аналізу похибок при розрахунку коротких (до 50 км) та довгих (50 км і більше) відстаней. Для знаходження фактичних відстаней використано веб-версії карт Google та метод мікросегментації (маршрут розбито на частини, які складаються максимум з десяти точок). Цей метод знаходження фактичних відстаней (карти Google) досить ресурсо-витратний, тому не може постійно використовуватися для розрахунків відстаней.

Аналіз даних здійснювався засобами мови програмування Python з використанням бібліотек Pandas, OSMnx, NumPy, matplotlib, haversine, vincenty, geopy.

Набір даних (DataFrame) має табличну структуру з полями: працівник (employee), назва відвідуваної точки (tt), час відвідування (time_start), довгота точки (start_lon) та широта точки (start_lat) (рисунок 2).

	employee	tt	time_start	start_lat	start_lon
0	Працівник1	National Museum Taras Shevchenko	2021-11-01 09:24:43	50.443436	30.515529
1	Працівник1	Kyiv Pechersk Lavra	2021-11-01 09:30:25	50.434809	30.557112
2	Працівник1	St Volodymyr's Cathedral	2021-11-02 09:30:25	50.444952	30.508819
3	Працівник1	Golden Gate	2021-11-02 11:34:43	50.448880	30.513318

Рисунок 2 – Структура даних

На основі GPS-координат відвіданих точок обчислюються відстані між ними (рисунок 3) з використанням різних функцій, в основі яких лежать методи розрахунку відстаней:

- метод гаверсинусів – бібліотека haversine;
- метод Вінсенті – бібліотека vincenty;

- функція distance (ідея Чарльза Карні) - бібліотека geopy.

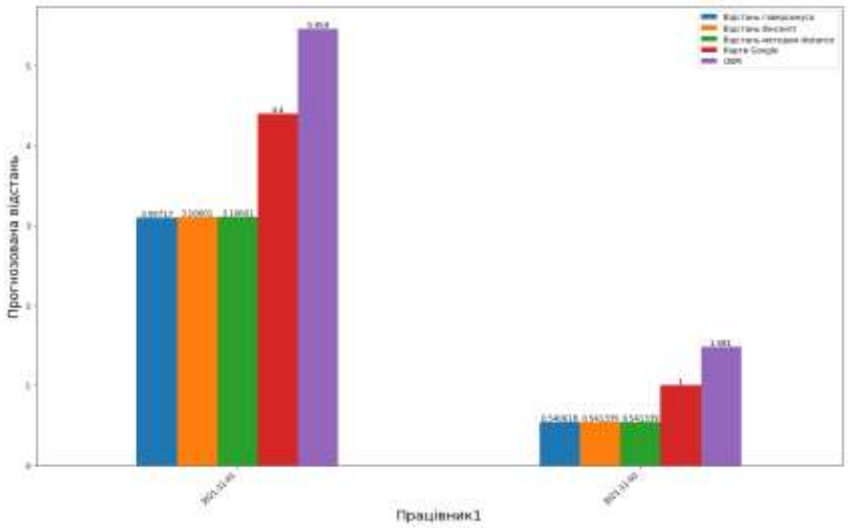


Рисунок 3 – Порівняння функцій обчислення відстаней

З рисунку 3 видно, що три вищезазначені методи дають практично однакові результати, тому надалі використовуватимемо функцію distance бібліотеки geopy.

На рисунку 4 наведено порівняння розрахункових відстаней методом підрядника з фактичними.

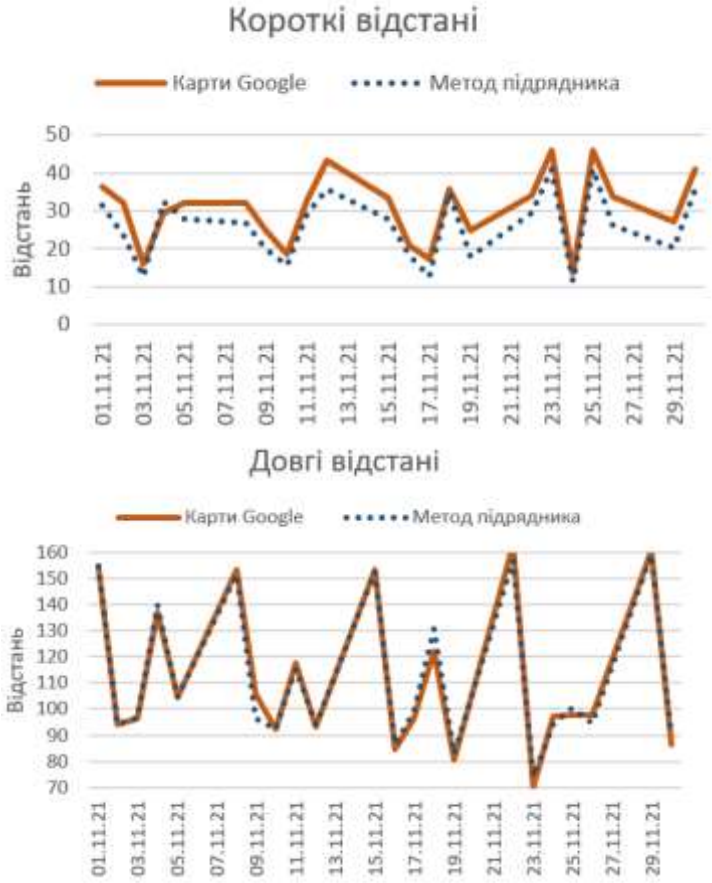


Рисунок 4 – Порівняння методу підрядника та карт Google

Як видно з рисунку 4, для випадку довгих відстаней метод підрядника дає не великі відхилення (в межах 1,5%), а для випадку коротких відстаней розрахунки суттєво занижені (середнє відхилення становить 16%). Тому при компенсації пального торговим агентам, які переміщуються в межах 50 км, слід шукати інші методи розрахунку відстаней.

Застосуємо відкриту платформу OpenStreetMaps (рисунок 5) та програмний модуль для Python OSMnx – інструмент, який дозволяє збирати дані, створювати та досліджувати автомобільні та інші шляхи з точки зору теорії графів. Функції перетворення заданої місцевості в граф містять параметри, які позначають типи шляхів, на основі яких будується граф. Параметр «drive» дозволяє врахувати лише дороги загального користування, а «all» – всі шляхи (вулиці, стежки тощо).

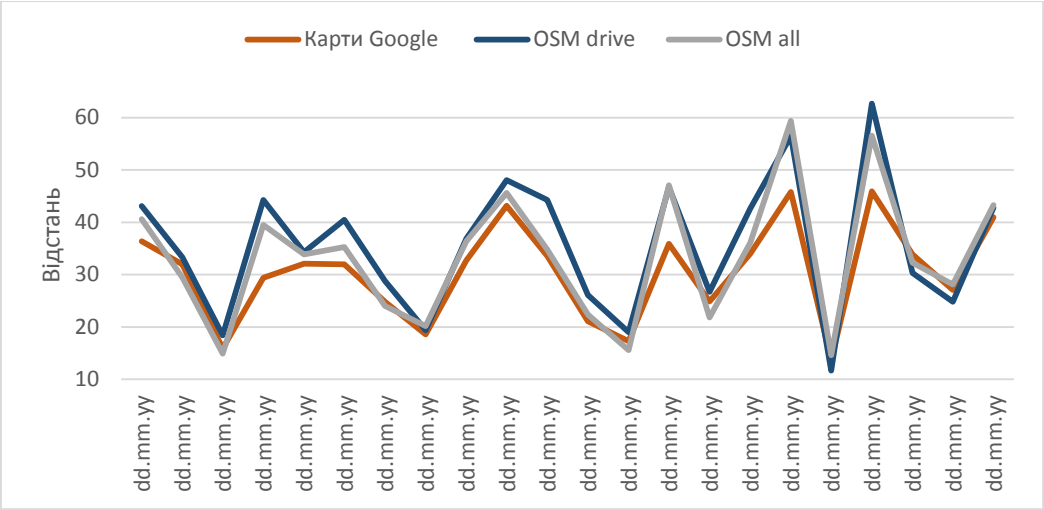


Рисунок 5 – Порівняння методів OSMnx та карт Google

Як бачимо з рисунку 5, застосування функцій OSMnx для розрахунку відстаней дає завищені результати: при застосуванні параметру «drive» – середнє відхилення 15 %, при застосуванні параметру «all» – 7 %. Однак, параметр «all» не підходить для автомобільного транспорту.

Алгоритм підрядника містить математичний розрахунок за трьома вершинами прямокутного трикутника без врахування реальних дорожніх маршрутів, тобто підрядник використовує координати трьох точок. Пропонуємо підхід, в якому не шукаються координати точки B (див.рисунок 1), а задається лише кут нахилу катета до гіпотенузи. За відомими GPS-координатами точок A та C знаходимо довжину гіпотенузи AC прямокутного трикутника. Далі за тригонометричними формулами знаходимо відстані AB та BC і за розрахункову приймаємо відстань AB+BC. На рисунку 6 наведено результати розрахунків при різних значеннях кута нахилу.

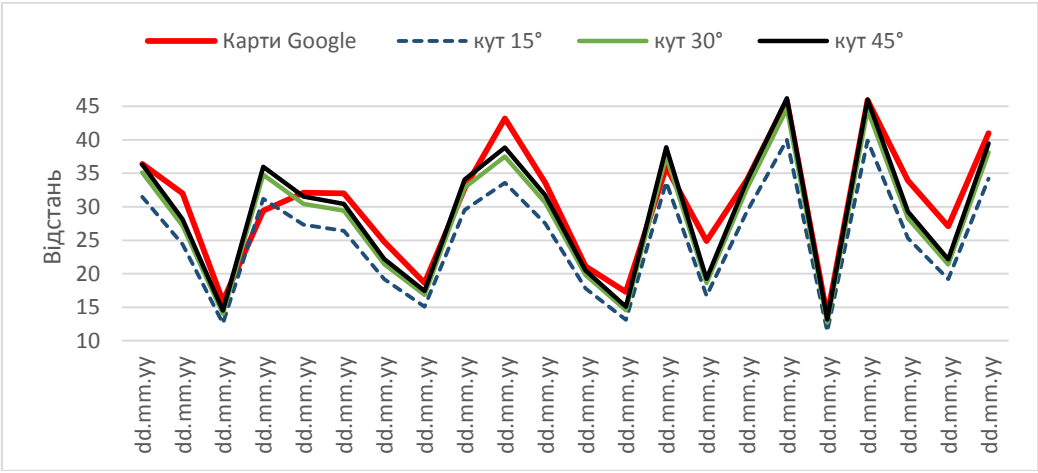


Рисунок 6 – Підбір кута нахилу катета

В таблиці 1 наведено відхилення розрахункових відстаней для різних методів від фактичних (карт Google).

Таблиця 1 – Відхилення розрахункових відстаней від фактичних

дата	**Карти Google**	Відстань, км					Відхилення, %				
		Розрахунок підрядника	OSM drive	кут 15°	кут 30°	кут 45°	Розрахунок підрядника	OSM drive	кут 15°	кут 30°	кут 45°
01.11.21	**36,4**	31,5	43,1	31,5	35,09	36,33	-13,5	18,4	-13,5	11,4	-0,2
02.11.21	**32**	23,5	33,3	24,4	27,19	28,15	-26,6	4,1	-23,8	15,7	-12,0
03.11.21	**15,9**	12,8	18,4	12,6	14,03	14,53	-19,5	15,7	-20,8	9,6	-8,6
04.11.21	**29,4**	32,6	44,3	31,2	34,76	35,98	10,9	50,7	6,1	6,6	22,4
…	**…**	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
25.11.21	**45,9**	40,9	62,7	39,9	44,46	46,03	-10,9	36,6	-13,1	8,7	0,3
26.11.21	**33,9**	26,2	30,3	25,3	28,27	29,26	-22,7	-10,6	-25,4	7,9	-13,7
29.11.21	**27,1**	20,3	24,8	19,2	21,41	22,16	-25,1	-8,5	-29,2	5,5	-18,2
30.11.21	**41**	35,6	42,8	34,2	38,12	39,46	-13,2	4,4	-16,6	7,1	-3,8
Середнє відхилення, %							15,6	14,8	17,4	9,1	**4,7**

Як видно з рисунку 5 та таблиці 1, найменше відхилення розрахункових значень від фактичних (4,7%) при використанні рівнобедреного прямокутного трикутника (коли кут нахилу катетів до гіпотенузи 45°).

Висновки

Розглянуто задачу контролю та прогнозу витрат пального торговими представниками. Вхідними даними є GPS-координати торгових точок. Розглянуті різні алгоритми розрахунку відстаней, виконано їх порівняння та аналіз, надано рекомендації щодо оптимальності застосування методів для різних категорій торгових агентів: для коротких дистанцій запропоновано вдосконалений метод розрахунку (з кутом нахилу катету 45°), а для довгих – доведено адекватність застосування методу підрядника.

Дослідження виконано засобами мови Python і розроблена система для практичного використання торговими агентами та їх керівниками.

Список бібліографічного опису

1. Almendros-Jiménez, Jesús M., and Antonio Becerra-Terón. "Distance based queries in open street map." 2015 26th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA). IEEE, 2015.
2. Biswas, Aradhya, Goutham Pilla, and Bheemarjuna Reddy Tamma. "Microsegmenting: An approach for precise distance calculation for GPS based ITS applications." 2013 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS). IEEE, 2013.
3. Karney, Charles FF. "Geodesics on an ellipsoid of revolution." arXiv preprint arXiv:1102.1215 (2011).
4. Gonçalves, Daniel Neves Schmitz, et al. "Analysis of the difference between the euclidean distance and the actual road distance in Brazil." Transportation Research Procedia 3 (2014): 876-885.
5. Maria, E., E. Budiman, and M. Taruk. "Measure distance locating nearest public facilities using Haversine and Euclidean Methods." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1450. No. 1. IOP Publishing, 2020.
6. Rajšp, Alen, Marjan Hericko, and Iztok Fister Jr. "Preprocessing of roads in OpenStreetMap based geographic data on a property graph." Central European Conference on Information and Intelligent Systems. Faculty of Organization and Informatics Varazdin, 2021.
7. Лавренчук, С. В., Кисельов Д. В. "Соціальна мережа з можливістю відстеження користувачів засобами бібліотеки Google Maps API." Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво 19 (2015): 34-38.

8. Мельник, В., ТарасенкоА., Н. Чернящук, К. Мельник, і С. Чухрій. «Автоматизована система розкладу руху громадського транспорту.». КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, вип. 43, Червень 2021, с. 70-77, doi:10.36910/6775-2524-0560-2021-43-12.
9. Мельник, Катерина Вікторівна, та ін. Еволюційні моделі пошуку оптимального шляху. м. Луцьк, 2016, с. 53.
10. "OpenStreetMap". OpenStreetMap, www.openstreetmap.org. Останній перегляд 17 трав. 2022.

References

1. Almendros-Jiménez, Jesús M., and Antonio Becerra-Terón. "Distance based queries in open street map." 2015 26th International Workshop on Database and Expert Systems Applications (DEXA). IEEE, 2015.
2. Biswas, Aradhya, Goutham Pilla, and Bheemarjuna Reddy Tamma. "Microsegmenting: An approach for precise distance calculation for GPS based ITS applications." 2013 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems (RAICS). IEEE, 2013.
3. Karney, Charles FF. "Geodesics on an ellipsoid of revolution." arXiv preprint arXiv:1102.1215 (2011).
4. Gonçalves, Daniel Neves Schmitz, et al. "Analysis of the difference between the euclidean distance and the actual road distance in Brazil." Transportation Research Procedia 3 (2014): 876-885.
5. Maria, E., E. Budiman, and M. Taruk. "Measure distance locating nearest public facilities using Haversine and Euclidean Methods." Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1450. No. 1. IOP Publishing, 2020.
6. Rajšp, Alen, Marjan Hericko, and Iztok Fister Jr. "Preprocessing of roads in OpenStreetMap based geographic data on a property graph." Central European Conference on Information and Intelligent Systems. Faculty of Organization and Informatics Varazdin, 2021.
7. Lavrenchuk S.V., Kiselev D.V "A social network with the ability to track users by means Google Maps library API." COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, no. 19, 2015, pp. 34-38
8. Melnyk , V., TarasenkoA., N. Cherniashchuk, Melnyk K., and S. Chukhrii. "Automated Public Transport Timetable System.". COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, no. 43, June 2021, pp. 70-77, doi:10.36910/6775-2524-0560-2021-43-12.
9. Melnyk, Kateryna Viktorivna, and others. Evolutionary models of finding the optimal path. Lutsk, 2016, p. 53.
10. "OpenStreetMap". OpenStreetMap, www.openstreetmap.org. Last viewed 17 May. 2022

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-07
УДК 004.9:51-74
Падалко Анатолій Михайлович, кандидат фіз.-мат. наук, доцент
https://orcid.org/0000-0001-8030-5493
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна
Падалко Ніна Йосипівна, кандидат педагогічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0003-3600-5711
Падалко Катерина Анатоліївна, студентка
Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна
Собчук Дмитро Сергійович, кандидат техн. наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-9787-5844
Луцький національний технічний університет, , м. Луцьк, Україна

SIMULINK МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНУТОЮ ОБМОТКОЮ

Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Собчук Д.С. Simulink модель асинхронного електродвигуна з короткозамкнутою обмоткою. Розроблена математична модель асинхронного двигуна з короткозамкненутим ротором в ортогональній системі координат, орієнтованій за потокозчепленням ротора. Запропонована модель характеризується функціональністю та можливістю використання отриманих результатів і самої моделі при проектуванні сучасного електрообладнання
Ключові слова: моделі, змінний струм, Simulink, асинхронний електродвигун з короткозамкнутою обмоткою, розрахунки.

Padalko A.M., Padalko N.J., Padalko K.A. Sobchuk D.S. Simulink model of a squirrel-cage induction motor. A mathematical model of an asynchronous motor with a squirrel-cage rotor in an orthogonal coordinate system oriented to the rotor flux linkage has been developed. The proposed model is characterized by functionality and the possibility of using the results obtained and the model itself in the design of modern electrical equipment.
Keywords: models, alternating current, Simulink, squirrel-cage induction motor, calculations.

Постановка наукової проблеми. Оскільки асинхронні електродвигуни з короткозамкнутою обмоткою відіграють все більш зростаючу роль в енергетичному балансі, а динаміка співвідношення вартості електроприводів і тарифів на електроенергію розширює економічну границю їх використання. Навіть незначне покращення техніко-економічних показників і властивостей цих двигунів в масштабах держави дає значну економію електроенергії та забезпечує солідний економічний ефект.

Зазначені вище чинники обумовлюють **актуальність** пошуку шляхів енергозбереження під час використання асинхронних електродвигунів з короткозамкнутою обмоткою.

Поряд з багатьма іншими шляхами енергозбереження, одним з найбільш діючих є моделювання роботи асинхронного двигуна, що дозволить оптимізувати його роботу.

Мета роботи: розробити Simulink модель асинхронного електродвигуна з короткозамкнутою обмоткою

Аналіз внутрішніх електромагнітних процесів в асинхронному двигуні почнемо з розгляду кола обмотки статора.

Обмотка статора асинхронного двигуна пов'язана з двома магнітними потоками: потоком магнітного поля, що обертається, або робочим потоком Ф, і потоком розсіяння обмотки статора Φ_s Кожному з цих магнітних потоків відповідає е.р.с. індукції. Електрорушійна сила, яку спричиняє обертове магнітне поле, індукується в обмотці статора внаслідок того, що обертове магнітне поле перетинає при своєму обертанні витки обмотки статора. Позначимо цю е.р.с. через E Друга е.р.с. пов'язана із змінним потоком розсіяння; цій е.р.с. самоіндукції дамо позначення E_s [9]

Запишемо формули за допомогою яких визначається кожна з цих е.р.с.

При виведенні формули для е.р.с. E_1 скористаємося законом електромагнітної індукції (для одного витка)

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \qquad (1)$$

Визначимо тепер середнє значення е.р.с. в одному витку за половину періоду або за півоберта обертового поля:

$$E_c = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} edt \tag{2}$$

Замінюючи у формулі для E_c вираз *(edt)* через (*-dФ*) і змінюючи межі інтегрування, матимемо:

$$E_c = \frac{1}{T/2}\int_0^{T/2} edt = \frac{2}{T}\int_{\Phi_m}^{-\Phi m}\left(-d\Phi\right) = \frac{2}{T}\int_{-\Phi_m}^{\Phi m} d\Phi = \frac{4\Phi_m}{T} \tag{3}$$

Для обмотки статора *1/T* дорівнює частоті f_1, і тоді формула для середнього значення е.р.с. в одному витку матиме вигляд:

$$E_c = 4 f_1 \cdot \Phi_m \tag{4}$$

Складемо електричну схему заміщення кола статора асинхронного двигуна для однієї фази. Схема заміщення кожної фази обмотки статора повинна включати активний опір *r,* індуктивний опір x_{s1}, що вказує на наявність в колі е.р.с. самоіндукції E_{s1} (цей опір надалі ми позначатимемо просто x_1), і, нарешті, елемент, що вказує на наявність в обмотці статора э. д. з. *E* Всі ці послідовно з'єднані елементи, відображаючи схему заміщення однієї фази обмотки статора, підключаються до фазної напруги $U_Ф$ трифазноого струму, яким живиться асинхронний двигун.

Розглянемо спочатку коло статора в такому режимі, в якому він не пов'язаний з електромагнітним впливом кола ротора. Такий режим, очевидно, матиме місце під час включення статора за відсутності струму в роторі.

Схема заміщення кола для кожної фази ротора повинна складатися з наступних елементів: елемента, в якому наводиться е.р.с. E_2, активного опору кола ротора r_2 і індуктивного опору розсіяння x_2, *що* вказує на наявність в цьому колі е.р.с. самоіндукції E_{s2}. Така схема з вказаних елементів замикається накоротко у випадку двигуна з короткозамкнутим ротором і замикається на зовнішній опір $R_2 = R_{реост.}$.

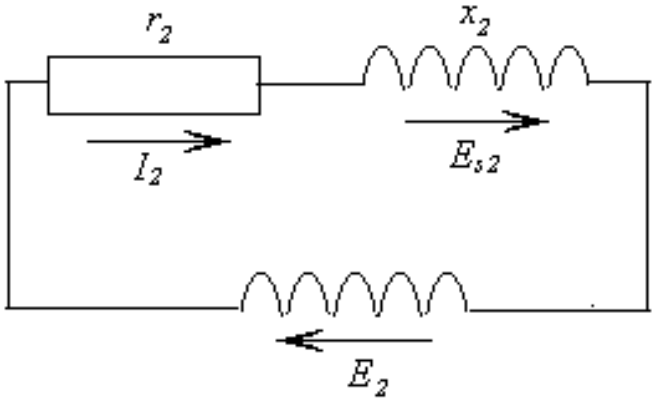


Рисунок 1 – Схема у випадку двигуна з короткозамкнутим ротором

Для аналізу зрручно використовути математичне моделювання [1].

На основі теорії автоматичного керування, асинхронні двигуни є нелінійним об'єктом з складною структурою. На розробку математичної моделі асинхронні двигунів впливають наступні фактори: живлення двигуна; конструкційні особливості (біляча клітка, фазний ротор);система координат у якій описується двигун;кількість сигналів на вході та виході[4].

Моделі асинхронних двигунів розділяють на:

−струмові (вхідний сигнал є струм статора);

−напругові (вхідний сигнал є напруга статора).

Асинхронний двигун згідно теорії автоматичного керування є нелінійним багатомірним об'єктом із досить складною структурою [4]. При розробці математичних моделей асинхронних двигунів виділяють наступні особливості, які потрібно враховувати [4]: спосіб живлення двигуна; особливості конструкції двигуна (фазний ротор, біляча клітка, подвійна біляча клітка);система

координат (СК), у якій виконано його математичний опис; кількість вхідних і вихідних сигналів моделі; система прийнятих відносних величин (у разі їхнього використання).

Моделі асинхронних двигунів можна поділити на [1-3]:

−струмові (вхідний сигнал є струм статора);

−напругові (вхідний сигнал є напруга статора).

Для того щоб модель мала більш доступний вигляд роблять такі допущення:

−вздовж коля повітряного зазору розприділяють намагнічувальні сили обмоток, що усуває вищі гармоніки магнітного потоку;

−відсутні втрати магнітних кіл у статора та ротора;

−симетричні обмотки статора та ротора;

−параметри обмоток статора приведені до ротора;

−явище витиснення з пазів струму відсутнє;

−джерело живлення вважається ідеальним джерелом струму або ЕРС.

Якщо нам потрібно дослідити двигун у тривалому режимі роботи або якщо малий діапазон регулювання швидкості рекомендують використовувати однофазну модель. Якщо потрібно дослідити різні несиметричні режими, краще використовувати трифазну модель у фазних координатах статора та ротора.

Моделі асинхронних двигунів в обертових системах координат, націлених по векторах потокозчеплення, як правило користуються для синтезу і порівняльного аналізу систем векторного керування. Зокрема, орієнтація на потокозчеплення ротора використовується наприклад у полеорієнтованих системах векторного керування (непряме векторне керування), а орієнтація на потокощеплення статора - в системах векторного керування з прямим керуванням моментом (DTC).

Насамперед нам потрібно, щоб напрям дійсної осі сходився з напрямом узагальненого вектору потокозчеплення ротора, тобто вектор потокозчеплення ротора обертається синхронно з системою координат. У системі координат вектор потокозчеплення матисе тільки дійсну складову. Зробимо позначення дійсна вісь *d*, а уявна – *q*. У цих координатах математичний опис асинхронного двигуна матиме вигляд:

$$\omega_k = \omega_{\Psi_r}; \tag{5}$$

$$\Psi_{rq} = 0, \quad \Psi_{rd} = \left|\tilde{\Psi}_r\right| = \Psi_{rm}. \tag{6}$$

Основою для розробки системи векторного керування АД є модель у системі координат *(d-q)*. Додаймо до передумов наступне: $U_{rd} = U_{rq} = 0$.

Для розробки моделі при живленні обмоток статора від джерела напруги потрібно врахувати зворотні зв'язки за складовою струму статора та потокозчеплення ротора.

З урахуванням передумови (3.3) та вище зазначених умов почнемо математичний опис з рівнянь в узагальнених векторах:

$$\begin{cases} \tilde{U}_s = \tilde{I}_s R_s + \dfrac{d\tilde{\Psi}_s}{dt} + j\omega_k \tilde{\Psi}_s, \\ 0 = \tilde{I}_r R_r + \dfrac{d\tilde{\Psi}_r}{dt} + j\left(\omega_k - Z_p\omega\right)\tilde{\Psi}_r. \end{cases} \tag{7}$$

Нам потрібно вище сказаний склад сигналів, для цього знайдемо узагальнений вектор струму ротора та зробимо підстановку з урахуванням позначень (5), (6):

$$\tilde{I}_r = \frac{1}{L_r}\tilde{\Psi}_r - \frac{L_m}{L_r}\tilde{I}_s = \frac{1}{L_r}\tilde{\Psi}_r - k_r\tilde{I}_s; \tag{8}$$

$$\tilde{\Psi}_s = L_s \tilde{I}_s + \frac{L_m}{L_r}\tilde{\Psi}_r - \frac{L_m^2}{L_r}\tilde{I}_s = \sigma L_s \tilde{I}_s + k_r \tilde{\Psi}_r. \quad (9)$$

Після підстановки (8), (8) у систему (7) отримаємо:

$$\begin{cases} \tilde{U}_s = \tilde{I}_s R_s + \sigma L_s \dfrac{d\tilde{i}_s}{dt} + k_r \dfrac{d\tilde{\Psi}_r}{dt} + j\omega_k \left(\sigma L_s \tilde{I}_s + k_r \tilde{\Psi}_r\right), \\ 0 = \dfrac{1}{T_r}\tilde{\Psi}_r - \dfrac{L_m}{T_r}\tilde{I}_s + \dfrac{d\tilde{\Psi}_r}{dt} + j\left(\omega_k - Z_p\omega\right)\tilde{\Psi}_r. \end{cases}$$

Для такого, щоб 1-е рівняння останньої системи затримувало похідну лише тільки від 1-го сигналу, виразимо похідну від потокозчеплення ротора з 2 рівняння даної ж системи і підставимо отримане в перше:

$$\frac{d\tilde{\Psi}_r}{dt} = k_r R_r \tilde{I}_s - \frac{1}{T_r}\tilde{\Psi}_r - j\left(\omega_k - Z_p\omega\right)\tilde{\Psi}_r, \quad (10)$$

$$\tilde{U}_s = R_{sr}\tilde{I}_s + \sigma L_s \frac{d\tilde{I}_s}{dt} - \frac{k_r}{T_r}\tilde{\Psi}_r + j\omega_k \sigma L_s \tilde{I}_s - jZ_p\omega k_r \tilde{\Psi}_r, \quad (11)$$

де $R_{sr} = R_s + k_r^2 R_r$.

Використавши метод переходу рівняння в узагальнених векторах до уявних та дійсних складових, виконаємо перетворення рівняння (3.7) та (3.8) у систему скалярних рівнянь

$$\begin{cases} U_{sd} = R_{sr} I_{sd} + \sigma L_s \dfrac{dI_{sd}}{dt} - \dfrac{k_r}{T_r}\Psi_{rm} - \omega_k \sigma L_s I_{sq}, \\ U_{sq} = R_{sr} I_{sq} + L_{s1}\dfrac{dI_{sq}}{dt} + \omega_k \sigma L_s I_{sd} - Z_p \omega k_r \Psi_{rm}, \\ \dfrac{d\Psi_{rm}}{dt} = \dfrac{L_m}{T_r} I_{sd} - \dfrac{1}{T_r}\Psi_{rm}, \\ 0 = k_r R_r I_{sq} - \left(\omega_k - Z_p\omega\right)\Psi_{rm}. \end{cases} \quad (12)$$

Позначимо

$$T_{sr} = \sigma L_s / R_{sr} \quad (13)$$

Далі диференціальні рівняння перепишемо в операторну форму::

$$\begin{cases} U_{sd} + \dfrac{k_r}{T_r}\Psi_{rm} + \omega_k L_{s1} I_{sq} = I_{sd} R_{sr}\left(T_{sr} p + 1\right), \\ U_{sq} - \omega_k L_{s1} I_{sd} - Z_p \omega k_r \Psi_r = I_{sq} R_{sr}\left(T_{sr} p + 1\right), \\ L_m I_{sd} = \Psi_{rm}\left(T_r p + 1\right), \\ \omega_k = k_r R_r \dfrac{I_{sq}}{\Psi_{rm}} + \omega_r . \end{cases} \quad (14)$$

Можна представити останнє рівняння системи (3.12) у наступному вигляді:

$$\Delta\omega_r = k_r R_r I_{sq} / \Psi_{rm} = \omega_k - \omega_r \quad (15)$$

$\Delta\omega_r$ – абсолютне ковзання ротора відносно швидкості обертання електромагнітного поля.

Об'єднавши рівняння (25), (26) з рівнянням електромагнітного моменту та рівняння руху, отримаємо модель асинхронного двигуна , яка наведена на рис.2.

$$M = \frac{3}{2} Z_p k_r \psi_{rm} I_{sq} \quad (16)$$

Дану модель можна використовувати, якщо робити дослідження системи векторного керування асинхронного двигуна з орієнтацією за полем ротора.

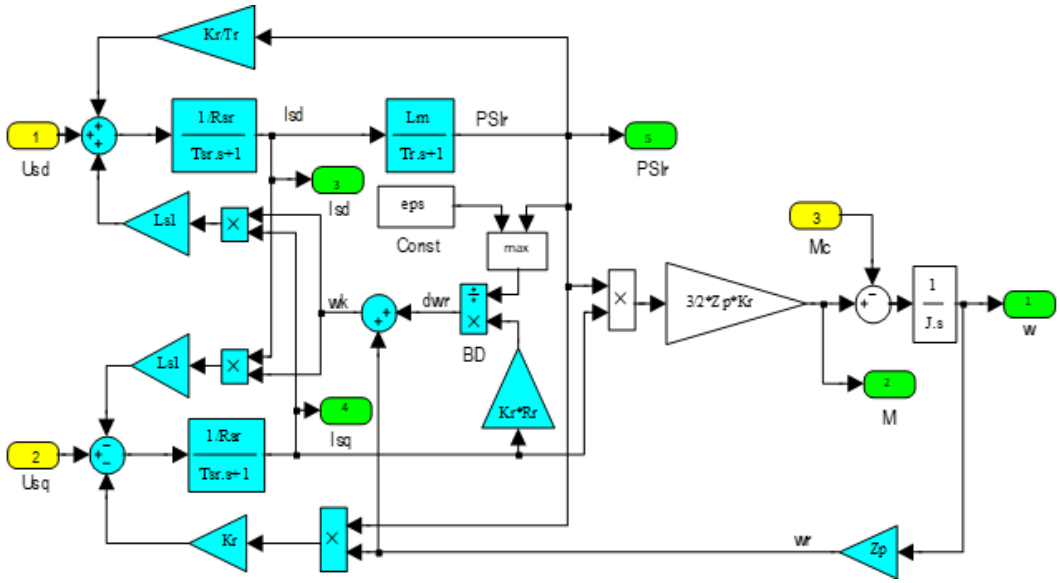


Рисунок 2 – Модель короткозамкненого АД в ортогональній системі координат, орієнтованій за потокозчепленням ротора

З моделі асинхронного двигуна отримаємо передаточні функції регуляторів:

1. регулятори струмів

$$W_{\text{pc}} == \frac{R_{sr}(T_{sr} p + 1)}{T_i p}; \quad (17)$$

2. регулятор потокозчеплення ротора

$$W_{pn} = \frac{T_r p + 1}{L_m T_f p}; \quad (18)$$

3. регулятор швидкості

$$W_{рш} = \frac{J}{k_T T_W}, \tag{19}$$

Щоб розрахувати сталі часу інтегрування використаємо наступні формули:

$$T_i = 2T_\mu,\ T_f = 2T_\mu,\ T_\omega = T_f = T_i, \tag{20}$$

T_μ –стала часу, яка обумовлена інерційністю ПЧ.

Якщо нам потрібен П–регулятор швидкості, тоді використаємо формулу (3.17), при цьому система буде статичною. Але якщо потрібний ПІ–регулятор(система астатична) передавальна функція буде наступною:

$$W_{рш1} = \frac{J}{k_T T_\omega}\frac{(T_0 p+1)}{T_0 p}, \tag{21}$$

де $T_0 = 2T_\omega$.

Для дослідження будемо використовувати програмне забезпечення Matlab Simulink для побудови моделі позиційного електроприводу відповідно до структури на рис.3. Будемо використовувати стандартну модель а з короткозамкненим ротором, орієнтована за потокозчепленням ротора. Результати моделювання приведенні на рис. 3.а – 3.в.

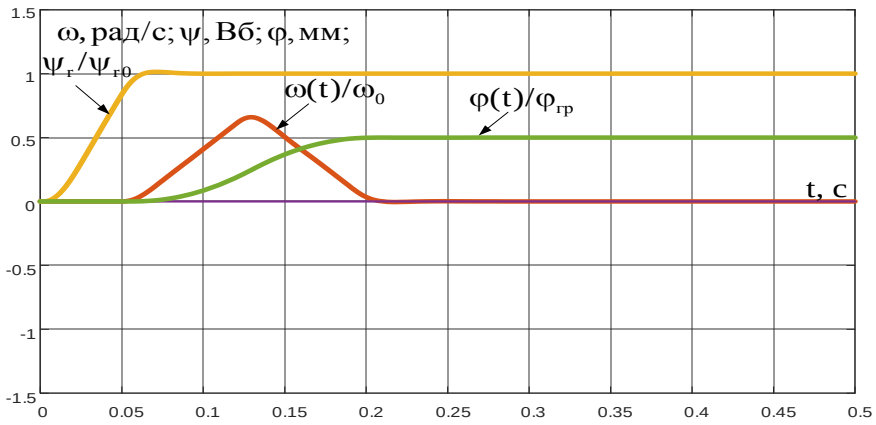
Перехідні процеси досліджуваної системи автоматичного керування з лінійним регулятором при Мс=0, φ*= φ $_{гр}$/2, при коефіцієнті регулятора положення $k_{рп}$=const, продемонстровані на рис. 3. а.

На даних графіках ми можемо побачити те, що сигнал завдання відпрацьовується без дотягування та перерегулювання, це означає що розподільчий пристрій та давач інтенсивності налаштовані вірно. Значить положення φ(t) досягло заданого значення в t=0.21 с, в той час як швидкість ω(t) досягла нуля при t=0.21 с., це означає що система відпрацьовує завдання середніх переміщень.

Перехідні процеси при Мс=0, φ*= φ $_{гр}$, та коефіцієнті регулятора положення $k_{рп}$=const, продемонстровані на рис. 3. б. З графіку видно, що при завданні φ*= φ $_{гр}$, система відпрацьовує з перерегулюванням , отже, система гальмує пізніше. Отже, швидкість не дорівнює нулю в той час як положення вже вийшло на задане значення в t=0.29.

Перехідні процеси при Мс=0, при коефіцієнті регулятора положення $k_{рп}$=const, продемонстровані на рис.3. в.

З графіку видно, що при завданні φ*= φ $_{гр}$/4, система відпрацьовує з дотягуванням, отже, система гальмує раніше. Отже, швидкість дорівнює нулю в той час як положення ще не вийшло на задане значення в t=0.18. В такому випадку швидкість буде компенсувати положення поки не досягне заданого значення, що звісно зменшує швидкодію системи.



а)

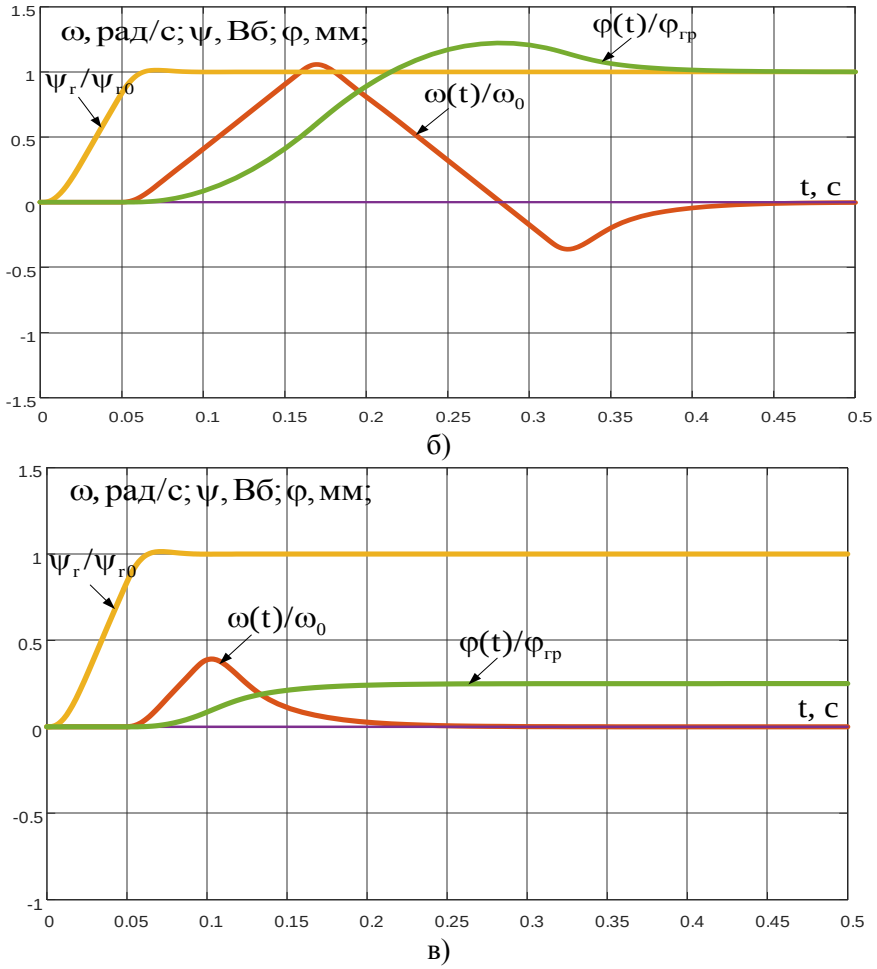


Рисунок 3 – Перехідні характеристики системи автоматичного керування положення з лінійним регулятором: а) $\varphi^* = \varphi_{гр}/2$; б) $\varphi^* = \varphi_{гр}$; в) $\varphi^* = \varphi_{гр}/4\,\varphi^*/\varphi_{гр}$

За даними дослідження можемо зробити висновки, що дана система при малих та великих переміщеннях працює з перерегулюванням чи дотягуванням.

Висновки. Розроблена математична модель асинхронного двигуна з короткозамкненутим ротором в ортогональній системі координат, орієнтованій за потокозчепленням ротора. Запропоновано схему розрахунку та розроблене відповідне програмне забезпечення в Simulink;. Модель дозволяє отримати данні підбору асинхронних двигуна з короткозамкненутим ротором для нової системи електроприводу. При цьому для оцінки споживання електроенергії необхідно побудувати моделі порівняльних систем електроприводу. Використання програмного забезпечення спрощує процедуру розрахунку асинхронних двигунів з короткозамкненутим ротором, оскільки не потребує від розробника додаткових затрат. Запропонована модель характеризується функціональністю та можливостю використання отриманих результатів і самої моделі при проектуванні сучасного електрообладнання.

Список бібліографічного опису

1.Використання системи диференціальних рівнянь для математичного моделювання електричних машин постійного струму/ Падалко А. М., Падалко Н. Й., Падалко К.А. Подоляк В. М. *Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво". Луцьк*. 202 Вип. № 43. С. 97-102. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-02

2.Падалко Н. Й., Падалко А.М., Шишкін П.В. SIMULINK-моделі енергоефективних режимів роботи двигунів постійного струму з різними способами підключення обмотки // Студентський науковий вісник. Серія "Природничі та технічні науки". Науковий збірник. Випуск 29. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2018 – с. 307-315.

3.Падалко А.М., Падалко Н. Й., Поприч Ю.А. Математичне моделювання вентильної електричних машин та апаратів засобами Simulink/ XXXIX університетська студентська науково-технічна конференція ЛНТУ ,,Україна сьогодні: інтеграція освіти і науки"(технічний напрямок), квітень 2016.-Луцьк 2016.-С.236-237.

4.Падалко А.М, Сніжко В. В. Оптимізація роботи вентильної машини за допомогою Simulink моделей// Студентський науковий вісник. Серія "Природничі та технічні науки". Науковий збірник. Випуск. – Луцьк: ІВВ Луцького НТУ, 2019 – с. 307-315.

References

1.Use of the system of differential equations for mathematical modeling of electric machines of direct current / Padalko AM, Padalko NY, Padalko KA Podoliak VM Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production". Lutsk. 202 Issue. № 43. pp. 97-102. . (in Ukraininan)

2.Padalko N.I., Padalko A.M., Shyshkin P.V. SIMULINK-models of energy-efficient operating modes of DC motors with different ways of connecting the winding // Student Scientific Bulletin. Series "Natural and technical sciences". Scientific collection. Issue 29. - Lutsk: IVV Lutsk NTU, 2018 - p. 307-315. (in Ukraininan)

3.Padalko A.M., Padalko N.I., Poprich Yu.A. Mathematical modeling of valve electric machines and devices by means of Simulink / XXXIX University student scientific and technical conference LNTU "Ukraine today: integration of education and science" (technical direction), April 2016-Lutsk 2016-С.236-237. (in Ukraininan)

4.Padalko AM, Snezhko VV Optimization of valve machine operation using Simulink models // Student Scientific Bulletin. Series "Natural and technical sciences". Scientific collection. Release. - Lutsk: IVV Lutsk NTU, 2019 - p. 307-315. (in Ukrainian)

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-19
УДК 65.012.23:629.119
Філь Наталія Юріївна, к.т.н., доцент,
https://orcid.org/0000-0003-2081-7176
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна.

МОДЕЛІ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ АВТОСЕРВІСУ

Філь Н.Ю. Моделі вибору обладнання для автосервісу. В роботі розроблено моделі вибору стенду розвал сходження, підйомника, міні-крану для автосервісу. Для вирішення поставленого завдання пропонується використовувати метод аналізу ієрархій Т. Сааті. Наведено приклади використання розроблених моделей. Розроблені моделі вибору технічного обладнання для автосервісу дозволяють приймати науково-обґрунтовані рішення за багатьма функціональними та економічними критеріями. Розрахунки виконувались у MS Excel.
Ключові слова: автосервіс, обладнання, метод аналізу ієрархій, критерії, альтернативи.

Fil N.Yu. Models for the selection of car service equipment. Models for the choice of a wheel alignment stand, lift, and mini-crane for car service, are developed in the work. To solve this problem, T. Saati hierarchy analysis method is suggested to be used. Examples of using the developed models are given. Developed models for the choice of car service technical equipment allow making scientifically substantiated decisions on many functional and economic criteria. Calculations are performed in MS Excel.
Key words: car service, equipment, method of analysis of hierarchies, criteria, alternatives.

Постановка наукової проблеми.

В останні роки в Україні різко зросла кількість легкових автомобілів. Український ринок нових легкових автомобілів у 2021 році фінішував на позначці 103650 автомобілів, що на 20% більше, ніж у 2020-му, також у грудні 2021 року в Україні зареєстрували 47,3 тисяч вживаних легкових авто, ввезених з-за кордону. Це у чотири з половиною рази більше, ніж нових – їх 10,5 тис. одиниць та на 18% більше, ніж роком раніше [1]. Будь-який автомобіль вимагає обслуговування та ремонту. Тому зі зростанням кількості автомобілів на дорогах України зростала потреба в автосервісі.

Наразі через економічну кризу та військові дії на території України підприємствам автосервісу доводиться серйозно боротися за кожного клієнта. Сучасні умови ринку автосервісних послуг передбачають функціонування підприємств у ситуаціях невизначеності та ризику. При цьому жорстка конкуренція ставить перед керівниками автосервісу серйозні завдання підвищення конкурентоспроможності підприємств на ринку послуг.

Надійність та висока якість послуг – основні критерії, що визначають ефективність роботи автосервісу. Специфіка сучасного автомобіля така, що навіть професіонал високого рівня не зможе нічого вдіяти, якщо не має відповідного обладнання. Не випадково те, що при оцінці рейтингу підприємств автосервісу поряд з іншими оціночними критеріями, технічні засоби стоять на першому місці. Тому, професійне обслуговування автомобілів неможливе без спеціалізованого обладнання, за допомогою якого всі роботи проводяться швидко та якісно. Тому, особливу увагу необхідно приділити вибору добротного та надійного обладнання [2].

При виборі обладнання для автосервісу необхідно враховувати різні критерії, наприклад, потужність, технічні характеристики автомобілів, що будуть обслуговуватися на автосервісі, габарити, площу приміщення [3]. Розглянемо основне обладнання, яке необхідно для автосервісу.

Від вибору автомобільного стаціонарного підйомника буде залежати якість та швидкість обслуговування клієнтів автосервісу. Підйомник обирається з урахуванням видів транспорту, яке обслуговується на автосервісі (вантажні, легкові авто, мототехніка) та напрямку роботи авто майстерні.

Для функціонування автосервісу потрібна наявність якісного ручного інструменту. Інструмент, який вироблений компаніями FORCE, Hazet, Ombra, Jonnesway, має високою точність. Цей інструмент виготовлено з високоякісних легованих сталей, що запобігає передчасному виходу інструменту з ладу. Для скорочення часу ремонту використовуються різні пневматичні інструменти, що значно підвищує продуктивність праці на автосервісі.

Під час обслуговування автомобілів у майстернях та шиномонтажних станціях використовується пневматичне обладнання та інструменти, робота яких відбувається за рахунок стисненого повітря. За допомогою компресорних агрегатів виконуються демонтажні/монтажні роботи, накачування шин, очищення від бруду та пилу у важкодоступних місць. Шиномонтажні та

балансувальні стенди, шуруповерти, гайковерти, пневмопідйомники, пістолети для ґрунту, фарбопульти – все це обладнання працює від пневмоприводу.

Обладнання для кузовного ремонту автомобіля необхідно для виправлення деформації кузова та відновлення контрольних точок, виконання заміни елементів та деталей, косметичного ремонту, усунення перекосів рам та невеликих дефектів кузова. До кузовного обладнання пред'являються високі вимоги щодо ефективності та безпеки. Воно експлуатується в інтенсивному режимі, від нього залежить якість робіт, що проводяться на автосервісі.

Для швидкого та точного визначення причин несправностей автомобіля необхідно діагностичне обладнання. Це дозволить усунути несправності за короткий термін. Подібна техніка потрібна для кожного сучасного автосервісу. Список необхідного діагностичного обладнання для автосервісу включає димоміри, газоаналізатори, тестери, сканери, товщиноміри, моторні тестери.

Шиномонтажне обладнання автосервісу повинно включати цілий комплекс установок і верстатів для проведення робіт із заміни, обслуговування та ремонту коліс.

Номенклатура технологічного обладнання для автосервісу автомобілів обчислюється тисячами найменувань та різноманітна як за виробниками, так і за призначенням. Пояснень цьому факту кілька: зростаюча роль складних комплексів для технічного обслуговування, діагностування та ремонту автомобілів, умови ринкової економіки, кількість конкуруючих фірм та підприємств у сфері технологічного обладнання автосервісу, різноманіття марок та моделей автотранспорту як в Україні, так та за кордоном.

Таким чином, вибір обладнання є актуальною науково-прикладною задачею.

Аналіз досліджень.

Сучасний ринок послуг з обслуговування автомобілів розвивається у напряму індивідуалізації підходу, типізації дій, інтеграції основних процесів та автоматизації операцій.

Питанням оцінки та оптимізації економічної ефективності підприємств автосервісу присвячено багато робіт вітчизняних та закордонних авторів.

Робота [3] присвячена формуванню і підтриманню на плановому рівні обсягів виробництва підприємств автосервісу. Зазначено, що забезпечення та підвищення рівня використання виробничого потенціалу є складною задачею. Для успішного функціонування підприємства автосервісу необхідна обґрунтована політика пошуку і забезпечення обсягів виробництва послуг при коливанні ринку послуг і, відповідно, обсягів робіт та планомірний розвиток виробничого процесу.

Робота [4] присвячена визначенню конкурентоспроможності компаніям автосервісу. Виявлено та проаналізовано внутрішні та зовнішні впливи, драйвери змін та загальні зміни в компаніях автосервісу. Особливо увага приділена впливу розвитку технологій та поширенню інновацій. Розроблені поточні та майбутні завдання для компаній автосервісу.

Правові вимоги екологічних питань автосервісу розглянуто в роботі [5]. Розглядаються дані про щорічні відходи обслуговування транспортних засобів. Більше того, зазначено основні екологічні проблеми.

Оцінка якості внутрішнього середовища салонів автосервісу з урахуванням безпечного діапазону лімітів викидів оксовуглецю, концентрації газоподібних та твердих аерозолів окремих хімічних забруднювачів та впливу професійного шуму розглянуто в роботі [6].

Оцінці роботи підприємствам автосервісу присвячені роботи [7-8]. Дослідження проводились за допомогою анкетування клієнтів. Для збору даних також використовувався метод кластерної вибірки. Результати свідчать про те, що компаніям автосервісу слід приділити більше уваги якості своїх послуг.

В роботі [9] розроблено модель вибору мийки високого тиску для автотранспортного підприємства, що дозволяє вибирати ефективну модель вибору мийки високого тиску за заданими критеріями й обмеженням в умовах нечіткої вхідної інформації.

Таким чином, проведений аналіз довів, що проблемі вибору обладнання для автосервісу не приділено достатньої уваги.

Метою дослідження є підвищення ефективності автосервісу легкових автомобілів за рахунок розробки моделей вибору обладнання для автосервісу легкових автомобілів в умовах невизначеності вхідної інформації.

Об'єктом дослідження є процеси вибору обладнання для автосервісу автомобілів.

Предметом дослідження є моделі вибору обладнання для автосервісу легкових автомобілів в умовах невизначеності вхідної інформації.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

– провести аналіз критеріїв, які використовуються для вибору обладнання для автосервісу легкових автомобілів;

– розробити моделі вибору обладнання для автосервісу легкових автомобілів в умовах невизначеності вхідної інформації;

– навести приклади використання розроблених моделей.

Моделі вибору обладнання для автосервісу легкових автомобілів в умовах невизначеності вхідної інформації.

Завдання вибору комплекту обладнання для автосервісу – багатокритеріальна задача в умовах невизначеності вхідної інформації. Для розв'язання поставленого завдання пропонується використовувати метод аналізу ієрархій [10]. Метод аналізу ієрархій забезпечує за допомогою простих і обґрунтованих правил розв'язання багатокритеріальних задач, які містять якісні і кількісні фактори різної розмірності. Метод аналізу ієрархій досить просто реалізується в середовищі Excel. Вихідними даними для методу аналізу ієрархій є матриця парних зрівняльних об'єктів. Ця матриця формується експертами на основі шкали корисності об'єктів для досягнення цілі. У практиці використання методу аналізу ієрархій широке поширення отримала шкала парних порівнянь. Повний опис методу аналізу ієрархій наведено в роботі [11].

Для ремонту ходової частини легкових автомобілів необхідно використовувати стенд установки кутів розвал сходження [12]. На ринку представлено множина стендів, для більшої пропускної спроможності підприємства, необхідно придбати обладнання, за допомогою якого одна операція займе меншу частку часу.

В якості альтернатив будемо розглядати [13]:

– стенд розвал сходження HawkEye ELITE, 3-D, 4-х камерний WA360E-HE421LZ3E HUNTER;

– стенд розвал сходження 3D Geoliner 670 XD, з електропідйомником Hofmann, Німеччина;

– стенд розвал сходження 3D Geoliner 790 XD, 3 камери XD Hofmann Німеччина.

В якості критеріїв будемо розглядати наступні:

– вартість;

– бренд;

– гарантія;

– додаткові функції.

Структурна модель вибору установки кутів розвал сходження, відповідно до методу аналізу ієрархій, представлена на рис. 1.

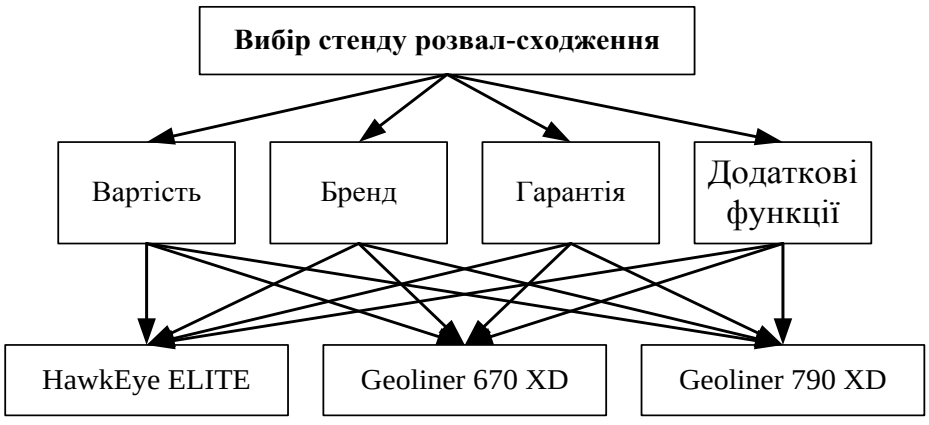


Рисунок 1 – Структурна модель вибору стенду розвал-сходження

Відповідно до методу МАІ були складені матриці попарних порівнянь альтернатив і критеріїв, розраховані нормалізовані вектори пріоритетів, відношення узгодження для кожної матриці. На рисунку 2 представлено матрицю обчислення глобального пріоритету.

Аналіз елементів нормованого власного вектора критеріїв показує, що у вибір оптимального стенду розвал-сходження більший вплив надають вартість (41,3%), гарантія (29,2%), а бренд фірми – лише 10,8%.

Критерії	Вартість	Бренд	Гарантія	Дод. Функції	Глоб. пріоритет
Альтернативи	0.413	0.108	0.292	0.187	
HawkEye ELITE	0.25	0.6	0.6	0.4	0.418
Geoliner 670 XD	**0.5**	**0.2**	**0.2**	**0.2**	**0.445**
Geoliner 790 XD	0.25	0.2	0.2	0.4	0.285

Рисунок 2 – Матриця обчислення глобального пріоритету

За розрахунками обрано стенд розвал сходження 3D Geoliner 670 XD, з електропідйомником Hofmann. Стенді розвал-сходження 3D Geoliner 670 XD – одна з найпередовіших систем на ринку автосервісу сьогодні. Технологія візуалізації забезпечує точні вимірювання в реальному часі, що підвищує продуктивність і забезпечує простоту та точність використання.

Підйомники використовуються на будь-якому підприємстві автосервісу. Підйомники забезпечують більшу зручність, сприяють свободі переміщення працюючого. Широке використання високоефективного підйомного обладнання – основа підвищення рівня механізації й якості технічного сервісу, та сприяє зниженню витрат. Для автосервісу рекомендується використовувати підйомниками симетричної конструкції. Найпоширеніший вид підйомників в Європі це підйомники без підстави («чиста підлога»), вони зручні та сучасні в роботі.

В якості критеріїв будемо розглядати

– висота підйому, мм;
– час підйому/спуску, сек;
– гарантія, міс;
– відгуки користувачів;
– ціна.

Характеристики альтернатив представлено в таблиці 1 [14].

Таблиця 1. Характеристики підйомників вантажопідйомністю 4000 кг

	Safe 2040 Advance	Well Kraft 2140	Well Kraft 3140 ASY M
Висота підйому, мм	105-1935	110-1900	1900
Відгуки користувачів	3	3	5
Час підйому/спуску, сек	60/40	55/35	55/35
Гарантія, міс	12	36	36
Ціна, грн	57960	60720	69000

Структурна модель вибору підйомника представлена на рисунку 3.

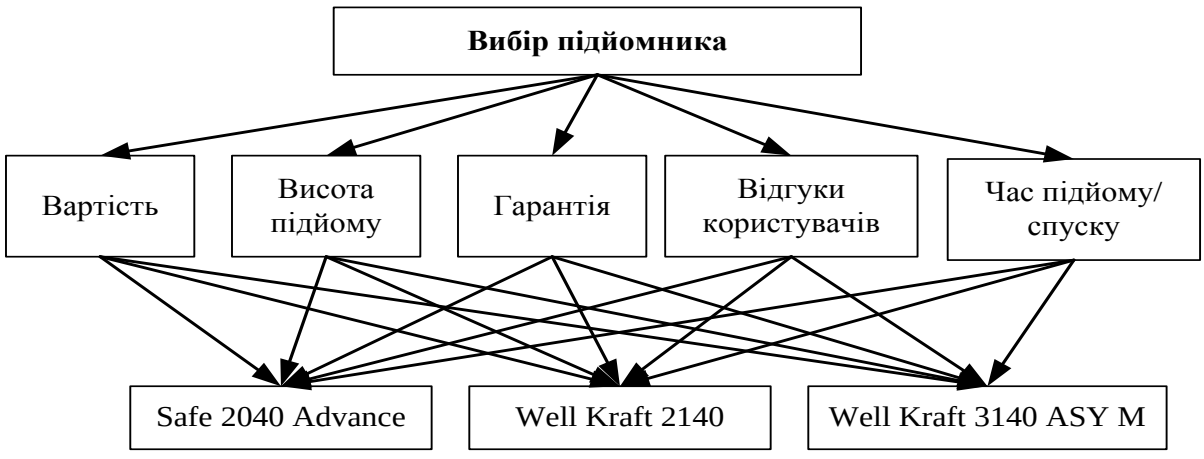


Рисунок 3 – Структурна модель вибору підйомника

Обчислення глобального пріоритету для вибору підйомника представлена на рисунку 4.

	Висота підйому	Відгуки	Час підйому	Гарантія	Вартість	Глоб.
Вага критеріїв	0.075	0.208	0.067	0.248	0.402	приорітет
Safe 2040 Advance	0.412598948	0.2	0.2	0.143	0.540	0.338
Well Kraft 2140	0.327480002	0.2	0.4	0.429	0.297	0.319
Well Kraft 3140 ASY M	0.25992105	0.6	0.4	0.429	0.163	0.343

Рисунок 4 –. Матриця розрахунку глобального пріоритету

За розрахунками обрано підйомник Well Kraft 3140 ASY M, який має максимальний глобальний пріоритет. Підйомник Well Kraft 3140 ASY M має регульований виліт лап підйомника дозволяє піднімати як маленькі смарт автомобілі, так і комерційні транспортні засоби. Колони розгорнуті під кутом 30 ° дозволяють вільно відкривати двері автомобіля і отримати вільний доступ в салон. Система безпеки має клапан захисту від перевантажень і незалежну систему замків безпеки окремо для кожної стійки. Автоматичне блокування лап при підйомі автомобіля і розблокування при повному опусканні. Підйомник має міцну конструкцію і невибагливий до обслуговування , що гарантує високий термін служби.

У кожному автосервісі використовується допоміжне обладнання – міні-крани. Характеристики альтернатив представлено в таблиці 2 [15].

Таблиця 2. Характеристики міні-кранів з висотою підйому понад 2000 мм

	OMA 570	TORIN T31002	OMA 587
Вантажопідйомність, т	0.5	1	1
Висота підйому,мм	2200	2030	2200
Висота стріли, мм	1000-1300	830-1010	1080-1380
Тип	Не доладний	Складний	Складний
Вага, кг	65	72	110
Країна	Італія	Китай	Італія
Вартість, грн	13237	8 655	22 165

Структурна модель вибору міні-крану представлена на рисунку 5.

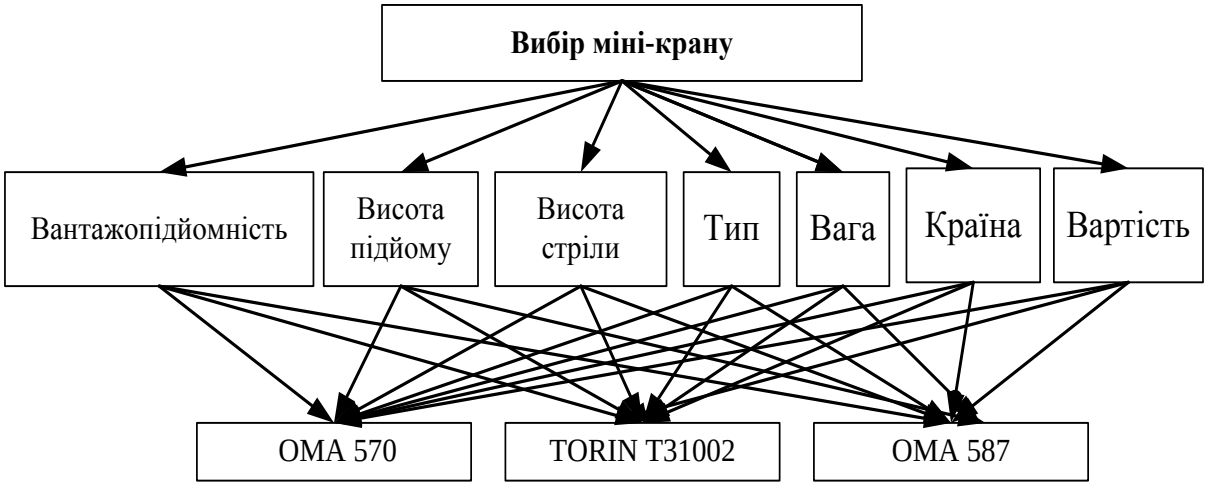


Рисунок 5 – Структурна модель вибору міні-крану

Обчислення глобального пріоритету представлена на рисунку 6.

	Вантажопідйомність, т	Висота підйому, мм	Висота стріли, мм	Тип	Вага, кг	Країна	Вартість, грн	Глобальний приорітет
	0.111	0.075	0.071	0.135	0.159	0.200	0.250	
OMA 570	0.142857	0.4	0.320	0.091	0.540	0.455	0.297	0.331
TORIN T31002	0.428571	0.2	0.122	0.455	0.297	0.091	0.540	0.333
OMA 587	**0.428571**	**0.4**	**0.558**	**0.455**	**0.163**	**0.455**	**0.163**	**0.336**

Рисунок 6 – Обчислення глобального пріоритету

За розрахункам обрано міні-кран ОМА-587 (Італія).

Запропоновані моделі досить просто реалізується серед Excel і розкривають можливості методу аналізу ієрархій Т. Сааті.

Висновки та перспективи подальшого дослідження

Якісне технічне обслуговування та ремонт автомобілів для підприємств автосервісу це – запорука конкурентоспроможності фірми. сучасне обладнання для автосервісу суттєво скорочує часові витрати на перевірку автомобілів, заміну деталей, відновлення працездатності окремих механізмів. А щоб воно приносило максимум прибутку, потрібно лише правильно його підібрати.

Для вирішення поставленого завдання пропонується використовувати метод аналізу ієрархій Т. Сааті. Методи експертних оцінок – одні з найякісніших методів прийняття рішень, що використовуються на практиці.

В роботі розроблено моделі вибору стенду установки кутів розвал сходження, вибору підйомників, міні-крану для автосервісу. Наведено приклади використання розроблених моделей. Розроблені моделі вибору технічного обладнання для автосервісу дозволяють приймати науково-обґрунтовані рішення за багатьма функціональними та економічними критеріями. Розрахунки виконувались у MS Excel.

Отримані результати можуть бути будуть використані для розробки системи підтримки прийняття рішення щодо вибору обладнання для автосервісу.

Список бібліографічного опису

1. Минулий рік став рекордним за кількістю реєстрацій вживаних авто. URL: https://ukrautoprom.com.ua/mynulyj-rik-stav-rekordnym-za-kilkistyu-reyestraczij-vzhyvanyh-avto (дата зверенення 10.05.2022)
2. 5 автомобілістів про те, чому від неофіційних СТО слід триматися подалі // Економічна правда. URL: https://www.epravda.com.ua/projects/ekspertnyi-avtoservis/2021/04/29/673022/ (дата звернення 10.05.2022).
3. Werdich, K. Competitive Position of Dependent Passenger Car Maintenance Companies - Influences, Developments and Challenges in the German Market / K. Werdich // Journal of competitiveness. – 2015. – Volume 7. – Issue 2. – P. 3 – 22.
4. Mozga, Łukasz & Stoeck, Tomasz. (2019). Environmental issues in modern car services. AUTOBUSY – Technika Eksploatacja Systemy Transportowe. 24. 17-21. 10.24136/atest.2019.118.
5. Vitázek, I. & Michalíková, D. & Vitázková, B. & Klúčik, J.. (2016). Emission load of car service interiors. Research in Agricultural Engineering. 62. 122-128. 10.17221/5/2015-RAE.
6. Keshavarz, Samane & S.M, Yazdi & K, Hashemian & Meimandipour, Amir. (2009). Measuring Service Quality in the Car Service Agencies. Journal of Applied Sciences. 9. 10.3923/jas.2009.4258.4262.
7. Ikromov, Ikbol & Abduraximov, Axrorjon & Fayzullayev, Haydarali. (2021). Experience and prospects for the development of car service in the field of car maintenance. Theoretical & Applied Science. 103. 344-346. 10.15863/TAS.2021.11.103.25.
8. Manowicz, Adam-Alexander. (2018). Impact of Connected Remote Services on Car Servicing Loyalty. European Journal of International Management. 10. 59.
9. Філь Н.Ю., Клусович А.В. Модель вибору високонапірних мийок для АТП. Комп'ютерні технології і мехатроніка. зб. наук. праць за матеріалами ІІ міжнар. наук.-практ. конф. м. Харків, 20 трав. 2020, Харків. 2020, С. 244-246. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/bitstream/123456789/3576/1/244-246.pdf.
10. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

11. N. Fil, L. Nefedov and A. Binkovskaya, "A Model for Choosing Hosting for a Company's Website," 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 387-390, doi: 10.1109/PICST47496.2019.9061555.
12. Вибір стенду розвал-сходження // Вісник Розділля. URL: https://visrozdil.lviv.ua/2022/01/17/yak-vybraty-stend-rozval-shodzhennya/ (дата зверенення 1.06.2022)/
13. Какой стенд развал-схождения лучше? Компьютерный или 3D? URL: https://autom.com.ua/ru/kakoj-stend-razval-shozhdeniya-luchshe-kompyuternyj-ili-3d (дата звернення 5.06.2022).
14. ГрандИНСТРУМЕНТ. Автомобильные подъемники для СТО: сайт. URL: https://www.grandinstrument.ua/podemnik-avtomobilnyj/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=podyemnik &gclid=EAIaIQobChMI2u37rvfZ9AIV5QyLCh2WXQdiEAAYASAAEgJz6_D_BwE (дата звернення 5.06.2022).
15. FLAGMA. Кран для автосервиса: сайт. URL: https://flagma.ua/products/q=%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD+%D0%B4%D0%BB%D1%8F+%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B0/ (дата звернення 05.06.2022)/

References

1. Mynulyi rik stav rekordnym za kilkistiu reiestratsii vzhyvanykh avto [Last year was a record year for the number of registrations of used cars]. Available at: https://ukrautoprom.com.ua/mynulyj-rik-stav-rekordnym-za-kilkistyu-reyestraczij-vzhyvanyh-avto (accessed: 10.05.2022).
2. 5 avtomobilistiv pro te, chomu vid neofitsiinykh STO slid trymatysia podali [5 motorists on why you should stay away from unofficial service stations]. Economic truth. Available at: https://www.epravda.com.ua/projects/ekspertnyi-avtoservis/2021/04/29/673022/ (accessed: 10.05.2022).
3. Werdich, Karl. (2015). Competitive Position of Dependent Passenger Car Maintenance Companies – Influences, Developments and Challenges in the German Market. Journal of Competitiveness. 7. 3-22. 10.7441/joc.2015.02.01.
4. Mozga, Łukasz & Stoeck, Tomasz. (2019). Environmental issues in modern car services. AUTOBUSY – Technika Eksploatacja Systemy Transportowe. 24. 17-21. 10.24136/atest.2019.118.
5. Vitázek, I. & Michalíková, D. & Vitázková, B. & Klúčik, J.. (2016). Emission load of car service interiors. Research in Agricultural Engineering. 62. 122-128. 10.17221/5/2015-RAE.
6. Keshavarz, Samane & S.M, Yazdi & K, Hashemian & Meimandipour, Amir. (2009). Measuring Service Quality in the Car Service Agencies. Journal of Applied Sciences. 9. 10.3923/jas.2009.4258.4262.
7. Ikromov, Ikbol & Abduraximov, Axrorjon & Fayzullayev, Haydarali. (2021). Experience and prospects for the development of car service in the field of car maintenance. Theoretical & Applied Science. 103. 344-346. 10.15863/TAS.2021.11.103.25.
8. Manowicz, Adam-Alexander. (2018). Impact of Connected Remote Services on Car Servicing Loyalty. European Journal of International Management. 10. 59.
9. Fil N.Iu., Klusovych A.V. Model vyboru vysokonapirnykh myiok dlia ATP. Kompiuterni tekhnolohii i mekhatronika: zb. nauk. prats za materialamy II Mizhnar. nauk.-prakt. konf., 28 travn. 2020 r. Kharkiv, KhNADU, 2020. pp. 244–246. Available at: khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/3576/
10. T.L. Saaty. Prinyatie reshenij. Metod analiza **i**erarhi [Making decisions. Hierarchy analysis method]. Moscow. Russia: Radio i svjaz', 1993. (In Russian)/
11. N. Fil, L. Nefedov and A. Binkovskaya, "A Model for Choosing Hosting for a Company's Website," 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 2019, pp. 387-390, doi: 10.1109/PICST47496.2019.9061555.
12. Vybir stendu rozval-skhodzhennia. Visnyk Rozdillia. Available at: https://visrozdil.lviv.ua/2022/01/17/yak-vybraty-stend-rozval-shodzhennya/ (accessed: 1.06.2022)/
13. Kakoi stend razval-skhozhdenyia luchshe? Kompiuternыi yly 3D? : sait. Available at: https://autom.com.ua/ru/kakoj-stend-razval-shozhdeniya-luchshe-kompyuternyj-ili-3d (accessed: 5.06.2022).
14. HrandYNSTRUMENT. Avtomobylnыe podъemnyky dlia STO: sait. Available at: https://www.grandinstrument.ua/podemnik-avtomobilnyj/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=podyemnik &gclid=EAIaIQobChMI2u37rvfZ9AIV5QyLCh2WXQdiEAAYASAAEgJz6_D_BwE (accessed: 5.06.2022).
15. FLAGMA. Kran dlia avtoservysa: sait. Available at: https://flagma.ua/products/q=%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%BD+%D0%B4%D0%BB%D1%8F+%D0%B0%D0%B2%D1% 82%D0%BE %D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%81%D0%B0/ (accessed: 05.06.2022).

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-08
УДК 519.6
Брагінець Оксана Вікторівна, к.ф.-м.н., доцент
https://orcid.org/0000-0003-2635-7203
Воробйова Алла Іванівна, к.ф.-м.н., доцент
https://orcid.org/0000-0001-5994-8187
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО ПАКЕТУ MAPLE ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ СЛАР ПРЯМИМИ ЧИСЕЛЬНИМИ МЕТОДАМИ.

Брагінець О.В., Воробйова А.І. Використання математичного пакету Maple до розв'язання СЛАР прямими чисельними методами. В роботі розглянуто застосування математичного пакету Maple до розв'язування систем лінійних алгебраїчних рівнянь прямими чисельними методами, таким як методи: Гаусса, LU-факторизації, Холецького, відбиття та прогонки.
Ключові слова: системи лінійних алгебраїчних рівнянь, чисельні методи, прямі методи, Maple.

Brahinets O.V., Vorobyova A.I. Using the mathematical program Maple to solve systems of linear algebraic equations by direct numerical methods. The paper considers the application of mathematical program Maple to solving systems of linear algebraic equations by direct numerical methods, such as Gaussian elimination, LU-factorization, Choletsky, QR decomposition, tridiagonal matrix algorithm.
Keywords: systems of linear algebraic equations, numerical methods, direct methods, Maple.

Постановка проблеми та аналіз досліджень.

Системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) невеликої розмірності, та аналітичні, точні методи їх розв'язання, що добре вивчається в курсі вищої математики, не викликають проблем у студентів комп'ютерного факультету, але завжди виникають питання щодо наближених методів розв'язання та розв'язку СЛАР високої розмірності. Моделювання реальних систем і процесів зазвичай включає складні, великомасштабні математичні проблеми, які можуть не мати аналітичних рішень. Отже, мотивація вивчення способів знаходження наближеного розв'язку та застосування чисельних методів у студентів-комп'ютерників є доволі високою. Особливо приваблює можливість застосування потужних комп'ютерних засобів та математичних пакетів у поєднанні з чисельними методами для вирішення таких задач.

Відомі математичні пакети Maple, MatLab, MathCad, R, Mathematica, за допомогою яких можна ефективно розв'язувати системи лінійних алгебраїчних рівнянь прямими чисельними методами та проводити попередні розрахунки з подальшою реалізацією вже в проєктований комп'ютерній системі. В навчальному посібнику [1] проаналізовані ці пакети та розглядається вивчення чисельних методів з використання пакета R.

При вивченні чисельних методів студентами комп'ютерних спеціальностей доцільним є застосування математичного пакета Maple, оскільки він володіє потужною мовою програмування та має у своєму арсеналі понад трьох тисяч різних функцій, що дозволяє розв'язати майже будь-яку задачу як в аналітичному, так і в чисельному вигляді. Основи роботи в середовищі цього пакета та використання його до вивчення вищої математики можна знайти в [2-4].

Maple має потужну довідкову систему з сотнями прикладів, тому може широко використовуватися при вирішенні різноманітних завдань, починаючи від студента і закінчуючи науковими співробітниками.

Велика кількість прикладних задач зводиться до необхідності розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР). Це одна з найпоширеніших задач обчислювальної математики. Опис методів (аналітичних та чисельних) розв'язання СЛАР можна знайти в багатьох посібниках (див., наприклад [1, 5, 6]).

Метою роботи є показати застосування математичного пакета Maple до розв'язання СЛАР прямими чисельними методами таким, як метод Гаусса, Холецького, прогонки, LU-факторизації, відбиття.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Розглянемо систему лінійних алгебраїчних рівнянь виду

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \cdots + a_{1n}x_n = b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \cdots + a_{2n}x_n = b_2, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots, \\ a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + \cdots + a_{nn}x_n = b_n, \end{cases} \quad (1)$$

де $a_{ij} \in R^1, i = \overline{1,n}, j = \overline{1,n}$; $b_i \in R^1, i = \overline{1,n}$ – задані числа; $x_j \in R^1, j = \overline{1,n}$ – невідомі.

Введемо позначення:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix},$$

де A – матриця розмірності $n \times n$; B – вектор-стовпець розмірності n ($B \in R^n$); X – вектор-стовпець розмірності n ($X \in R^n$), то систему (1) можна записати в матричному вигляді:

$$AX = B. \qquad (2)$$

Чисельні методи розв'язання СЛАР (1) діляться на прямі та ітераційні. В цій статті розглядаються прямі методи.

Метод Гаусса. Метод виключення невідомих, або метод Гаусса є найбільш відомим з класичних точних методів розв'язання СЛАР. Він складається з двох етапів, які умовно називають прямим та зворотним ходом. Прямий хід полягає в послідовному виключенні невідомих, що перетворює систему рівнянь (1) в систему рівнянь з трикутною матрицею. З трикутної основної матриці системи обчислюємо значення невідомих $x_j \in R^1, j = \overline{1,n}$, починаючи з x_n. В цьому суть зворотного ходу метода Гаусса. Розглянемо реалізацію цього метода в Maple.

Нехай треба розв'язати СЛАР, задану наступними матрицями:

$$A = \begin{pmatrix} -27 & -93 & -74 & -45 & 67 \\ 59 & 79 & -66 & 45 & -90 \\ 73 & -82 & -1 & 9 & -79 \\ -39 & 91 & -95 & 80 & 52 \\ -23 & -64 & -10 & 61 & -33 \end{pmatrix}, \; B = \begin{pmatrix} 43 \\ 84 \\ -7 \\ 38 \\ 59 \end{pmatrix}.$$

Спочатку підключаємо пакет **LinearAlgebra** та вводимо наші дані

```
> with(LinearAlgebra):
  A := Matrix(5, 5, [[-27,-93,-74,-45, 67], [59, 79,-66, 45,-90], [73,-82,-1, 9,-79], [
       -39, 91,-95, 80, 52], [-23,-64,-10, 61,-33]]);
  B := Vector([43, 84,-7, 38, 59]);
```

$$A := \begin{bmatrix} -27 & -93 & -74 & -45 & 67 \\ 59 & 79 & -66 & 45 & -90 \\ 73 & -82 & -1 & 9 & -79 \\ -39 & 91 & -95 & 80 & 52 \\ -23 & -64 & -10 & 61 & -33 \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} 43 \\ 84 \\ -7 \\ 38 \\ 59 \end{bmatrix}$$

Прямий хід метода Гаусса виконується за допомогою команди GaussianElimination (зведення розширеної матриці системи до трикутного вигляду):

```
> G := GaussianElimination(⟨A|B⟩, 'method' = 'FractionFree');
```

$$G := \begin{bmatrix} -27 & -93 & -74 & -45 & 67 & 43 \\ 0 & 3354 & 6148 & 1440 & -1523 & -4805 \\ 0 & 0 & 1375614 & 102276 & -165231 & -1235745 \\ 0 & 0 & 0 & 107409906 & 12873207 & -84821967 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -9778693377 & 14883107409 \end{bmatrix}$$

Зворотний хід (команда BackwardSubstitute) видає шуканий вектор-стовпець X:

```
> BackwardSubstitute(G) : X := evalf(%);
```

$$X := \begin{bmatrix} -1.641864746 \\ 0.03599665338 \\ -1.035984110 \\ -0.6072906356 \\ -1.521993464 \end{bmatrix}$$

Метод Гаусса-Жордана. В методі Гаусса-Жордана при виконанні прямого ходу, проводимо виключення невідомих до тих пір поки в кожному рядку та стовпчику основної матриці системи, не залишиться тільки один ненульовий елемент, або зводимо основну матрицю СЛАР зводимо до діагонального вигляду з одиницями на діагоналі, при цьому розв'язок системи виявляється на місці вектора B. Зрозуміло з логічної точки зору кращою модифікацією методу Гаусса є саме метод Гаусса-Жордана.

В Maple цей метод реалізується командами ReducedRowEchelonForm та BackwardSubstitute:

```
> sol1 := ReducedRowEchelonForm(⟨A|B⟩); BackwardSubstitute(sol1) : X := evalf(%);
```

$$sol1 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{5351763974}{3259564459} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \frac{117333412}{3259564459} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -\frac{3376856984}{3259564459} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -\frac{1979502972}{3259564459} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -\frac{4961035803}{3259564459} \end{bmatrix}$$

$$X := \begin{bmatrix} -1.641864746 \\ 0.03599665338 \\ -1.035984110 \\ -0.6072906356 \\ -1.521993464 \end{bmatrix}$$

Метод LU-факторизації. Розглянемо метод LU-факторизації, який ще називають LU-розкладанням або LU-декомпозицією. Суть цього метода полягає в представленні матриці A у вигляді добутку двох матриць L та U, які є відповідно нижньою (лівою) та верхньою (правою) трикутними матрицями. Тоді систему (2) можна записати еквівалентним матричним рівнянням

$$LUX = B. \tag{3}$$

Вводимо вектор допоміжних змінних $Y = (y_1; y_2; \dots; y_n)^T$ тоді рівняння (3) можна переписати у матричному вигляді

$$\begin{cases} LY = B, \\ UX = Y. \end{cases} \tag{4}$$

Таким чином, для розв'язання системи (1) необхідно послідовно розв'язати дві системи СЛАР з трикутними матрицями коефіцієнтів.

Розв'яжемо задану систему методом LU-факторизації в Maple. Спочатку знайдемо матриці L та U, для цього використаємо команду LUDecomposition.

```
> LUDecomposition(A) : p, L, U := evalf(%);
```

$$p, L, U := \begin{bmatrix} 1. & 0. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 1. & 0. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 1. & 0. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 1. & 0. \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 1. \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} 1. & 0. & 0. & 0. & 0. \\ -2.185185185 & 1. & 0. & 0. & 0. \\ -2.703703704 & 2.684257603 & 1. & 0. & 0. \\ 1.444444444 & -1.813953488 & -0.9780897839 & 1. & 0. \\ 0.8518518519 & -0.1225402504 & 0.06128172583 & 1.164542533 & 1. \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} -27. & -93. & -74. & -45. & 67. \\ 0. & -124.2222222 & -227.7037037 & -53.33333333 & 56.40740741 \\ 0. & 0. & 410.1413238 & 30.49373882 & -49.26386404 \\ 0. & 0. & 0. & 78.08142837 & 9.358153523 \\ 0. & 0. & 0. & 0. & -91.04088944 \end{bmatrix}$$

Тут p – матриця перестановок. Розв'язуємо систему (4):

> $Y := LinearSolve(L, B);$

$$Y := \begin{bmatrix} 43. \\ 177.962962955000 \\ -368.439177092366 \\ -61.6611688075291 \\ 138.563638757197 \end{bmatrix}$$

> $X := LinearSolve(U, Y);$

$$X := \begin{bmatrix} -1.64186474667955 \\ 0.0359966533068327 \\ -1.03598410964787 \\ -0.607290636106666 \\ -1.52199346479932 \end{bmatrix}$$

Метод відбиття. Наступний прямий метод розв'язування СЛАР, який розглянемо буде метод відбиття. Він полягає в представленні матриці A у вигляді добутку $A = QR$, де Q – ортогональна, а R – права трикутна матриці. Тоді система (2) перепишеться у вигляді

$$QRX = B. \tag{5}$$

Аналогічно до метода LU-факторизації вводимо вектор допоміжних змінних $Y = (y_1; y_2; \dots; y_n)^T$. Тоді рівняння (5) можна переписати у вигляді системи матричних рівняння

$$\begin{cases} QY = B, \\ RX = Y. \end{cases} \tag{6}$$

Розв'яжемо задану систему методом відбиття в Maple. Спочатку знайдемо матриці Q та R, для цього використаємо команду QRDecomposition.

> $QRDecomposition(A) : Q, R := evalf(\%);$

$$Q, R := \left[\begin{array}{l} [-0.2508076522, -0.5162098653, -0.6535946332, -0.4787280232, \\ -0.1194002996], \\ [0.5480611658, 0.4535554091, -0.4606051086, -0.01500880812, -0.5305978882], \\ [0.6781095780, -0.4147424788, -0.2049210559, 0.2427957650, 0.5169271262], \\ [-0.3622777197, 0.4778003140, -0.5480115684, 0.2976890728, 0.5015239285], \\ [-0.2136509629, -0.3570859867, -0.1354535751, 0.7893197376, -0.4306617527]] \end{array}\right.$$

$$, \begin{bmatrix} 107.6522178 & -8.276652521 & 18.26251275 & 0.03715668921 & -131.4882339 \\ 0. & 184.1806098 & -33.14055445 & 56.34853498 & -6.011938087 \\ 0. & 0. & 132.3864958 & -45.26335443 & -10.17425082 \\ 0. & 0. & 0. & 95.01615639 & -60.47256982 \\ 0. & 0. & 0. & 0. & 39.20782901 \end{bmatrix}$$

Розв'язуємо систему (6):

```
> Y := LinearSolve(Q, B);
```

$$Y := \begin{bmatrix} 4.13368168142591 \\ 15.8931662165102 \\ -94.1771515033388 \\ 34.3364340264163 \\ -59.6740594931782 \end{bmatrix}$$

```
> X := LinearSolve(R, Y);
```

$$X := \begin{bmatrix} -1.64186474564924 \\ 0.0359966532740371 \\ -1.03598411000932 \\ -0.607290635475252 \\ -1.52199346405939 \end{bmatrix}$$

Метод Холецького (метод квадратних коренів). Розв'язування диференціальних рівнянь методом скінченних елементів при чисельному розв'язуванні зводиться до лінійної системи рівнянь, основна матриця якої симетрична. Таким чином, виникає потреба розв'язувати СЛАР з основною симетричною матрицею.

Для розв'язання таких систем застосовується метод Холецького, або метод квадратних коренів. Симетричну матрицю A розкладають у добуток $U^T U$, де U – верхня (права) трикутна матриця

При наявності $U^T U$-розкладання розв'язання симетричної системи вигляду (1) зводиться до послідовного розв'язання двох трикутних систем

$$U^T Y = B \quad \text{та} \quad UX = Y. \tag{7}$$

Розглянемо симетричну систему з наступними матрицями (одразу пропишемо їх в Maple):

```
> restar : with(LinearAlgebra) :
  A := Matrix(4, 4, [[688,-245,-382, 56], [-245, 652, 382, 235], [-382, 382, 705, 96], [56,
       235, 96, 611]]);
  B := Vector([-324, 79, 671, 553]);
```

$$A := \begin{bmatrix} 688 & -245 & -382 & 56 \\ -245 & 652 & 382 & 235 \\ -382 & 382 & 705 & 96 \\ 56 & 235 & 96 & 611 \end{bmatrix}$$

$$B := \begin{bmatrix} -324 \\ 79 \\ 671 \\ 553 \end{bmatrix}$$

Знаходимо матрицю U, використовуючи вже відому нам команду LUDecomposition, тільки вказуємо, що цей розклад треба зробити за методом Холецького (Cholesky):

```
> LUDecomposition(A, method = 'Cholesky', output = 'U') : U := evalf(%);
```

$$U := \begin{bmatrix} 26.22975410 & -9.340537435 & -14.56361347 & 2.134979984 \\ 0. & 23.76456102 & 10.35020268 & 10.72781695 \\ 0. & 0. & 19.64114220 & 0.8175666829 \\ 0. & 0. & 0. & 22.15146471 \end{bmatrix}$$

Транспонуємо матрицю U та розв'язуємо послідовно дві трикутні системи (7):

```
> U_T := Transpose(U);
```

$$U\_T := \begin{bmatrix} 26.22975410 & 0. & 0. & 0. \\ -9.340537435 & 23.76456102 & 0. & 0. \\ -14.56361347 & 10.35020268 & 19.64114220 & 0. \\ 2.134979984 & 10.72781695 & 0.8175666829 & 22.15146471 \end{bmatrix}$$

```
> Y := LinearSolve(U_T, B);
```

$$Y := \begin{bmatrix} -12.3523841956261 \\ -1.53076284304739 \\ 25.8105334028139 \\ 25.9437473743647 \end{bmatrix}$$

```
> X := LinearSolve(U, Y);
```

$$X := \begin{bmatrix} -0.271155695565728 \\ -1.14421767796297 \\ 1.26535416452793 \\ 1.17119782885746 \end{bmatrix}$$

Метод прогонки. При розв'язуванні практичних задач часто виникає необхідність розв'язування систем рівнянь, які містять велику кількість нульових елементів в основній матриці. Зазвичай ці матриці мають так звану стрічкову структуру, де ненульові елементи розташовані на головній діагоналі та на кількох сусідніх бічних діагоналях.

Розглянемо найпростіший випадок стрічкових систем, які часто зустрічаються, наприклад, у задачах математичної фізики. А саме, ми будемо шукати розв'язок такої системи, кожне рівняння якої з'єднує три «сусідні» невідомі:

$$b_i x_{i-1} + c_i x_i + d_i x_{i+1} = r_i, \tag{8}$$

де $i = \overline{1,n}$; $b_1 = 0$, $d_n = 0$.

Рівняння вигляду (8) називають триточковими різницевими рівняннями другого порядку, а система таких рівнянь має тридіагональну структуру. Намагаючись позбавитись від ненульових елементів в піддіагональній частині матриці системи, припускають, що існують такі набори чисел δ_i та λ_i $(i = \overline{1,n})$, при яких має місце рівність

$$x_i = \delta_i x_{i+1} + \lambda_i, \tag{9}$$

тобто триточкове рівняння другого порядку (8) перетворюється в двоточкове рівняння першого порядку (9). Після нескладних перетворень у рівності (9) та (8) отримуємо, що:

$$\delta_i = -\frac{d_i}{c_i + b_i \delta_{i-1}}, \qquad \lambda_i = \frac{r_i - b_i \lambda_{i-1}}{c_i + b_i \delta_{i-1}} \tag{10}$$

при всіх $i = \overline{1,n}$.

Такий спосіб розв'язання рівнянь виду (9) називається методом прогонки, який зводиться до знаходження прогоночних коефіцієнтів δ_i та λ_i за формулами (10) та отримання невідомих x_i за формулою (9), причому зазначимо, що при $i = \overline{1,n}$ процес знаходження розв'язків називають пря-

мою прогонкою, а при $i = n, \ldots, 2, 1$ зворотною прогонкою. Зрозуміло, що метод прогонки реалізується після виконання кількості операцій, яка пропорційна n.

Для успішного застосування методу прогону необхідно, щоб у процесі розрахунку не виникало ситуацій з діленням на нуль, а при великих розмірах систем не було швидкого зростання помилок округлення. Тобто прогонка є коректною, якщо знаменник прогоночних коефіцієнтів (10) не набуває нульового значення, та стійкою, якщо $|\delta_i| < 1$ при всіх $i = \overline{1,n}$.

Розглянемо як метод прогонки можна реалізувати в Maple.

```
> restart : with(LinearAlgebra) : A := Matrix(5) :
  A[1, 1] := 949 : A[1, 2] := 134 :
  A[1, 3], A[1, 4], A[1, 5],
  A[2, 4], A[2, 5],
  A[3, 1], A[3, 5],
  A[4, 1], A[4, 2],
  A[5, 1], A[5, 2], A[5, 3] := 0$12 :
  A[2, 1] := 53 : A[2, 2] := 994 : A[2, 3] := 15 :
  A[3, 2] := -24 : A[3, 3] := -339 : A[3, 4] := -3 :
  A[4, 3] := 332 : A[4, 4] := -858 : A[4, 5] := -373 :
  A[5, 4] := 41 : A[5, 5] := -128 :
  A;
```

$$\begin{bmatrix} 949 & 134 & 0 & 0 & 0 \\ 53 & 994 & 15 & 0 & 0 \\ 0 & -24 & -339 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 332 & -858 & -373 \\ 0 & 0 & 0 & 41 & -128 \end{bmatrix}$$

```
> B := Vector(5) :
  B[1] := -144 :
  B[2] := 933 : B[3] := 240 : B[4] := 391 : B[5] := 441 :
  B;
```

$$\begin{bmatrix} -144 \\ 933 \\ 240 \\ 391 \\ 441 \end{bmatrix}$$

Знайдемо коефіцієнти триточкових різницевих рівнянь (8):

```
> n := 5 : b[1] := 0;  for i from 2 to n do b[i] := A[i, i - 1]; end do
```

$$b_1 := 0$$

$$b_2 := 53$$

$$b_3 := -24$$

$$b_4 := 332$$

$$b_5 := 41$$

```
> for i from 1 to n do c[i] := A[i, i]; r[i] := B[i]; end do
```

$$c_1 := 949$$

$$r_1 := -144$$

$$c_2 := 994$$

$$r_2 := 933$$

$$c_3 := -339$$

$$r_3 := 240$$

$$c_4 := -858$$

$$r_4 := 391$$

$$c_5 := -128$$

$$r_5 := 441$$

> $d[n] := 0;$ **for** i **from** 1 **to** $n-1$ **do** $d[i] := A[i, i+1];$ **end do**

$$d_5 := 0$$

$$d_1 := 134$$

$$d_2 := 15$$

$$d_3 := -3$$

$$d_4 := -373$$

Прогоночні коефіцієнти (пряма прогонка):

>
$\delta[1] := evalf\left(-\frac{d[1]}{c[1]}\right);$
$\lambda[1] := evalf\left(\frac{r[1]}{c[1]}\right);$
for i **from** 2 **to** n **do**
$\delta[i] := -\frac{d[i]}{c[i] + b[i]\cdot\delta[i-1]};$
$\lambda[i] := \frac{r[i] - b[i]\cdot\lambda[i-1]}{c[i] + b[i]\cdot\delta[i-1]};$
end do

$$\delta_1 := -0.1412012645$$

$$\lambda_1 := -0.1517386723$$

$$\delta_2 := -0.01520501942$$

$$\lambda_2 := 0.9539042772$$

$$\delta_3 := -0.008859093997$$

$$\lambda_3 := -0.7763333409$$

$$\delta_4 := -0.4332467672$$

$$\lambda_4 := -0.7535272499$$

$$\delta_5 := 0.$$

$$\lambda_5 := -3.237407551$$

Зворотна прогонка (обернений хід):

>
$X := Vector(5):$
$X[n] := \lambda[n];$
for i **from** $n-1$ **by** -1 **to** 1 **do**
$X[i] := \delta[i]\cdot X[i+1] + \lambda[i];$
end do

$$X_5 := -3.237407551$$

$$X_4 := 0.6490691061$$

$$X_3 := -0.7820835051$$

$$X_2 := 0.9657958721$$

$$X_1 := -0.2881102707$$

Виводимо на екран відповідь:

> X;

$$\begin{bmatrix} -0.2881102707 \\ 0.9657958721 \\ -0.7820835051 \\ 0.6490691061 \\ -3.237407551 \end{bmatrix}$$

Перевірка:

> $Multiply(A, X) = B$;

$$\begin{bmatrix} -144.000000032900 \\ 932.999999943800 \\ 239.999999980200 \\ 390.999999796000 \\ 440.999999878100 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -144 \\ 933 \\ 240 \\ 391 \\ 441 \end{bmatrix}$$

Завдяки чітким алгоритмам прямих методів розв'язання СЛАР студентам пропонується написати програми будь-якою мовою програмування, наприклад на С++, та провести аналіз програмної реалізації з розв'язанням в середовищі Maple.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. В статті були розглянуті основні прямі чисельні методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь, до вирішення яких приводить багато прикладних задач. До кожного методу надано короткий алгоритм та показано як вони реалізуються в системі комп'ютерної математики Maple. Надалі планується продовжити серію статей, які будуть присвячені вивченню інших розділів курсу «Чисельні методи» з використанням Maple.

Список бібліографічного опису

1.Задачин В.М., Конюшенко І.Г. (2014) Чисельні методи: навчальний посібник. Х.: Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 180 с.
2.Нікітенко О.М. (2014) Maple: Розв'язання інженерних та наукових задач: Навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 289 с.
3.Михалевич В.М. (2004) Навчально-контролюючий Maple – комплекс з вищої математики. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, № 1, С. 74–78.
4.Воробйова А.І., Курікша О.В. (2009) Симетрійний аналіз диференціальних рівнянь у частинних похідних за допомогою математичного пакету Maple. Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили. Сер.: Комп'ютерні технології, 106, вип. 93, С. 75-79.
5.Андруник В.А., Висоцька В.А., Пасічник В.В., Чирун Л.Б., Чирун Л.В. (2020) Чисельні методи в комп'ютерних науках: навчальний посібник. Львів: Видавництво «Новий світ – 2000», 470 с.
6.Волонтир Л.О, Зелінська О.В., Потапова Н.А., Чіков І.А. (2020) Чисельні методи: Навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 322 с.

References

1.Zadachyn V.M., Konyushenko I.H. (2014). Numerical methods: a training manual. Kharkiv: Vyd. KHNUE im. S. Kuznetsya, 180 p.
2.Nikitenko O.M. (2014). Maple: Solving engineering and scientific problems: a training manual. Kharkiv: NURE, 289 p.
3.Mykhalevych, V. M. (2004). Educational and control Maple – a complex of higher mathematics. Information technology and computer engineering, No 1, pp. 74-78.
4.Vorobyova A.I., Kuriksha O.V. (2009) Symmetric analysis of partial differential equations using the Maple mathematical package. Scientific works of the Petro Mohyla Black Sea State University. Ser .: Computer Technologies, 106, vol. 93, pp. 75-79.
5.Andrunyk V.A., Vysotska V.A., Pasichnyk V.V., Chyrun L.B., Chyrun L.V. (2020). Numerical Methods in Computer Science: Textbook - Lviv: Vydavnytstvo «Novyy svit – 2000», 470 p.
6.Volontyr L.O., Zelinska O.V., Potapova N.A., Chikov I.A. (2020). Numerical methods: Textbook. - Vinnytsya: VNAU, 322 p.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-10
УДК 510.2:37.018.43(045)
Гулівата Інна Олександрівна, к. пед. н., доцент
https://orcid.org/0000-0003-4752-535X
Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету, м. Вінниця, Україна.

ФОРМУВАННЯ ЗАГАЛЬНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ СТУДЕНТІВ ПІД ЧАС ВИВЧЕННЯ ЛОГІКИ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Гулівата І.О. Формування загальної навчальної компетентності студентів під час вивчення логіки в умовах дистанційного навчання. Запропонована методика формування загальної навчальної компетентності під час вивчення логіки з використанням інформаційно-комунікаційних технологій, яка зорієнтована на впровадження компетентнісного підходу у навчанні здобувачів вищої освіти.
Ключові слова: загальна навчальна компетентність, формування загальної навчальної компетентності, логіка, поняття, дистанційне навчання.

Hulivata I.O. Formation of general educational competence of students during the study of Logic in distance learning. The method of formation of the general educational competence during studying of Logic with the use of information and communication technologies which is focused on the introduction of the competence, oriented approach is offered in training of applicants for Higher education.
Key words: general educational competence, formation of general educational competence, logic, concept, distance learning.

Постановка наукової проблеми. Стрімкий розвиток інноваційних технологій, темпів економічного зростання, модернізація, автоматизація, цифровізація виробничих процесів висувають нові вимоги до сучасного фахівця. Серед таких вимог є здатність критично мислити, синтезувати і систематизувати інформацію, проектувати, впроваджувати, активно й усвідомлено використовувати нові методи та технології в умовах мінливих умов виробництва тощо. З метою подолання вказаних викликів відбувся історичний перехід від традиційної освітньої парадигми, що базувалася на знаннєвому підході, до компетентнісної. Модернізація змісту сучасної освіти у цьому напрямку спрямована на досягнення якісних змін у підготовці здобувачів вищої освіти, що відображено в «Законі про вищу освіту» та реалізовано через систему стандартів вищої освіти, які передбачають формування загальних компетенцій.

Відповідно до Порядку прийому для здобуття вищої освіти в 2022 році за окремими спеціальностями передбачено складання тесту загальної навчальної компетентності (ТЗНК) за єдиною програмою, яка затверджена наказом Міністерством освіти і науки України № 158 від 11.02.2022 Метою випробування є оцінювання рівня сформованості загальної навчальної компетентності (ЗНК) претендента на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти [1, с.2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Засади формування тесту ЗНК викладені у роботі О. Ляшенка, С. Ракова [2], опис вербально-комунікативного складника у тесті загальної навчальної компетентності здійснено С.В. Ломаковичем та В.М. Терещенко [3], обґрунтування логіко-математичної складової ТЗНК досліджено у праці В.П. Гороха [4]. У роботі [5] здійснено логіко-методичний аналіз завдань тесту загальної навчальної правничої компетентності для вступників у магістратуру зі спеціальностей «Право» та «Міжнародне право».

Методика використання ІКТ в умовах цифровізації освітнього процесу висвітлена у працях багатьох вчених, як в Україні, так і за кордоном. Дослідження В.Ю. Бикова, В.Ф. Заболотного, В.В. Лапінського, Н.В. Морзе, С.А. Ракова, О.В. Співаковського спрямовані на доведення ефективності використання інформаційних технологій у навчальному процесі [6]. Стратегія організації та впровадження дистанційного навчання в освітній процес закладів вищої освіти, створення електронних навчальних курсів та електронних тестів відображена у роботах В.В. Бондаренка, В.В. Вишнівського, В.М. Кухаренка [7] та ін.

Дослідження [1-5] свідчать про те, що високий рівень ЗНК сприяє задоволенню освітніх і професійних потреб студентів, підвищує їх конкурентоспроможність і затребуваність на ринку праці.

Таким чином актуалізується проблема формування ЗНК як частини освітнього результату здобувачів вищої освіти. Слід відзначити, що особливе місце серед навчальних дисциплін у вирішенні поставленої проблеми займає логіка. Оскільки це наука, яка вивчає мислення людини втілене в мові. В умовах пандемії та військового стану всі заклади освіти України переорієнтувалися на дистанційну форму навчання, тому методичний підхід до вивчення будь якого навчального матеріалу має передбачати інформаційно-комунікаційну складову за замовчуванням.

Метою статті є методика формування загальної навчальної компетентності здобувачів вищої освіти під час вивчення логіки в умовах дистанційного навчання.

Виклад основного матеріалу дослідження. У програмі ТЗНК під загальною навчальною компетентністю розуміють здатність особистості адекватно сприймати та обробляти інформацію, логічно мислити, осягати сутність зв'язків між явищами та об'єктами дійсності [1, с.3]. Фактично – це здатність успішно діяти на основі практичного досвіду, умінь та знань під час вирішення завдань, загальних для багатьох видів професійної діяльності. Запропонований тест надає можливість оцінити здатність особистості самостійно застосовувати компетентності для вирішення наукових та практичних задач, які є загальними для усіх спеціальностей і набуваються протягом усього життя.

Впровадження компетентнісного підходу в освіті передбачає формування наступних компонент: комунікативна (спілкування українською та іноземною мовами), навчальна, соціокультурна, які реалізовані через інтегральну та загальні компетентності у стандартах вищої освіти усіх спеціальностей. Вищезгадані компоненти об'єднані у два складники ЗНК: 1) вербально-комунікативний, 2) логіко-аналітичний [1].

Компетентнісний підхід обрано концептуальною основою ТЗНК не випадково. Саме він зараз визначає дидактичні основи побудови змісту освіти, є базисом у педагогічному проектуванні результатів навчального процесу, визначає особистісний статус людини в сучасних умовах її життєдіяльності [2].

Із 2017 р. впроваджено нове для вітчизняної системи освіти вступне випробування для відбору на навчання здобувачів вищої освіти за ступенем магістра зі спеціальностей 081 Право та 293 Міжнародне право у вигляді тесту із загальної навчальної правничої компетентності (ТЗНПК). Його послідовником з 2022 року став ТЗНК, який є обов'язковим для вступу на магістратуру для більшості спеціальностей.

У дослідженнях [5] автори наголошують на тому, що окремі завдання ТЗНПК вимагають володіння логічними навичками та знанням логіки як науки.

Розглянемо добірку вправ, які сприятимуть формуванню вербально-комунікативного та логіко-аналітичного складників ЗНК під час вивчення теми «Поняття» курсу логіки. Особливо корисним стануть кейси взяті з реального світу і поточних подій, що допомагає розвивати і застосовувати на практиці навички критичного, математичного та наукового мислення.

Формування вербально-комунікативної складової передбачає виконання завдань наступного типу: встановлення аналогії між парами слів чи поняттями; встановлення аналогії між парами слів (понять) на основі тексту; знаходження спільного (третього) для двох понять; змістове відновлення речень із використанням ланцюжків із різних слів; змістове відновлення речень із використанням ланцюжків із тих самих слів; пошук логічного закінчення речень; редагування речень і текстів; завдання на екстраполяцію, читання і аналіз текстів тощо. Розглянемо завдання на змістове відновлення речень із використанням ланцюжків із різних слів із демонстраційного варіанту ТЗНК 2022 року.

Завдання 1. Відновити речення.

Децентралізація як (a)_____ тренд останніх десятиліть, імовірно, пов'язана із завершенням холодної війни й утомою від (b)_____ управління по обидва боки холодної завіси, що особливо помітно в країнах Східної та Центральної Європи, де відповідні реформи стали реакцією на (c)_____ політики комуністичного режиму.

a) міжнародний, інтернаціональний, світовий, всенародний
b) центрального, централізованого, центрованого, центристського
c) загибель, провал, регрес, смерть [8].

Оскільки визначення або дефініція – це операція, за допомогою якої розкривається зміст поняття шляхом перерахування його родових та видових ознак, доцільно пропонувати конкретні

приклади понять. Наведення прикладів з повсякденного життя під час вивчення дисципліни допомагає більш критично відноситися до оточуючих нас речей реального світу.

Наприклад, поняття крадіжка та грабіж мають спільну родову ознаку: злочини проти індивідуальної власності громадян. Однак, їх видові ознаки різні: крадіжка – таємне викрадання індивідуальної власності громадян (ст. 140 КК), грабіж – відкрите викрадання індивідуальної власності громадян (ст. 141 КК).

В умовах навчального процесу для забезпечення оберненого зв'язку та повного залучення аудиторії можна застосувати онлайн опитування засобами доступних сервісів. Прикладом такого опитування може стати завдання організоване засобами Menti.com (Рис. 1).

Завдання 1. Виберіть ознаки поняття «студент»:

1) людина, пропускає пари, навчається у ВТЕІ;

2) людина, навчається, навчається у закладі освіти;

3) людина, навчається, має диплом.

Рисунок 1 – Організація опитування засобами Menti.com

За результатами голосування аудиторії викладач може здійснювати обґрунтування відповідей, при потребі коригувати міркування студентів шляхом обговорення результатів опитування, наведення контр прикладів тощо. Позитивним є те, що опитування анонімне. Внаслідок цього студенти активно долучаються до обговорення шляхом голосування і не бояться висловлювати свою думку, що в цілому дає викладачеві загальне розуміння сприйняття навчального матеріалу аудиторією, та сприяє активізації навчальної діяльності в умовах дистанційного навчання.

З метою демонстрації використання здобувачами освіти наукових понять в письмових роботах, ефективним є написання есе. Це допоможе студентам встановлювати зв'язки наукових понять із науковими теоріями та здатність аргументувати власні думки у різних ситуаціях повсякденного життя. Крім того, міркування викладені у наукових текстах формують критичне, логічне та аналітичне мислення.

Завдання 3. Написати есе на одну з тем:

1. Проблема дефініції понять: ядерна шкода, право тощо.
2. Аналіз визначення понять «Академічна доброчесність», «Студентоцентризм».
3. Аналіз професійних понять за вибором студента.

Оскільки за будь-яким поняттям закріплюються характеристики обсягу та змісту, доцільними будуть наступні завдання.

Завдання 4. Визначити обсяг поняття «людина» (множина всіх мислимих людей (в минулому, теперішньому і майбутньому); множина живих людей; множина людей в аудиторії); «крадіжка» (всі злочини, яким притаманне таємне викрадення індивідуального майна громадян; всі злочини, яким притаманне відкрите викрадання індивідуального майна громадян; всі злочини, яким притаманне викрадання індивідуального майна громадян).

Завдання 5. Визначити зміст поняття «наклеп» (поширення завідомо неправдивих відомостей; ганьблять честь і гідність; підривають репутацію); «крадіжка» (таємне викрадення індивідуального майна громадян; відкрите викрадання індивідуального майна громадян).

Завдання 6.

a) Яке поняття ширше за обсягом: «злочин» чи «злочин проти особистості»?

b) Яке поняття ширше за змістом: «генеральний прокурор» чи «прокурор»?

Досить зручним прийомом візуалізації відношень понять за обсягом є діаграми Ейлера, у яких колами (замкненими областями) позначаються обсяги понять.

Завдання 7. Визначити відношення між поняттями за обсягом використовуючи круги Ейлера:

a) юрист, директор, адвокат, суддя.

b) покарання, ув'язнення, смертна кара, зброя.

Завдання 8. Здійснити узагальнення та обмеження поняття.

a) виберіть правильне, на вашу думку, узагальнення поняття «Звільнення з посади судді М за хабарництво» (звільнення, хабарництво, суддя);

b) виберіть правильне, на вашу думку, обмеження поняття «Викрадення майна» (викрадення майна громадянина М, викрадення громадянина М, майно громадянина М).

Завдання 9. У наступному тексті визначте в якому відношенні знаходяться поняття «цивільний процес» і «цивільне судочинство»: протиріччя, підпорядкування, взаємовиключення, перетинання, тотожності?

Текст: За такого підходу очевидно, що поняття судочинства та цивільного процесу не збігаються і не є тотожними. Цивільний процес є більш узагальнюючим поняттям, яке охоплює і цивільне судочинство, й інші юрисдикційні процедури розгляду і вирішення цивільних справ з метою захисту суб'єктивних прав та інтересів учасників цивілістичних правовідносин [9, с. 14].

З метою кращого засвоєння знань, формування ЗНК здобувачів вищої освіти під час розв'язування задач логіко-аналітичної складової пропонуємо застосовувати демонстраційні комп'ютерні моделі (ДКМ), які передбачають поетапність динамічних демонстрацій об'єктів у вигляді окремих слайдів, враховують особливості сприйняття навчального матеріалу та види діяльності, що сприяють розвитку логічного та аналітичного мислення.

Проілюструємо застосування ДКМ під час пояснення завдання 27 ТЗНПК 2019 року.

Завдання 10. Слідчий: Провадження охоплює чотири епізоди правопорушень: X, Y, Z, V. За час слідства було встановлено коло підозрюваних, кожен із яких був учасником принаймні одного із цих епізодів, і склад учасників кожного із цих епізодів. У результаті слідчих дій було також установлено, що кожен підозрюваний, який був учасником принаймні одного епізодів Y, Z, V, був ще й учасником епізоду X. Крім цього, було з'ясовано, що кожен підозрюваний, який не брав участі в епізоді Z, не був учасником епізоду V і що жоден з учасників епізоду Y не був учасником епізоду Z.

А Сума кількостей учасників епізоду Y, епізоду Z та епізоду V більша кількості учасників епізоду X.

Б Немає учасників епізоду X, які одночасно не були б учасниками щонайменше одного з епізодів Y, Z, V.

В Деякі підозрювані не були учасниками ні епізоду Y, ні епізоду V.

Г Кількість учасників епізоду V не менша кількості учасників епізоду Y.

Д Жоден з учасників епізоду V не був учасником епізоду Y [10].

Аналіз умови задачі здійснюємо на окремих слайдах, де поетапно візуалізовано вхідні дані. При цьому умова не зникає з поля зору, об'єкти не змінюють свого положення та з'являються у відповідності до умови задачі.

На першому етапі виділяємо в умові задачі фрагмент для візуалізації за допомогою кругів Ейлера (Рис. 2). Учасників епізодів X, Y, Z, V позначаємо кругами, враховуючи при цьому підпорядкування множин відповідних епізодів. Оскільки в умові задачі сказано, що кожен підозрюваний, який не брав участі в епізоді Z, не був учасником епізоду V, можемо стверджувати, що множина учасників епізоду V є підмножиною Z.

Рисунок 2 – ДКМ задачі: крок 1

Таким же чином здійснюємо візуалізацію усіх інших частин умови задачі: якщо жоден учасник епізоду Y не був учасником епізоду Z, то ці множини не перетинаються, а тому і круги, що їх зображають теж не перетинаються; з останньої частини умови маємо, що всі учасники епізодів Y, Z, V були ще й учасниками X, з чого слідує, що Y, Z, V підпорядковуються множині X (Рис. 3)

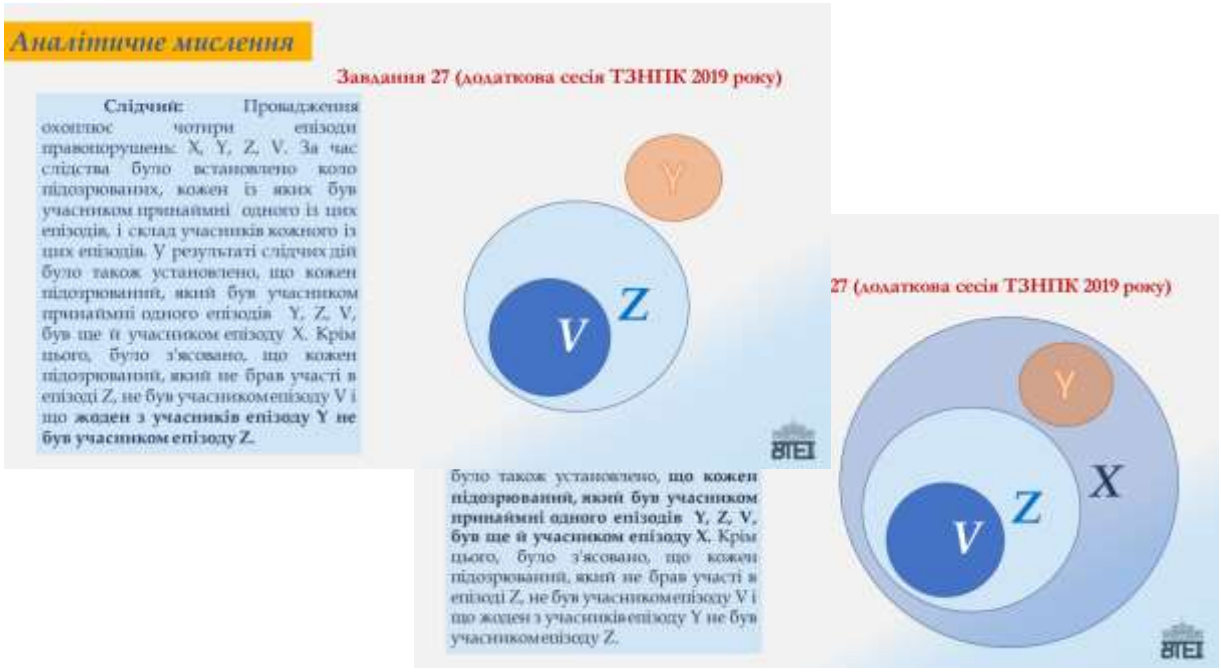


Рисунок 3 – ДКМ задачі: кроки 2,3.

На останньому слайді ДКМ переходимо до аналізу варіантів відповідей з врахуванням отриманої діаграми. Легко бачити, що правильна відповідь Д, оскільки на діаграмі видно, що множини V та Y не перетинаються (Рис. 4).

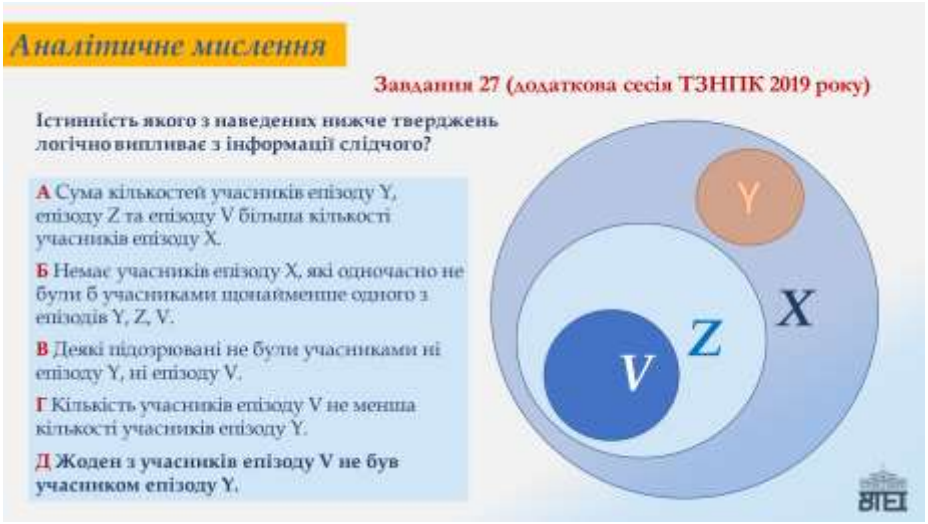


Рисунок 4 – ДКМ задачі: аналіз варіантів відповідей

Таким чином ДКМ забезпечує використання основних дидактичних принципів навчання – доступність та послідовність.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Запропонована методика формування ЗНК з використанням ІКТ під час вивчення логіки надає можливість: підвищити ефективність сприйняття навчального матеріалу; яскраво і наочно ілюструвати думку викладача послідовною появою відповідних об'єктів під час пояснення, що сприяє кращому усвідомленню матеріалу; розвивати, інтерпретувати та висловлювати ідеї та інформацію за допомогою письмової, усної та візуальної комунікації, яка адаптована до мети, структури, аудиторії та засобу; засвоювати, аналізувати та подавати сукупність інформації у письмовій формі; складати ефективні письмові матеріали академічного та професійного контекстів.

Використання онлайн опитувань та демонстраційних комп'ютерних моделей в умовах дистанційного навчання надає можливість якісного відображення змістового контенту дисципліни, спрямованого на формування загальних начальних компетенцій студентів. Структура розроблених навчально-методичних матеріалів містить організаційно-методичний, інформаційно-змістовний, логіко-аналітичний, комунікативний та діагностичний компоненти із різним змістовим наповненням, що забезпечує безперервність та повноту процесу підготовки в ході вивчення курсу. Потребує розробки методична система формування загальної навчальної компетентності здобувачів вищої освіти з дисциплін загального циклу освітніх програм в умовах дистанційного навчання.

Список бібліографічного опису

1. Наказ Міністерства освіти і науки України. URL:https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2022/Prohramy-YEFVV/Zatverdzheni.prohramy.YEFVV/11.02/Pro.zatv.Prohr.predm.TZNK-nalaz-158-11.02.2022.pdf (Дата звернення 19.06.2022).
2. Ляшенко О. І., Раков С. А. Тест загальної навчальної компетентності: основні засади і результати пілотування. *Педагогіка і психологія*. 2012. № 2. С. 27–35.
3. Ломакович С.В., Терещенко В.М. Вербально-комунікативна складова загальної начальної компетентності та її вимірювання. *Педагогіка і психологія.* 2012. №2. С. 40-47.
4. Горох В.П. Логіко-математична складова тесту загальної начальної компетентності. *Педагогіка і психологія.* 2012. №2. С. 48-52.
5. Качурова С. В., Невельська-Гордєєва О. П. Логіко-методичний аналіз завдань ТЗНПК. *Вісник Національної академії правових наук України*. 2017. № 4 (91). С. 128-142.
6. Гулівата І.О., Ніколіна І.І. Сучасні освітні технології: особливості представлення навчального контенту. *Фізико-математична освіта*, 2019. №3(21). С. 48-52. URL:http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2019-v3-21/2019_3-21-Hulivata-Nikolina_FMO.pdf (дата звернення: 01.04.2022).
7. Вишнівський В. В., Гніденко М. П., Гайдур Г. І., Ільїн О. О. *Організація дистанційного навчання. Створення електронних навчальних курсів та електронних тестів* : навч. посіб. Київ : ДУТ, 2014. 140 с.
8. Сайт «ЗНО-ОНЛАЙН». URL: https://zno.osvita.ua/master/tznpk/508/ (Дата звернення 19.06.2022).
9. Войтенко Д.О., Качурова С.В., Невельська-Гордєєва О.П. Логічне знання для вирішення ТЗНПК: навч. посіб. / за ред. О. П. Невельської-Гордєєвої. Харків : Право, 2020. 202 с.
10. Сайт «ЗНО-ОНЛАЙН». URL: https://zno.osvita.ua/master/tznpk/378/ (Дата звернення 19.06.2022).

References

1. Nakaz Ministerstva osvity i nauky Ukrainy [Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine]. (n.d.). mon.gov.ua Retrieved from https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2022/Prohramy-YEFVV/Zatverdzheni.prohramy.YEFVV/11.02/Pro.zatv.Prohr.predm.TZNK-nalaz-158-11.02.2022.pdf [in Ukrainian].
2. Liashenko O. I., Rakov S. A. (2012). Test zahalnoi navchalnoi kompetentnosti: osnovni zasady i rezultaty pilotuvannia [Test of general educational competence: basic principles and results of piloting]. *Pedahohika i psykholohiia – Pedagogy and Psychology*, 2. 27–35 [in Ukraine].
3. Lomakovych S.V., Tereshchenko V.M. (2012). Verbalno-komunikatyvna skladova zahalnoi nachalnoi kompetentnosti ta yii vymiriuvannia [Verbal-communicative component of general initial competence and its measurement]. *Pedahohika i psykholohiia – Pedagogy and Psychology*, 2. 40–47 [in Ukraine].
4. Horokh V.P. (2012). Lohiko-matematychna skladova testu zahalnoi nachalnoi kompetentnosti [Logical and mathematical component of the test of general initial competence]. *Pedahohika i psykholohiia – Pedagogy and Psychology*, 2. 48-52 [in Ukraine].
5. Kachurova S. V., Nevelska-Hordieieva O. P. (2017). Lohiko-metodychnyi analiz zavdan TZNPK [Logical and methodological analysis of TZNPK tasks]. *Visnyk Natsionalnoi akademii pravovykh nauk Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Legal Sciences of Ukraine*, 4. 128-142 [in Ukraine].
6. Hulivata I.O., Nikolina I.I. (2019). Suchasni osvitni tekhnolohii: osoblyvosti predstavlennia navchalnoho kontentu [Modern educational technologies: features of educational content presentation]. *Fizyko-matematychna osvita - Physical and mathematical education*, 3(21). 48-52. Retrieved from http://fmo-journal.fizmatsspu.sumy.ua/journals/2019-v3-21/2019_3-21-Hulivata-Nikolina_FMO.pdf [in Ukrainian].
7. Vyshnivskyi V. V., Hnidenko M. P., Haidur H. I. & Ilin O. O. (2014) *Orhanizatsiia dystantsiinoho navchannia. Stvorennia elektronnykh navchalnykh kursiv ta elektronnykh testiv [Organization of distance learning. Creation of electronic training courses and electronic tests]*. Kyiv: DUT [in Ukraine].
8. Sait «ZNO-ONLAIN» [ZNO-ONLINE website]. *zno.osvita.ua*. Retrieved from https://zno.osvita.ua/master/tznpk/508/ [in Ukrainian].
9. Voitenko D.O., Kachurova S.V. & Nevelska-Hordieieva O.P. (2020). Lohichne znannia dlia vyrishennia TZNPK: navch. posib. [Logical knowledge for solving TZNPK]. Kharkiv: Pravo [in Ukraine].
10. Sait «ZNO-ONLAIN» [ZNO-ONLINE website]. *zno.osvita.ua*. Retrieved from https://zno.osvita.ua/master/tznpk/378/ [in Ukrainian].

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-11
УДК 004.4`4
Іваненко Антон Романович, аспірант,
https://orcid.org/0000-0002-9846-537X
Марченко Олександр Іванович, к.т.н., доцент,
https://orcid.org/0000-0002-4537-3420
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

СПОСІБ КОМПІЛЯЦІЇ ЗАМИКАННЯ ВКЛАДЕНИХ ФУНКЦІЙ МОВИ TYPESCRIPT У ПРОМІЖНУ МОВУ CIL ПЛАТФОРМИ .NET

Іваненко А.Р., Марченко О.І. Спосіб компіляції замикання вкладених функцій мови TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET. У даній статті запропонований спосіб, який дозволяє ефективно компілювати замикання вкладених функцій з захопленими змінними у проміжну мову CIL платформи .NET. Розглянутий спосіб базується на ідеї зміни проміжного представлення програми шляхом створення класу, який зберігає значення замкнених змінних, і передається останнім аргументом у вкладену функцію. Це дозволяє зв'язати виклик функції з її захопленими змінними. Генерація CIL інструкцій відбувається вже для перетвореної програми. Результатом роботи способу є згенерований код, який демонструє кращу швидкодію, ніж код, що генерується існуючим аналогом.
Ключові слова: транслятор, проміжне представлення програми, вкладена функція, замикання, CIL, CLR, .NET, TypeScript.

Ivanenko A.R., Marchenko O.I. Compilation the closure of TypeScript nested function into Common Intermediate Language of .NET platform. This article proposes a method that allows you efficiently compile the closure of nested functions with captured variables into the Common Intermediate Language of the .NET platform. The considered method is based on the idea of transforming the intermediate representation of the program by creating a structure that stores the values of closed variables and passes them to the last argument in the nested function. This allows you to associate a function call with its captured variables. CIL instructions are generated for the converted program. The result of the method is the generated code, which shows better performance than the code generated by the existing analog.
Keywords: translator, intermediate representation of the program, nested function, closure, CIL, CLR, .NET, TypeScript.

Постановка наукової проблеми.

Мова програмування JavaScript та типізована її версія TypeScript дозволяють створювати програми не тільки в парадигмі об'єктно-орієнтовно програмування, а і у функціональній також. Однією з головних особливостей функціонального програмування є можливість створення замикання за допомогою вкладених функцій. Завдяки наявності замикання, наприклад, можливо реалізувати каррінг функцій, що користується значною популярністю під час розробки програмного забезпечення на цих мовах програмування.

Варто зазначити, що дані мови є інтерпретуючими, тобто такими, трансляція та виконання програм яких відбувається інтерпретатором. Реалізація замикання при такому підході не викликає значних складнощів. Але зовсім інша річ реалізувати замикання під час трансляції у мову нижчого рівня не інтерпретатором, а компілятором, що є значно важчим.

Отже, при розробці компілятора мови програмування TypeScript у проміжну мову CIL віртуальної машини .NET постає задача розробити ефективний спосіб компіляції замикання вкладених функцій у відповідні інструкції проміжної мови CIL.

Аналіз досліджень.

На жаль, досить незначна кількість статей розкриває способи трансляції різних мов програмування у проміжну мову CIL платформи .NET. Серед них можна виділити опис методів трансляції байт-коду віртуальної машини Java [1] від корейських дослідників та трансляції мови програмування Scheme [2] від французьких вчених, які було розглянуто і проаналізовано у попередній статті [3], яка описує спосіб трансляції конкатенації рядкових виразів мови TypeScript.

Стаття [2] наводить такі три ідеї, на основі яких можна виконати трансляцію замикання вкладених функції:

1) використання делегатів;
2) використання додаткового класу;
3) використання вказівників на функції.

Варто наголосити, що дана стаття не розкриває детальний спосіб, як саме можливо реалізувати компіляцію замикання з використанням додаткового класу для збереження захоплених змінних, що дозволяє детально дослідити цей спосіб і викласти отримані результати у цій статті.

Метою даної статті є розробка способу компіляції замикання вкладених функцій мови програмування TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET та порівняльний аналіз швидкодії згенерованого за розробленим способом коду з результатом роботи обраного аналогу попередніх досліджень [3-4] – компілятором JScript.

Термінологія.

Вкладена функція – функція, яка визначена в контексті іншої функції.

Замикання – це доступ з вкладеної функції до змінних зовнішньої функції, у якій вона оголошена.

Захоплена змінна – змінна зовнішньої функції, яка використовується у вкладеній функції.

Проміжне представлення програми – дерево розбору, яке не містить інформацію про синтаксис та токени, а містить лише необхідну частину для виконання генерації коду.

Тип-значення – це тип, змінна (екземпляр) якого містить значення цього типу, яке зберігається у стеку [5]. Наприклад, це типи int та bool.

Тип-посилання – це тип, змінна (екземпляр) якого містить у якості свого значення посилання (вказівник) на змінну (екземпляр) цього типу, що вже містить значення цього типу, яке зберігається у кучі. Саме ж посилання (тобто адреса змінної) зберігається у стеку [5]. Наприклад, це тип string.

Ловерінг – модифікація проміжного представлення програми з метою реалізації одних конструкцій мови програмування через використання інших.

Каррінг – метод обчислення функції від багатьох аргументів перетворенням її в послідовність функцій одного аргумента[7].

Запропонований спосіб трансляції.

Розглянемо вхідну програму, записану мовою програмування TypeScript, яка містить замикання і яку потрібно транслювати в CIL (рисунок 1):

```
function main(): number {
    let a = 0;
    function test(t: number): void {
        a = t;
    }
    test(1);
    return 0;
}
```

Рисунок 1 – Вхідна програма на мові TypeScript, яка містить замикання.

Основною проблемою є те, що мова програмування CIL не підтримує вкладені функції, таким чином функція test повинна бути переміщена на вищий рівень з новим іменем. Але ускладнює таке перетворення наявність замикання (змінна a, яка використовується в контексті вкладеної функції). Для того щоб виконати таке перетворення, необхідно передати цю змінну у вкладену функцію під час виклику, але таким чином, щоб функція могла змінювати значення змінної і в контексті зовнішньої функції. Для цього необхідно, щоб незалежно від того, чи є змінна типом-значенням, чи типом-посиланням, її значення зберігалось у кучі, а внутрішня функція мала можливість змінити це значення за переданим посиланням. Якщо значення змінної буде зберігатись у стеці, то під час передачі його у функцію, віртуальна машина платформи .NET це значення скопіює, що зробить не можливим змінити контекст зовнішньої функції у внутрішній функції.

Таким чином, необхідну поведінку можливо отримати шляхом введення проміжного класу, який буде зберігати всі замкнені змінні контексту зовнішньої функції. Екземпляр цього класу буде зберігатись у кучі і передаватись до вкладеної функції за посиланням. Такий підхід дозволить вкладеній функції змінювати зовнішній контекст. Приклад такої перетвореної програми зображено на рисунку 2.

```
class $main_context {
    a: number;
}

function main(): number {
    const $context = new $main_context();
    $context.a = 0;
    $main_test(1, $context);
    alert($context.a) // a = 1
    return 0;
}

function $main_test(t: number, $context: $main_context): void {
    $context.a = t;
}
```

Рисунок 2 – Модифікована програма з рис 1, яка може бути компільована в мову CIL.

Запропонований спосіб компіляції мови програмування TypeScript у проміжну мову CIL (зазначимо, що зараз не існує прямого компілятора мови TypeScript, а існує лише через проміжну трансляцію у JavaScript) відбувається у такі етапи: лексичний, синтаксичний та семантичний аналізи; ловерінг та оптимізації; генерація коду (рис. 3). Саме на етапі ловерінгу можливо модифікувати написану користувачем програму. Для цього необхідно виконати певні перетворення над деревом розбору, що містить проміжне представлення цієї програми.

Запропонований спосіб компіляції замикання вкладених функцій полягає в наступному:

1. Проаналізувати дерево розбору зовнішньої функції, обійшовши всі вкладені функції, та запам'ятати всі змінні зовнішньої функції, що використовуються у вкладених функціях
2. Згенерувати новий тип даних з унікальним іменем (щоб уникнути конфліктів з користувацькими типами) та оголосити в ньому змінні, як поля, що були отримані на етапі 1.
3. Модифікувати всі вкладені функції таким чином: додати параметр, який має тип, отриманий на попередньому етапі, а також замінити доступ до замкнених змінних, як доступ до відповідного поля класу.
4. Модифікувати зовнішню функцію наступним чином: оголосити на початку функції змінну, яка має тип, згенерований на етапі 2, замінити доступ до замкнених змінних, як доступ до відповідних полів класу, модифікувати виклик вкладених функцій, передавши оголошену змінну

останнім аргументом.

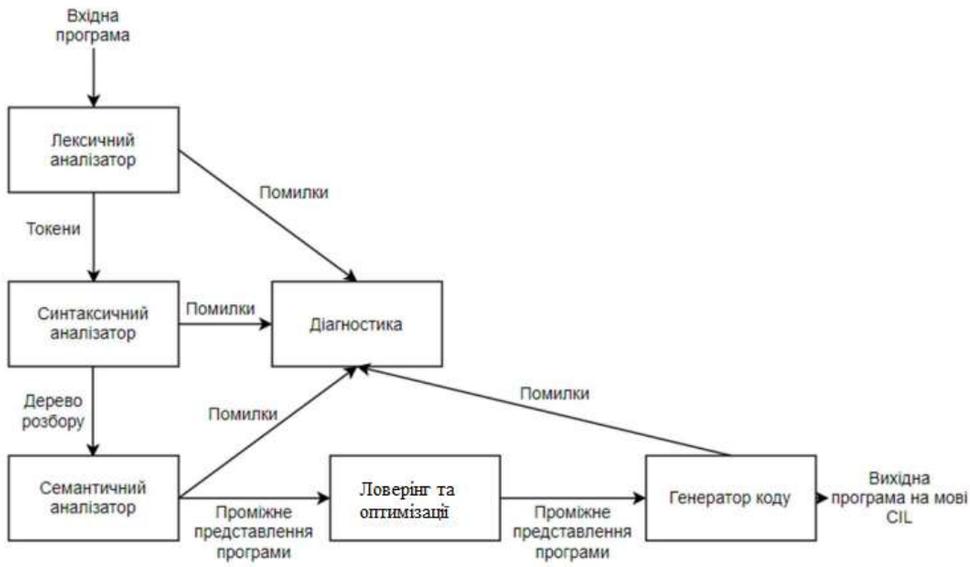


Рисунок 3 –Запропонована схема компіляції вхідної програми на мові TypeScript у проміжну мову CIL

5. Винести всі внутрішні функції на верхній рівень призначивши їм нове унікальне ім'я (щоб уникнути конфліктів з користувацькими функціями), замінити виклики цих функцій у зовнішній функції використовуючи нові імена.
6. Передати модифіковане проміжне представлення програми до генератору коду для генерації відповідних CIL інструкцій.
7. Кінець

Для генерації виконуваних файлів платформи .NET, як і у минулому дослідженні [3], було використану бібліотеку Mono.Cecil [8], яка надає зручний інтерфейс для запису інструкцій CIL. Лістинги функції, що компілюють клас та функцію у проміжну мову CIL (після виконання ловерінгу) відповідно зображено на рисунках 4, 5 і 6.

```
private void EmitClassDeclaration(ClassSymbol @class)
{
    var objectType = ResolveCLRType(TypeSymbol.Any);
    var classDef = new TypeDefinition("", @class.Name, TypeAttributes.NestedPrivate, objectType);
    foreach (var field in @class.Fields)
    {
        var typeRef = ResolveCLRType(field.Type);
        var fieldDef = new FieldDefinition(field.Name, FieldAttributes.Public, typeRef);
        classDef.Fields.Add(fieldDef);
    }

    _knownTypes.Add(@class, classDef);
    _assemblyDefinition.MainModule.Types.Add(classDef);
}
```

Рисунок 4 – Лістинг методу, що відповідає за генерацію IL інструкцій оголошення класу

Кожен метод відповідає за генерацію IL інструкцій для певної вершини дерева розбору. EmitClassDeclaration генерує інструкцій, які заповнюють мета-інформацію у збірці. Ця інформація містить типи даних, оголошені користувачем, що дозволяє використовувати їх у інших збірках, якщо вони мають відповідний модифікатор доступу (public). EmitFunctionDeclaration відповідає за генерацію оголошення функцій, як статичного методу класу, а EmitFunctionImplementation вже безпосередньо за генерацію інструкцій для тіла функції. Цей метод генерує інструкції для кожного з виразів тіла, а також слідкує за мітками для цих інструкції.

```
private void EmitFunctionDeclaration(FunctionSymbol function)
{
    var clrType = ResolveCLRType(function.Type);
    var method = new MethodDefinition(function.Name, MethodAttributes.Static | MethodAttributes.Private, clrType);

    foreach (var param in function.Parameters)
    {
        var typeRef = ResolveCLRType(param.Type);
        var paramDef = new ParameterDefinition(param.Name, ParameterAttributes.None, typeRef);
        method.Parameters.Add(paramDef);
    }

    _programTypeDefinition.Methods.Add(method);
    _methods.Add(function, method);
}
```

Рисунок 5 – Лістинг методу, що відповідає за генерацію IL інструкцій оголошення функції

```
private void EmitFunctionImplementation(FunctionSymbol function, BoundBlockStatement body)
{
    _locals.Clear();
    _fixLabels.Clear();
    _labels.Clear();

    var method = _methods[function];
    var ilProcessor = method.Body.GetILProcessor();

    foreach(var statement in body.Statements)
        EmitStatement(ilProcessor, statement);

    // replaces out internal labels to
    // IL labels
    foreach (var fix in _fixLabels)
    {
        var targetInstructionIndex = _labels[fix.Target];
        var targetInstruction = method.Body.Instructions[targetInstructionIndex];
        var instructionToFix = method.Body.Instructions[fix.InstructionIndex];
        instructionToFix.Operand = targetInstruction;
    }

    method.Body.OptimizeMacros();
}
```

Рисунок 6 – Лістинг методу, що відповідає за генерацію IL інструкцій імплементації функції

Результат роботи запропонованого способу можна побачити на рисунку 7. Наочно видно, що для вхідної програми з рисунка 1, було згенеровано відповідні інструкції для створення контексту зовнішньої функції main, що оголошують змінну відповідного класу ($main_context), та присвоюють значення замкненої змінної a, як модифікацію відповідного поля цього класу. Потім контекст передається до внутрішньої функції $main_test за посиланням.

```
IL_0002: ldc.i4.0
IL_0003: stfld int32 Program/'$main_context'::a
IL_0008: ldc.i4.1
IL_0009: ldloca.s 0
IL_000b: call void Program::'$main_test'(int32, Program/'$main_context'&)

. . . . . .

.method assembly hidebysig static
    void '$main_test' (
        int32 t,
        Program/'$main_context'& ''
    ) cil managed
{
    // Method begins at RVA 0x206e
    // Code size 8 (0x8)
    .maxstack 8

    IL_0000: ldarg.1
    IL_0001: ldarg.0
    IL_0002: stfld int32 Program/'$main_context'::a
    IL_0007: ret
}
```

Рисунок 7 –Частковий лістинг згенерованих інструкцій для прикладу, що містить замикання вкладених функцій за запропонованим способом для програми, показаної на рис.1.

Аналіз отриманих результатів.

Для тестування результатів дослідження було використано консольну програму на мові програмування C#, яка запускає виконувані файли та вимірює час їх виконання. Для більшої наочності та зменшення похибок при старті програми, виміри часу виконання коду прикладів виклику функції, яка містить замикання, генерованого різними компіляторами, проводилися в циклі на певну кількість ітерацій (рисунок 9).

Виміри проводилися для замикання вкладеністю 3 рівні та кількістю ітерацій 1000000, 10000000 та 100000000. Отримані результати показано на рисунку 9. Як видно з діаграми, код, що згенерований згідно запропонованого способу, працює значно швидше, ніж згенерований існуючим аналогом.

```
function main() {

    let a = 10;
    let b = 'test'

    function level1(t1: number)  {
        function level2(t2:number) {
            let c = b;
            function level3(t3: number) {
                let d = c;
                b = d;
            }
            level3(t1);
        }
        level2(t1);
    }

    for (let i = 0; i < 10000; i++)
        level1(i);

    return 0;
}
```

Рисунок 8 –Приклад вхідної програми на мові TypeScript, яка тестувалась.

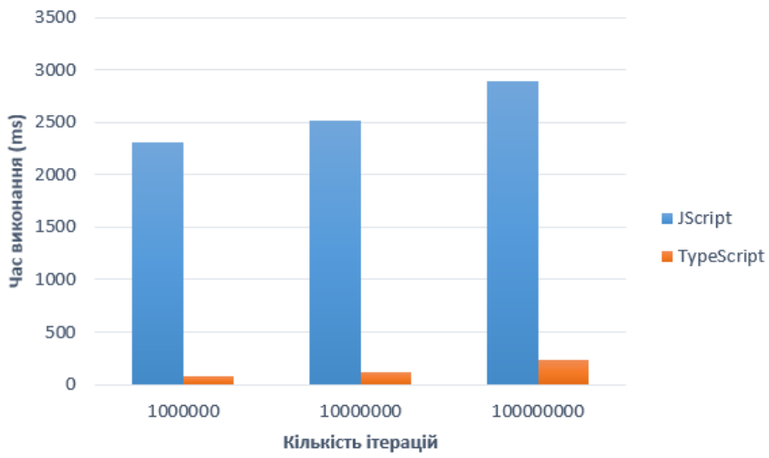


Рисунок 9 –Графік порівняння швидкодії згенерованих інструкцій для замикання компілятором JScript та компілятором TypeScript за запропонованим способом.

Висновки.

При продовженні дослідження способів компіляції мови TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET було розроблено спосіб компіляції замикання вкладених функцій за допомогою введення допоміжного класу для збереження контексту замикання.

В результаті реалізації описаного у цій статті способу у власному компіляторі мови TypeScript, отриманий результат під час тестування продемонстрував значно кращу швидкодію згенерованого коду в порівнянні з результатом роботи обраного аналогу – компілятором JScript.

Отже, враховуючи отримані результати, а також результати минулих досліджень [3-4], можна зазначити, що є доцільним створення прямого компілятора мови програмування TypeScript у проміжний код CIL платформи .NET.

Запропоноване дослідження має як наукову новизну, так і практичну цінність.

Список бібліографічного опису

1. YangSun Lee, SeungWon Na, DaeHoon Hwang, Language Translator for Execution Java programs in .NET [Електроний ресурс] – Режим доступу: https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200411922370411.pdf
2. Yannis Bres, Bernard Serpette, Manuel Serrano, Compiling Scheme programs to .NET Common Intermediate Language [Електроний ресурс] – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/213885643_Compiling_Scheme_programs_to_NET_Common_Intermediate_Language.
3. Іваненко А.Р., Марченко О.І Спосіб трансляції конкатенації рядкових виразів мови TypeScript у проміжну мову CIL
4. Марченко О.І., Іваненко А.Р. Аналіз способів трансляції мови TypeScript у проміжну мову CIL платформи .NET платформи .NET. [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/233/322
5. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C#. 4-е изд., СПб.:Питер, 2013
6. Марченко О.І. Конспект лекцій з дисципліни «Іженерія програмного забезпечення-1. Основи проектування трансляторів», Київ 2013.
7. Currying. Вікіпедія. [Електронний ресурс] – Режим доступу:https://en.wikipedia.org/wiki/Currying
8. Документація Mono.Cecil [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://cecil.pe/

References

1. YangSun Lee, SeungWon Na, DaeHoon Hwang, Language Translator for Execution Java programs in .NET [Electronic resource] – Access mode: https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200411922370411.pdf
2. Yannis Bres, Bernard Serpette, Manuel Serrano, Compiling Scheme programs to .NET Common Intermediate Language [Electronic resource] – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/213885643_Compiling_Scheme_programs_to_NET_Common_Intermediate_Language.
3. Ivanenko A.R., Marchenko O.I Translation the concatenation of TypeScript string expressions into Common Intermediate
Language of .NET platform. [Electronic resource] – Access mode: http://cit-journal.com.ua/index.php/cit/article/view/233/322
4. Marchenko O.I., Ivanenko A.R. Analysis of TypeScript translation methods into Common Intermediate Language of .NET platform
5. Jeffrey Richter. CLR via C#. 2012
6. Marchenko O.I Synopsis of lectures on the subject "Software Engineering-1. Basics of translator design », Kyiv 2013.
7. Currying. Wikipedia. [Electronic resource] – Access mode:https://en.wikipedia.org/wiki/Currying
8. Mono.Cecil documentation [Electronic resource] – Access mode: https://cecil.pe/

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-12
УДК 622 004.056.
Каганюк Олексій Казимирович. к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0003-4616-8768
Чернящук Наталія Леонідівна, д.пед.н., професор
https://orcid.org/0000-0002-3178-8377
Бурчак Ігор Несторович, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0003-2662-6442

АНАЛІЗ АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ МЕТОДІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЙНОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Каганюк О.К., Чернящук Н.Л., Бурчак І.Н. Аналіз апаратних та програмних методів захисту інформації від несанкційного доступу до інформаційного каналу передачі даних. В даній статті проводиться аналіз та обгрунтуванню щодо захисту інформаційного каналу по використання як технічних засобів та і програмного забеспечення захисту від несанкційного доступу.

Ключові слова: захисті інформації**,** несанкціонований .доступ, паралельні атаки, мережева розвідка, ехо-тестування, передача даних

Kaganyuk O.K., Chernyashchuk N.L, Burchak I. N. Analysis of hardware and software methods for protecting information from unauthorized access to the information channel of data transmission. This article analyzes and justifies the main provisions for the protection of the information channel on the use of both technical, means and software protection against unauthorized access.

Keywords: information security, unauthorized access, parallel attacks, network intelligence, echo-testing, data transmission

Вступ

З середини 20-го століття інформація є загальнонауковим поняттям, яке включає наступні основні положення:

Інформація, за допомогою якої здійснюється обмін між людьми, між оператором та складним апаратним пристроєм, а також між об'єктами, що працюють в автоматичному режимі.

Передача інформації у тваринному та рослинному світі. Біологічний процес передачі інформації та у багатьох інших аспектах нашого неосяжного всесвіту.

Ґрунтуючись на філософському трактуванні, можна впевнено сказати, що інформація існує незалежно від людини і є матерією. У даному конкретному випадку, ми будемо розглядати наявність інформації, яку застосовуватимемо для управління різних технологічних процесів з використанням останньої в апаратних блоках та пристроях [1].

Постановка задачі

Проблема полягає в тому, що цю інформацію слід доставити на об'єкт у заданій формі без спотворення та втрат, для афективного управління різноманітними об'єктами і не тільки.

Ґрунтуючись на фундаментальних трактуваннях, виділимо із загального поняття інформації, таке поняття як безпеку зберігання даної інформації, так і безпеку формування безпечного каналу передачі цієї інформації.

У доктрині інформаційної безпеки України розглядається безпека захищеності національних інтересів в інформаційному просторі у сфері, що визначається сукупністю збалансованих всебічних інтересів суспільства та держави. У більшості випадків, трактування інформаційної безпеки ми розумітимемо як стан захищеності інформації, що підтримує інфраструктуру від випадкових обурю вальних впливів різного характеру, що впливають на життєдіяльність соціуму.

Нам необхідно визначитися, а в чому полягає захист інформації та інформаційного каналу передачі даних. Це, як правило, комплекс правових, організаційних та технічних способів та дій, які перешкоджають поширенню загроз та забезпечують передумови зменшення наслідків у процесі передачі інформації в інформаційних системах. Необхідно відзначити, що інформаційна безпека, це одна із складових інформаційних підсистем загальної інформаційної системи, що бере участь у життєвому циклі [2].

Огляд та аналіз існуючих методів захисту інформації

Для аналізу інформаційної безпеки передачі даних по інформаційному каналу сформулювати основні положення визначають положення безпеки. Нас будуть цікавити такі параметри:

• швидкість переходу від традиційних носіїв (паперових) зберігання інформації до електронних технологій;

• використання локальних обчислювальних мереж;

• створення глобальних мереж із розширеним доступом до інформаційного ресурсу;

• необхідно враховувати зростання складності програмного забезпечення у системах управління та передачі даних.

На даний момент важко оцінити збитки компанії або держави у разі витоку або втрати інформації в нормальних режимах експлуатації або форс-мажорних обставинах. Необхідно враховувати некомпетентність технічного персоналу, крадіжку даних, промисловий шпигунство, технічні неполадки роботи апаратури та інше. Забезпечення безпеки інформаційних технологій є комплексною проблемою, яка охоплює як правове регулювання, так і технологічні процеси як якісну експлуатацію апаратного обладнання, сертифікацію, сучасну технологію розвитку та інше.Класифікація атак

Розглянемо, які існують методи несанкціонованого доступу захисту інформації. Для цього нам необхідно з визначенням, а що таке несанкціонований доступ до інформації – це сукупність прийомів та порядок проведення дій з метою передачі (прийому) достовірної інформації, що охороняється і не підлягає знищенню під час передачі інформації каналом зв'язку.

Нам необхідно з'ясувати і визначитися на основних моментах, на яких може спертися зловмисник для викрадення інформації при несанкціонованому доступі.

Сюди ми включимо такі основні положення на наш погляд:

• це насамперед отримати секретну інформацію про свого конкурента.

• вносити зміни до інформаційного потоку передачі даних з використанням своїх корисливих інтересів;

• вплинути створення втрат шляхом знищення цінної інформації.

Для детального розгляду цього питання нам необхідно провести класифікацію. Від яких атак потрібно проводити захист інформаційного каналу. Провівши детальний аналіз, ми виділимо найхарактерніші типи мережевих атак. Почнемо з найпростішої атаки. Це так звані сніфер пакети це прикладна програма, в якій використовується мережна карта, що працює у випадковому режимі. Такий режим роботи дозволяє проводити перехоплення IP-пакетів, які беруть участь у заданому сегменті. Ця ситуація можлива тоді, коли замовник (хакер) виконує функції справжнього користувача. Таку ситуацію можна створити двома способами.

По-перше, хакер має можливість скористатися IP-адресою, що знаходиться в заданому функціональному діапазоні IP-адреси.

По-друге, хакер має можливість скористатися уповноваженою зовнішньою адресою, яка має доступ до явних мережевих ресурсів.

Наступний вид атаки це парольні атаки. При проведенні хакером паралельних атак доводиться застосовувати ряд різних методів, наприклад, простий перебір (brute force attack), «троянський кінь», IP – спуфінг та сніффер пакети.

Атаки на рівні програм можуть здійснюватися декількома засобами.

Так, наприклад, найпоширеніший приклад атак полягає у використанні добре відомих нестійкосте серверного програмного забезпечення (sendmail, HTTP, FTP). На жаль, більшість хакерів мають доступ, що дає змогу вдосконалювати свої професійні можливості.

Мережева розвідка. Це збір інформації про інформаційний канал передачі даних через конкретну мережу за допомогою загальнодоступних програм. Виконуючи цю атаку, хакер прагне якнайбільше дізнатися інформації про користувача, який йому цікавий. Такого типу атаки проводяться, як правило, на рівні приватних підприємців. , оскільки інформаційний захист знаходиться на низькому рівні. Такі атаки здійснюються у вигляді запиту DNS. За допомогою запитів DNS вдається зрозуміти, хто є власником того чи іншого домену, які адреси відносяться до конкретного домену.

Відлуння – тестування (ping sweep) адрес. Відлуння – тестування проводиться після того, коли визначено DNS, це дозволяє визначити реально працюючі хости в даному середовищі. Отримавши список хостів, що працюють, стає можливим провести сканування портів. Після цього складається повний список послуг, що надаються цим хостам. За підсумками отриманої інформації зловмисник здійснює аналіз показників додатків що працюють на даних хостах. Отримана інформація дозволяэ здійснити злом інформаційного каналу.

Dos-напад. Цей напад характеризується тим, що може вплинути на недоступність комп'ютерних ресурсів користувачеві.

Для того, щоб завадити каналу передачі інформації, можна використовувати насичений метод атак комп'ютерного або мережевого обладнання великою кількістю зовнішніх запитів. Внаслідок такої атаки обладнання не в змозі відповісти користувачеві. Цей процес протікає дуже повільно і не цікавить.

Якщо атака була проведена з одночасно працюючих великої кількості IP-адрес то таку атаку називаю розподіленою DDOS атакою.

Метою дослідження є визначення основних методів та систем захисту інформації від несанкціонованого доступу інформації і не тільки в такому напрямку, а й інших модифікаціях захисту інформації.

Функції та завдання захисту інформації повинні визначати не лише склад, а й структуру захисту, модифікацію системи та інше. Наведемо основні компоненти, які мають увійти до нашого розгляду. На малюнку 1 представлений зразок основних видів загроз, які можуть впливати на цілісність інформації, її конфіденційність, надійність передачі даної інформації та працездатності каналу зв'язку і комп'ютерної системи в цілому. Ця таблиця має право на озвучку після детального аналізу та вивчення технічного матеріалу у цьому напрямку. Це може бути і суб'єктивна думка, але вона має право бути, це наше розуміння та обґрунтування такого аналізу, який буде розкритий у наступному.

Реалізацію зі створення методів та систем захисту інформації можна розділити на наступні складові:

• загрози, реалізація яких здійснюється за постійної участі людини (зловмисника); яка перешкоджає чи бажає отримати доступ до інформації;

• загрози, реалізація яких здійснюється за допомогою технічних засобів, які можуть бути встановлені зловмисником передачі інформації;

• загрози, що здійснюються за допомогою шкідливого програмного забезпечення відповідними комп'ютерними програмами без участі людини.

Ці завдання щодо забезпечення захисту від загроз, можна вважати, що вони однотипні, у зв'язку з тим, для спрощення аналізу їх можна об'єднати і виразити в наступному форматі:

• розробити засоби для неможливого несанкціонованого доступу до ресурсів комп'ютерних систем та мереж;

• розробити технічні та програмні засоби, які не дозволили б використовувати комп'ютерні ресурси, якщо доступ до них все ж таки здійснився;

• своєчасно виявляти факт здійснення несанкціонованого доступу з усуненням причин, а також наслідків їх реалізації.

• загрози, що здійснюються за допомогою шкідливого програмного забезпечення відповідними комп'ютерними програмами без участі людини.

Ці завдання щодо забезпечення захисту від загроз, можна вважати, що вони однотипні, у зв'язку з тим, для спрощення аналізу їх можна об'єднати і виразити в наступному форматі:

• розробити засоби для неможливого несанкціонованого доступу до ресурсів комп'ютерних систем та мереж;

• розробити технічні та програмні засоби, які не дозволили б використовувати комп'ютерні ресурси, якщо доступ до них все ж таки здійснився;

• своєчасно виявляти факт здійснення несанкціонованого доступу з усуненням причин, а також наслідків їх реалізації.

Реалізацію зі створення методів та систем захисту інформації можна розділити на наступні складові:

• загрози, реалізація яких здійснюється за постійної участі людини (зловмисника); яка перешкоджає чи бажає отримати доступ до інформації.

Класифікація та обґрунтування методів захисту інформації

Проведемо аналіз можливих порушень у роботі комп'ютерних систем, які б створити загрозу таємної інформації. Такі загрози можна розбити на такі компоненти. Це морально, правові, адміністративні, технічні та програмні [1,5]. Для кращого розуміння та аналізу ми зробили маленьке припущення, яке дозволить виявити основний напрямок вирішення цієї проблеми. Покладаючись на сучасні розробки технічного та програмного забезпечення, можна обґрунтовано сказати, що нам слід рухатись з удосконалення сучасних систем саме у цьому напрямі.

Морально – етичні засоби.

До цієї групи відносяться норми поведінки, які традиційно склалися або складаються з поширення ЕОМ, мереж тощо. Ці норми здебільшого є обов'язковими і затверджені у законодавчому порядку, та їх невиконання часто призводить до падіння авторитету і престижу людини, групи осіб, організації чи країни. Морально-моральні норми бувають як неписаними, і оформленими у певний статут. Найбільш характерним прикладом є Кодекс професійної поведінки членів Асоціації користувачів

ЕОМ США. Необхідно визначитись на які норми нам необхідно спиратися та взяти за базові для умов роботи у сфері ІТ – технологій.

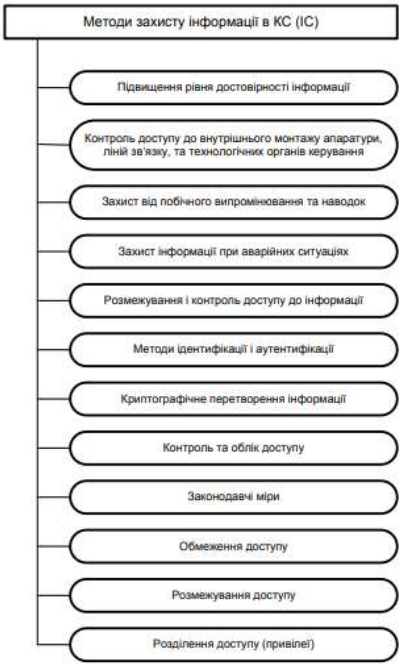


Рисунок 1 – Методи захисту інформації у комп'ютерній системі

Правові засоби захисту — чинні закони, ДСТУ, укази та інші нормативно – технічні акти та документи, що регламентують правила використання інформації та відповідальність за їх порушення, захищають авторські права програмістів та регулюють інші питання використання ІТ.

Перехід до інформаційного суспільства вимагає вдосконалення кримінального та цивільного законодавства, а також судочинства, що діє в Україні. Сьогодні спеціальні закони прийняті у всіх розвинених країнах світу та багатьох міжнародних об'єднаннях, і вони постійно доповнюються та вдосконалюються. Порівняти їх між собою практично неможливо, оскільки кожен закон слід розглядати у контексті всього законодавства. Наприклад, на положення про забезпечення секретності впливають закони про інформацію, процесуальне законодавство, кримінальні кодекси та адміністративні розпорядження та інше. У проекті міжнародної угоди, боротьби з кіберзлочинністю, розробленого комітетом з економічних злочинів Ради Європи (див. матеріали сайту http://www.coe.int), було внесено зміни [1].

Загальною тенденцією, яку можна простежити, є посилення кримінальних законів щодо комп'ютерних злочинців. Так, вже сьогодні в Гонконгу максимальним покаранням за такий злочин, якщо він призвів до виведення з ладу 1С або Web-сайту, є 10 років ув'язнення. Для порівняння, в Кримінальному кодексі України незаконне втручання у роботу комп'ютерів та комп'ютерних мереж карається штрафом до сімдесяти тисяч гривень або виправними роботами терміном до двох років, або обмеженням волі на той самий термін.

Адміністративні (організаційні)

Дані засоби захисту інформації регламентують процеси функціонування 1С, можливість використання даного ресурсу, практичну діяльність технічного та допоміжного персоналу, а також порядок взаємодії користувачів із системою таким чином, щоб найбільшою мірою виключити або не допустити порушень безпеки. Вони охоплюють:

• заходи, що передбачаються під час проектування, будівництва та облаштування об'єктів охорони (з огляду на вплив стихії, протипожежну безпеку, охорону приміщень, пропускний режим, прихований контроль за роботою працівників тощо);

• заходи, що здійснюються при проектуванні, розробці, ремонті та модифікації обладнання та програмного забезпечення (сертифікація всіх використовуваних технічних та програмних засобів; суворе санкціонування, розгляд та затвердження всіх змін тощо);

• заходи, що здійснюються під час підбору та підготовки персоналу (перевірка нових співробітників, ознайомлення їх з порядком роботи з конфіденційною інформацією та ступенем

відповідальності за його недотримання; створення умов, за яких персоналу було б невигідно або неможливо допускати зловживання тощо);

• розробку правил обробки та зберігання інформації, а також стратегії її захисту (організація обліку, зберігання, використання та знищення документа та носіїв з конфіденційною інформацією; розмежування доступу до інформації за допомогою паролів, профілів повноважень тощо; розробка адміністративних норм та системи)) покарань за їх порушення тощо) [3].

Адміністративні засоби

Адміністративні засоби захисту є неодмінною частиною захисту, їх значення обумовлюється тим, що вони доступні і здатні доповнити законодавчі норми там, де це потрібно організації. Особливістю адміністративних засобів є те, що в основному вони припускають застосування інших видів захисту, таких як (технічний або програмний захист) і тільки в такому дуалізмі здатні забезпечити досить високий і надійний захист. У той самий час велика кількість адміністративних правил тяжить працівників і зменшує надійність захисту, оскільки написані інструкції із захисту просто виконуються технічним персоналом[3, 5]..

Засоби фізичного (технічного) захисту інформації

Даний метод передбачає електронно-механічні пристрої, механічні, або електронні, а також споруди та матеріали, призначені для захисту від несанкціонованого доступу та завантаження інформації, що передається по каналу зв'язку та попередження її втрати внаслідок порушення працездатності всіх компонентів інформаційної системи (ІС), стихійних лих, саботаж, диверсій тощо. [3,5]: До цієї групи належать:

Засоби захисту кабельних мереж.

За даними різних досліджень, саме збої кабельної мережі викликають більше половини відмов поточного інформаційного зв'язку. Найкращим засобом запобігти подібним збоям є побудова структурованої кабельної системи (СКС), в якій використовуються кабелі з однаковими технічними параметрами для передачі даних в ІС, сигналів від датчиків пожежної безпеки, відеоінформаційних датчиків, датчиків охоронної системи, а також локальної телефонної мережі. Поняття «структурованість» передбачає, що кабельну систему об'єкта можна розділити на кілька рівнів. Що дозволить більш обґрунтовано підійти до захисту окремих компонентів, що виконуються у блоковому виконанні, з контрольною світлодіодною індикацією для визначення безпечного проходження інформації на окремій ділянці залежно від її призначення та розміщення. Для ефективної організації надійної роботи СКС слід дотримуватись вимог міжнародних стандартів;

Засоби захисту електроживлення.

Американські дослідники з компанії Best Power після п'яти років досліджень проблем безпеки електроживлення дійшли висновку [1,2] що на кожному комп'ютері в середньому 289 разів на рік виникають порушення харчування, тобто майже один раз протягом кожного робочого дня. Найбільш надійним засобом попередження втрат інформації, у разі тимчасових відключень електроенергії, або стрибків напруги в мережі є необхідність використовувати установку джерел безперебійного живлення. Різноманітність технічних та споживчих характеристик технічних засобів дозволяє вибрати пристрій, який відповідатиме адекватним конкретним вимогам даного об'єкта. В умовах підвищених вимог до працездатності ІС є необхідність використання аварійного електрогенератора або резервних ліній електропередач, які рознесені для підключення до різних осередків підстанції.

Засоби архівації та дублювання інформації.

При великих обсягах інформації, доцільно організовувати окремий спеціалізований сервер для зберігання архівованих даних. Якщо архівна інформація має велику цінність, її слід зберігати в спеціальному приміщенні, що охороняється, або в секретній кімнаті з обмеженим доступом технічного персоналу. На випадок пожежі або стихійного лиха слід зберігати дублікати найцінніших архівів в іншому приміщенні (будівлі) можливо, в іншому районі або іншому місті, тобто, зберігати інформацію в різних географічних місцях. Тим самим підвищується надійність оберігання секретної інформації і не тільки.

Засоби захисту від різних природних явищ, що виникають при роботі технічних засобів, засоби виявлення апаратури, що прослуховує, у вигляді «жучків», електромагнітне екранування пристроїв або приміщень, активне радіотехнічне маскування з використанням широкосмугових генераторів шумів і т.д. [5]. До цієї ж групи можна віднести матеріали, що забезпечують безпеку зберігання та транспортування носіїв інформації, а також захист від копіювання. Переважно це спеціальні тонко плівкові матеріали, що мають змінну колірну гаму або голографічні мітки, що

наносяться на документи та предмети (у тому числі і на елементи комп'ютерної техніки), що дозволяють ідентифікувати достовірність об'єкта та проконтролювати доступ до нього[5].

Як було зазначено, найчастіше технічні засоби захисту реалізуються разом із програмним забезпеченням.

Програмні засоби захисту інформаційних каналів

Програмні засоби захисту забезпечують ідентифікацію та аутентифікацію користувачів відповідно до розмежування доступу до ресурсів. Відповідно до повноважень користувачів здійснюється реєстрація подій в ІС, криптографічний захист інформації, захист від комп'ютерних вірусів тощо.

Розглядаючи програмні засоби захисту інформації, доцільно зупинитись на стеганографічних методах. Слово «стеганографія» означає прихований лист, що не дозволяє сторонній особі дізнатися про його існування. Одна з перших згадок про застосування таємнопису, який датується V століттям до н. е. Сучасним прийомом є випадок роздруківки на ЕОМ договорів з малопомітними спотвореннями обрисів окремих знаків тексту – так вносилася шифрована інформація про умови складання договора.[4].

Розглянемо, за якими принципами необхідно визначити базування стенографії.

По-перше, аудіо та відео файли, а також файли з цифровими зображеннями, які можна певною мірою змінити в цифровому форматі без втрати функціональності, використовуючи теорему Шеннона [3]. Найчастіше стеганографія використовується для створення цифрових водяних знаків. На відміну від звичайних методів, їх можна нанести на цифрові носії знайшовши лише за допомогою спеціального програмного забезпечення – цифрові водяні знаки записуються як псевдовипадкові послідовності шумових сигналів, що генеруються на основі секретних ключів. Такі знаки можуть забезпечити справжність чи недоторканність документа, ідентифікувати автора чи власника, перевірити права дистриб'ютора чи користувача, навіть якщо файл було оброблено чи спотворено.[4] .

Щодо впровадження засобів програмно-технічного захисту в 1С, розрізняють два основні способи:

- додатковий захист – засоби захисту є доповненням до основних програмних та апаратних засобів комп'ютерної системи;
- вбудований захист – механізми захисту реалізуються у вигляді окремих компонентів 1С або розподілені за іншими компонентами системи. [1, 5].

Перший спосіб є більш гнучким, його механізми можна додавати та вилучати за потребою, але за його реалізації можуть виникнути проблеми забезпечення сумісності. засобів захисту між собою та з програмно-технічним комплексом 1С. Вбудований захист вважається більш надійним і раціональним, але жорстким, оскільки виникають труднощі при внесенні змін. Таке доповнення характеристик дозволяє комбінувати з іншими компонентами захисту.

Аналіз та обґрунтування програмних методів захисту інформації.

Найкращий захист інформації програмними засобами – це використання антивірусних програм, спеціальних програм, які призначені для виявлення та знищення комп'ютерних вірусів.

Антивірусні програми діляться кілька видів.

Програми-детектори проводять пошук сигнатур вірусів. Недоліком програм-детекторів є те, що вони можуть знаходити ті віруси, які відомі розробникам, отже, вони швидко застарівають. І знову доводиться робити дослідження з розробки нових програм захисту інформації. Цей процес триває постійно та залежить від високої кваліфікації обслуговуючого технічного персоналу цього підрозділу. Деякі програми-детектори можна настроювати на нові типи вірусів, проте неможливо екстраполювати нову розробку програми, яка могла б виявити будь-який заздалегідь невідомий вірус. Відтак негативний результат перевірки програмою-детектором не гарантує відсутність вірусів. Багато детекторів мають режими лікування чи знищення заражених файлів, вони виконують функції лікарів.

Більш розширеними можливостями наділені програми-лікарі (фаги) Вони не тільки знаходять заражені вірусами файли, але й лікують їх (тобто видаляють з файлу тіло програми-вірусу), повертаючи їх у початковий стан. Перед лікуванням файлів програма очищує оперативну пам'ять. Серед фагів відокремлюють поліфаги – програми-лікарі, які призначені для пошуку та знищення великої кількості вірусів. Як і детектори, програми-лікарі потребують постійного оновлення.

Програми-ревізори дозволяють запам'ятовувати початковий стан програм, каталогів та системних областей, коли комп'ютер не заражений вірусом, а згодом, періодично або за бажанням користувача, звіряється поточний стан системи з вихідним. Як правило, перевірка здійснюється одразу після завантаження операційної системи. Одночасно контролюється довжина файлу, його контрольна сума, дата, час модифікації та інші параметри. Деякі програми-ревізори можуть при цьому виявляти стелю вірусів. Гібриди програм-ревізорів та лікарів можуть не тільки виявляти зміни, але й повертати

файли та системні області у вихідний стан. Вони більш універсальні, оскільки можуть захистити від вірусу, невідомого на час їх створення, якщо він використовує стандартний механізм зараження.

Наступним цікавим об'єктом є ***програми-фільтри*** («сторожа», «монітори» — резиденти), призначені виявлення підозрілих дій під час роботи комп'ютера. Після отримання відповідного повідомлення, користувач може дозволити або скасувати виконання операції. Деякі програми-фільтри перевіряють програми, що викликаються до виконання, та копіювання файлів. Недоліком подібних програм є їхня «набридливість», можливі конфлікти з іншим програмним забезпеченням, а переваги — виявлення вірусів на ранній стадії, що дозволяє мінімізувати втрати.

Програми-вакцини («імунізатори») модифікують програми та диски таким чином, що ця операція не відбивається на роботі різних програм. Але вірус, від якого виробляється вакцинація, вважає їх зараженими. Це дуже неефективний спосіб захисту. Вакцини мають обмежене використання. Їх можна застосувати лише проти відомих вірусів. Жоден з типів антивірусних програм не надає стовідсоткового захисту, тому слід дотримуватися загальних вимог та прав щодо використання останніх розробок антивірусних лабораторій.

Правильний антивірус повинен поєднувати багатосторонні властивості, і згодом його використання призведе до достатньої безпеки комп'ютера та його даних і мережі в цілому.

Результати досліджень

На базі проведеного аналізу захисту несанкційного доступу до інформації, експерименти проводилися в КП «Водоканал», у процесі проведення переддипломної практики, вибірково були проведені дослідження захисту інформації. У результаті аналізу різних методів захисту інформації, були визначені основні методи підвищення інформації по каналу зв'язку. Передумови гібридного застосування методів захисту, виявилися більш ефективними, на відміну від одиночного обраного методу.

У разі використання гібридного методу, необхідно враховувати конкретну специфіку роботи підприємства. Диференційовано підходити до вибору систем захисту, звертаючи увагу на пріоритети та зіставляючи гасло «ціна – якість». Це дозволить як афективно використовувати системи захисту, а й підвищити надійність експлуатації комп'ютерної системи загалом.

Висновки. У своєму становленні сучасні інформаційні технології пройшли кілька етапів розвитку, у кожному з яких спостерігалося переважання окремих видів та способів обробки інформації. На даний момент найбільше доцільно для захисту інформації необхідно використовувати гнучкі технології, що передбачають різні методи захисту, де будуть використані не тільки технічні методи захисту, а й програмне забезпечення, операційна система та інше. Оскільки загрози мають не статичний, а динамічний характер, слід зазначити, що основні методи захисту інформації від загроз – це забезпечення структурної, тимчасової інформаційної та функціональної надмірності комп'ютерних ресурсів та використання спеціальних програмних та апаратних засобів захисту – це антивірусні програмні пакети, або програми – антивіруси.

Список бібліографічного опису

1. Петров В.А. Інформаційна безпека. Захист інформації від несанкціонованого доступу в автоматизованих системах / Петров В.А., Піскарьов С.А., Шеїн А.В. – М. : Изд-во Ореан, 1998. – 534 с
2. Антонюк А.О. Основи захисту інформації в автоматизованих системах/ А. О. Антонюк. – К.: КМ Академія, 2006. – 244 с
3. Виявлення та розслідування злочинів, що вичиняються у сфері інформаційних технологій: Наук.-практ.посіб./ За заг.ред.проф. Я.Ю.Кондратьєва. – К., 2004.
4. Каганюк О.К. Технічні та програмні засоби шифрування, дешифрування. Конспект рекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Кібербезпека» галузь знань 12 Інформаційні технології спеціальності 125 Кібербезпека денної та заочної форм навчання / уклад. О.К.Каганюк – Луцьк : Луцький НТУ, 2021. – 84 с..
5 ДСТУ 3396.0-96 Захист інформації. Технічний захист інформації .Основні положення .

Reference

1. Petrov V.A. Information security. Information about unauthorized access in automated systems / Petrov V.A., Piskarov S.A., Shein A.V. - M.: Publishing house Orean, 1998 .-- 534 s
2. Antonyuk A.O. Basics of obtaining information in automated systems / A.O. Antonyuk. - K .: KM Academy, 2006 .-- 244 p.
3. Investigation and analysis of maladies, as well as in the sphere of information technologies: Science and practice, / For the editorial board of prof. Ya.Yu. Kondrat'va. - K., 2004.
4. Kaganyuk O.K. Technical and software for encryption, decryption. Synopsis of recitals for the education of the first (bachelor's) level of education in the educational and professional programs of «Cybersecurity». O.K. Kaganyuk - Lutsk: Lutsk NTU, 2021 .-- 84 p ..
5. DSTU 3396.0-96 Information protection. Technical information manager.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-13
УДК 004.05
Коломоєць Геннадій Павлович, к.ф.-м.н., доцент,
https://orcid.org/0000-0003-3667-0316
Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕСТОВОГО ПОКРИТТЯ НА РІВНІ БАЙТ-КОДУ JAVA

Коломоєць Г.П. Дослідження тестового покриття на рівні байт-коду Java. Кількісною характеристикою оцінки обсягу тестування програмних продуктів, рішення про завершення тестування і, врешті, визначення якості продукту та готовності його до дистрибуції є ступінь тестового покриття. Покриття коду тестами є підтипом тестового покриття і воно найчастіше визначається інженерами-програмістами. Ми можемо вимірювати ступінь покриття коду тестами за декількома критеріями, такими як покриття методу, покриття рядків, покриття операторів, покриття гілок, покриття умов гілок тощо. При оцінці результатів вимірювання покриття популярними інструментами, наприклад JaCoCo Java Code Coverage Library, за критеріями операторів, гілок та умов гілок результати є неочевидними внаслідок того, що у таких випадках ступені покриття визначаються на рівні байт-коду. Стаття наводить детальний аналіз визначення ступенів покриття на рівні байт-коду за вказаними критеріями при модульному тестуванні типових методів з комбінованою умовою з логічним оператором AND (&) у першому випадку та з оператором швидкої оцінки AND (&&) у другому випадку. Отриманий байт-код методів вивчався з відтворенням станів стеку операндів до та після кожної команди, що дозволило правильно інтерпретувати переходи у програмі. Було з'ясовано, що при визначенні ступеню покриття за критеріями гілок та умовами гілок враховувались виключно інструкції умовних переходів, причому кількість гілок дорівнювалася подвоєній кількості таких інструкцій. Також були визначені ступені покриття коду тестами за критеріями операторів та гілок для обох методів при різних наборах вхідних даних. Було визначено, що внаслідок визначення ступенів покриття саме на рівні байт-коду, для 100% покриття методу з комбінованою умовою з логічним оператором AND (&) достатньо два тестових прогони, у той час як для того ж методу, але з комбінованою умовою з оператором швидкої оцінки AND (&&) необхідні, як мінімум, три прогони.
Ключові слова: покриття коду тестами, покриття за критерієм операторів, покриття за критерієм гілок, байт-код Java, стек операндів, інструкція переходу, JaCoCo Library.

Kolomoiets H. Research of test coverage at the Java byte-code level. The test coverage is a quantitative evaluation of the software testing scope, of the decision to complete testing and, finally, of the product quality and its readiness for distribution. The code coverage is a subtype of the test coverage and it most often used by software engineers. We can measure the code coverage by several criteria such as method coverage, line coverage, statement coverage, branch coverage, branch condition coverage etc. While evaluating the measurement results of the statement coverage, branch coverage and branch condition coverage, received by popular tools, e.g. JaCoCo Java Code Coverage Library, these results are not obvious because in such cases the coverage is determined at the byte-code level. The paper provides an analysis of the code coverage calculation at the byte-code level in the unit testing of typical methods with a combined condition determined by the logical operator AND (&) in the first case and the short-circuit operator AND (&&) in the second case. We studied the obtained byte-code of the methods with the reproduction of the JVM operand stack states before and after each instruction, which allowed to interpret correctly the transitions in the program. We found for the branch and branch condition coverage only conditional transition instructions were taken into account and the number of branches was equal to twice their number. We also measured the statement coverage and branch coverage for both methods with different input data and several test runs. It was determined that for 100% code coverage of the method with a combined condition determined by the logical operator AND (&) we need at least two test runs, while for the same method, but with a combined condition specified by the short-circuit operator AND (&&) requires at least three test runs.
Keywords: code coverage, statement coverage, branch coverage, Java byte-code, operand stack, transition instruction, JaCoCo Library.

Вступ та постановка завдання. Забезпечення якості програмного забезпечення ґрунтується на оцінках його характеристик якості та результатах його тестування. Характерною рисою технологій забезпечення якості програмного забезпечення є використання кількісних оцінок – метрик для визначення поточного рівня якості програмного забезпечення та прийняття рішень щодо подальшого удосконалення продукту та його випуску. І хоча для оцінки якості програмного забезпечення використовують велику кількість метрик [1], оцінка тестування, найчастіше, виконується вимірюванням однієї метрики – тестового покриття [2].

Зауважимо, що поняття тестового покриття (Test Coverage) та покриття коду тестами (Code Coverage) часто ототожнюють або вважають рівноправними підвидами покриття, перше з яких базується на методиках "чорної скриньки" (найчастіше згадується покриття функціональних вимог), а друге – на методиках "білої скриньки" [3]. Насправді, стандарт ISO/IEC/IEEE 29119-4 Тестування програмного забезпечення – Методики тестування (Software and systems engineering – Software testing – Test Techniques) [4] зазначає покриття коду тестами як підмножину тестового покриття. У цій роботі ми зосередимось на дослідженні покриття коду тестами, а саме на вивченні алгоритмів їх визначення популярним інструментом JaCoCo Java Code Coverage Library (надалі JaCoCo Library) [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тестове покриття – це метрика, яка визначає ступінь покриття тестами тестових елементів програмного забезпечення, що тестується, та застосовується для оцінки якості програмного забезпечення. Стандарт ISO/IEC/IEEE 29119-4 [4] у розділі "Вимірювання тестового покриття" (Test Coverage Metrics) надає загальну формулу розрахунку значення тестового покриття, а також наводить рекомендації щодо його розрахунку для кожної зі стандартизованих методик тестування. Розрахунок значення ступеню покриття виконується за формулою:

$$Coverage = \frac{N}{T} \times 100\%$$

де N – кількість тестових елементів, покритих тестами для певної методики тестування,

T – загальна кількість тестових елементів, визначених для тестування певною методикою.

Існують декілька критеріїв покриття коду тестами, основними з них є [2]:

- покриття методів/функцій (Method/Function Coverage) – визначає частку від загальної кількості методів/функцій програми, які були викликані хоча б один раз;
- покриття рядків/операторів коду (Line/Statement Coverage, C0) – визначає частку від загальної кількості рядків/операторів коду, які були виконані хоча б один раз;
- покриття гілок (Branch Coverage, C1) – визначає частку виконаних від загальної кількості усіх можливих шляхів, що визначаються операторами, які надають декілька можливих шляхів виконання програми (оператори `if else`, `switch`, оператори циклів, оператори `break`, `continue`, `return` тощо);
- покриття рішень (Decision Coverage, C2) – визначає частку значень операторів прийняття рішень (операторів `if else`, `switch`, операторів циклів), які вони приймали при тестуванні, від загальної кількості усіх можливих значень операторів прийняття рішень;
- покриття умов гілок (Branch Condition Coverage) – визначає частку значень операторів прийняття рішень (операторів `if else`, `switch`, операторів циклів) у комбінованому операторі прийняття рішення, наприклад, `if(A | B & C)`, які вони приймали при тестуванні, від загальної кількості усіх можливих значень усіх операторів прийняття рішень.

Існують програмні інструменти вимірювання покриття коду тестами, які відрізняються, зокрема, кількістю підтримуваних критеріїв покриття, які вони можуть вимірювати [6-8]. Частина з наведених критеріїв, наприклад, покриття методів/функцій, покриття рядків коду, досить легко вимірюється відповідними інструментами, але якщо взяти, наприклад, покриття операторів, то виникає питання, як врахувати можливість написання одного оператора у декількох рядках або можливість написання декількох операторів у одному рядку. Ця проблема вирішується вимірюванням кількості операторів на нижчому аніж вихідний код рівні – для Java на рівні байт-коду [6].

Постановка завдання. Метою цієї роботи було дослідження алгоритмів визначення ступеню покриття коду тестами за різними критеріями на прикладі JaCoCo Library – популярного вільно розповсюджуваного інструменту з відкритим кодом, що забезпечує вимірювання покриття коду програм на Java за максимальною кількістю критеріїв.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для вимірювання покриття коду тестами був створений Java клас з єдиним методом:

```
public class OneMethClass {
    int foo(int x, int y) {
        int z = 0;
        if ((x > 0) & (y > 0)) {
            z = x;
        } else {
            z = y;
        }
        return z;
    }
}
```

для якого був розроблений JUnit 5 тестовий метод:

```
    @Test
    public void testFoo() {
        OneMethClass instance = new OneMethClass();
        int x = 1;
```

```
        int y = 2;
        int expResult = 1;
        int result = instance.foo(x, y);
        assertEquals(expResult, result);
    }
```

При виконанні тесту з вказаними вхідними параметрами (він буде виконаний успішно) буде викликаний метод класу `OneMethClass` і покриття *на рівні методів* буде дорівнювати 100%. Оскільки при зазначених вхідних даних тіло оператора `if` буде виконане, а тіло оператора `else` – ні, покриття методу, який складається з 6 рядків, *на рівні рядків* буде дорівнювати 5/6 ≈ 83% (рядок **`z = y;`** виконаний не буде).

Як зазначалося вище, покриття на рівні операторів визначається на рівні байт-коду, який можна отримати дизасемблюванням створеного компілятором JDK 17 файлу класу за допомогою, наприклад, утиліти JDK javap [9]. В наведеному нижче байт-коді методу додана послідовна нумерація інструкцій та коментарі зі станом стеку операндів після виконання інструкції та поясненнями. Чорним кольором виділені оператори, які виконуються тестом при будь-яких значеннях аргументів, зеленим – оператори, які виконуються при більших нуля значеннях, а синім – при значенні одного або обох аргументів, які менше або дорівнюють нулю:

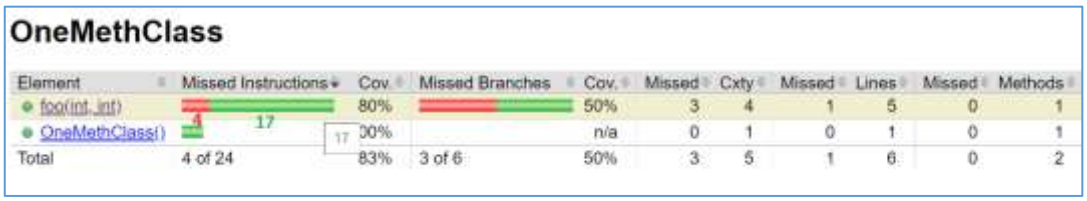
```
public int foo(int, int);
    Code:
1       0: iconst_0             //stack: 0
2       1: istore_3             //stack:      (int z = 0)
3       2: iload_1              //stack: 1    (1st arg load)
4       3: ifle          10     //stack:      (if x <= 0)
5       6: iconst_1             //stack: 1    (if x > 0)
6       7: goto          11     //stack: 1
7      10: iconst_0
8      11: iload_2              //stack: 1, 2 (2nd arg load)
9      12: ifle          19     //stack: 1    (if y <= 0)
10     15: iconst_1             //stack: 1, 1 (if y > 0)
11     16: goto          20     //stack: 1, 1
12     19: iconst_0
13     20: iand                 //stack: 1
14     21: ifeq          29     //stack: 1
15     24: iload_1              //stack: 1, 1 (1st arg load)
16     25: istore_3             //stack: 1    (z = 1st arg)
17     26: goto          31     //stack: 1
18     29: iload_2
19     30: istore_3
20     31: iload_3              //stack: 1, 1
21     32: ireturn              //stack:       (return z)
}
```

Байт-код демонструє цікаві та неочевидні особливості, тому виконаємо його детальний аналіз. Інструкція **`iconst_0`** завантажує до вершини стеку цілочисельну константу **`0`**, яка інструкцією **`istore_3`** переміщується зі стеку до масиву локальних змінних методу за індексом **`3`**, зауважимо, що за індексами **`1`** та **`2`** у цьому масиві знаходяться аргументи, передані методу при його виклику – **`int x`** та **`int y`**, відповідно. Команда **`iload_1`** завантажує аргумент **`x`** до вершини стеку, а наступна команда **`ifle 10`** перевіряє, чи менше або дорівнює **`0`** значення на вершині стеку, при цьому воно виймається зі стеку. Якщо це так, виконується перехід на команду з міткою **`10`**, якщо ні – виконується наступна команда (як у наведеному прикладі). Зверніть увагу, що компілятор змінив умову оператора **`if`** вихідного коду (**`x > 0`**) на протилежну – це перша особливість байт-коду. Далі команда **`iconst_1`** завантажує до вершини стеку цілочисельне значення **`1`** та виконується безумовний перехід командою **`goto 11`** до команди з відповідною міткою. Наступні команди **`iload_2`** та **`ifle 19`** виконують аналогічні операції з аргументом **`y`** метода. Використане у тесті значення також не ініціює переходу, тому виконуються наступні команди: **`iconst_1`**, що завантажує цілочисельне значення **`1`** до вершини стеку, та **`goto 11`**, що виконує безумовний перехід до команди з відповідною міткою.

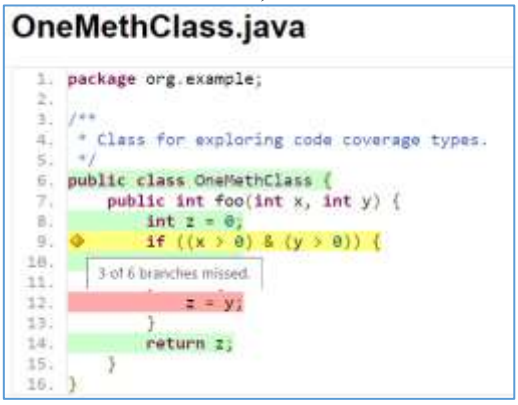
Команда **`iand`** виймає значення з вершини стеку та значення під ним та виконує побітову операцію AND над ними, результат якої завантажується до вершини стеку. У разі, якщо результат дорівнює **`0`**, виконується перехід на команду з міткою **`29`**. На перший погляд, до стеку завантажуються значення аргументів **`1`** та **`2`**, операція AND над якими дасть **`0`** і забезпечить перехід до команд, які повертають з метода аргумент **`y`** – це не відповідає високорівневому коду. І тільки з урахуванням особливості команди **`ifle`**, яка виймає значення з вершини стеку, та двох команд **`iconst_1`** (**`6`** та **`15`**), які завантажують до вершини стеку значення **`1`**, на момент виконання команди **`iand`** при зазначених у тесті аргументах у стеку знаходяться значення **`1`** та **`1`** і, відповідно, результат операції дорівнює **`1`**, що забезпечує виконання команд **`iload_1`** та **`istore_3`**, які привласнюють змінній **`z`** значення аргументу **`x`** метода, яке і повертається.

Виконане дослідження дозволяє стверджувати, що правильний аналіз програми на байт-коді вимагає вивчення алгоритму роботи задіяних інструкцій [10] та відтворення змін значень у стеку операндів методу до та після виконання кожної команди.

Результати аналізу програми на байт-коді дозволяють підрахувати, що при тестуванні з наведеними вище вхідними даними виконуються 17 інструкцій з 21, тому, значення покриття на рівні операторів (фактично на рівні інструкцій байт-коду) складає 17/21 ≈ 80%. На Рис. 1 представлені результати вимірювання покриття коду методу `foo` наведеним вище тестом, отримані за допомогою бібліотеки JaCoCo Library. Результати вимірювання на Рис. 1а демонструють 100% покриття на рівні методів (1 метод виконаний, 0 невиконані), 5/6 покриття на рівні рядків коду (5 рядків виконані, 1 рядок невиконаний), 80% покриття на рівні інструкцій байт-коду (17 інструкцій виконані, 4 невиконані) та 50% покриття на рівні гілок (останнє буде розглянуте нижче).



а)



б)

Рисунок 1 – Результати вимірювання покриття коду метода: а) статистика, б) покриття коду

Зауважимо, що покриття за критерієм гілок також підраховується на рівні байт-коду. Гілки створюються інструкціями умовних переходів, при цьому кожна з таких інструкцій містить дві гілки. У наведеному байт-коді таких інструкцій три, вони мають послідовні номери 4, 9, та 14, і при зазначених у тесті вхідних значеннях виконуються переходи, що відповідають `false`-гілкам цих інструкцій, тобто виконуються 3 з 6 гілок, що складає 50% покриття за вказаним критерієм (Рис. 2). Це відповідає результатам вимірювання JaCoCo Library (Рис. 1б). Зазначимо, що інструкції безумовного переходу `goto` на значення покриття за критерієм гілок не впливають.

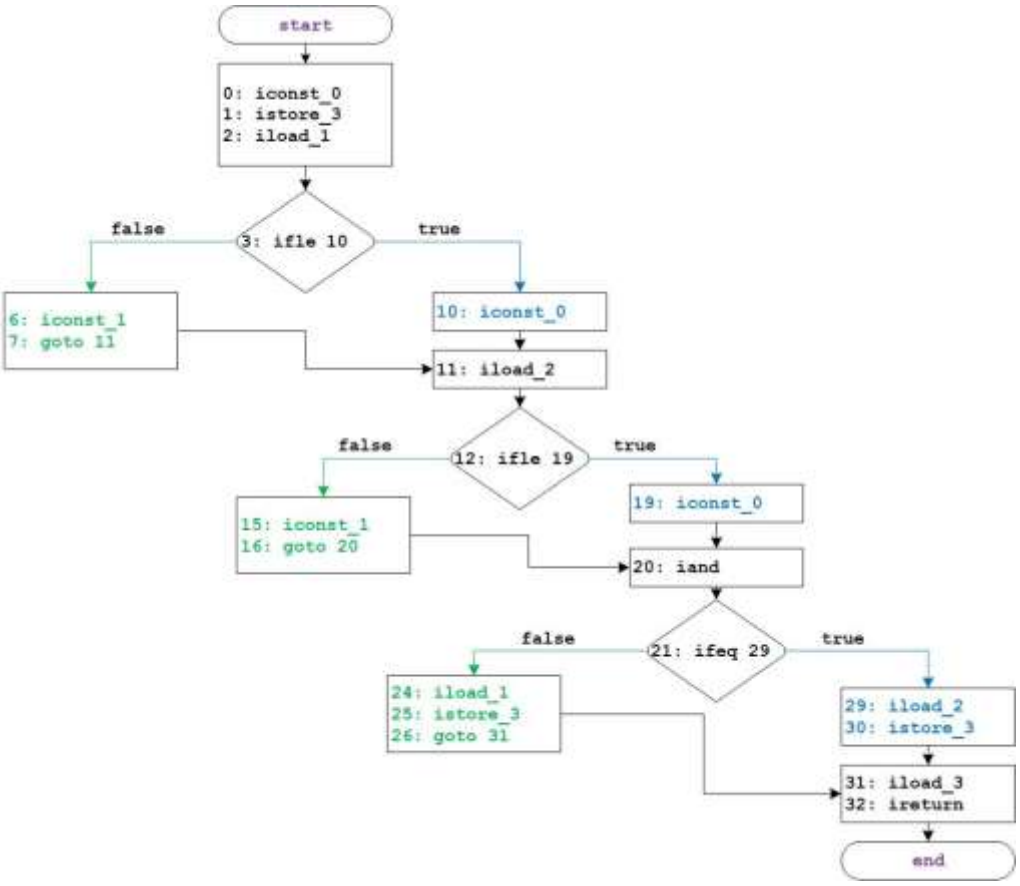


Рисунок 2 – Блок-схема програми на байт-коді метода

Нам здалося цікавим перевірити значення покриття за різними критеріями для наведеного вище методу, у якого комбінація умов створюється частіше використовуваним на практиці оператором швидкої оцінки AND (**&&**) замість звичайного оператора AND (**&**) у першому варіанті метода, тобто:

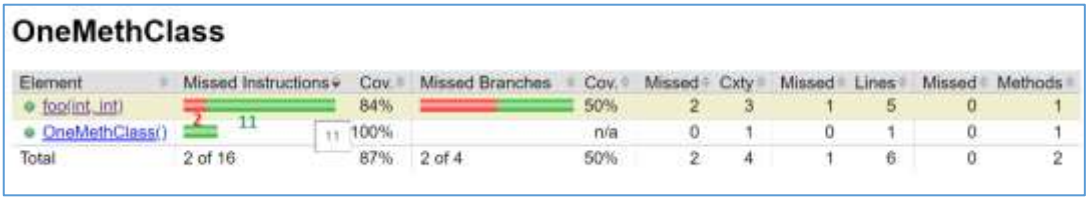
```
public class OneMethClass {
    int foo(int x, int y) {
        int z = 0;
        if ((x > 0) && (y > 0)) {
            z = x;
        } else {
            z = y;
        }
        return z;
    }
}
```

Байт-код такого методу має вигляд:

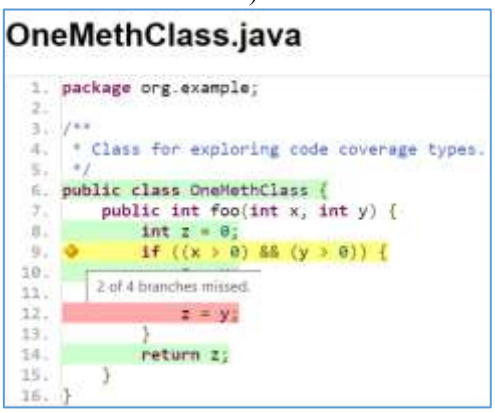
```
public int foo(int, int);
    Code:
1       0: iconst_0             //stack: 0
2       1: istore_3             //stack:      (int z = 0)
3       2: iload_1              //stack: 1    (1st arg load)
4       3: ifle          15     //stack:      (if x <= 0)
5       6: iload_2              //stack: 2    (2nd arg load)
6       7: ifle          15     //stack:      (if y <= 0)
7      10: iload_1              //stack: 1    (1st arg load)
8      11: istore_3             //stack:      (z = 1st arg)
9      12: goto         17     //stack:
10     15: iload_2
11     16: istore_3
```

```
12      17: iload_3              //stack: 1
13      18: ireturn              //stack:       (return z)
}
```

Виконавши аналогічний попередньому аналіз байт-коду, для вхідних даних **`x = 1`** та **`y = 2`** можна отримати значення покриття на рівні інструкцій 11/13 ≈ 84% та значення покриття за критерієм гілок 2/4 = 50%. Результати вимірювань JaCoCo Library (Рис. 3) та блок-схема програми (Рис. 4) підтверджують отримані значення.



а)



б)

Рисунок 3 – Результати вимірювання покриття коду метода з комбінованою умовою з оператором швидкої оцінки AND: а) статистика, б) покриття коду

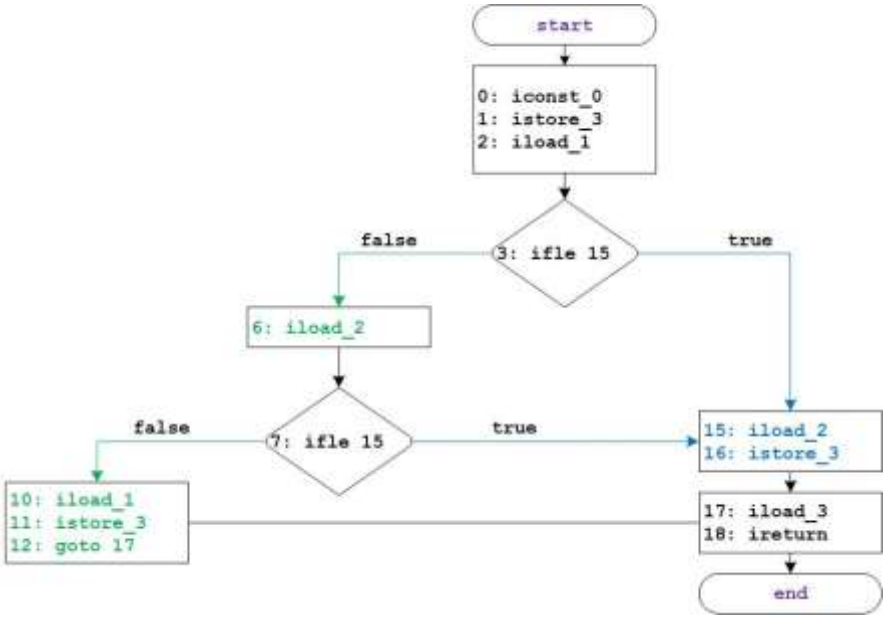


Рисунок 4 – Блок-схема програми на байт-коді метода з комбінованою умовою з оператором швидкої оцінки AND

Наведений аналіз байт-коду для двох методів був виконаний для різних наборів значень аргументів методів і були визначені ступені покриття коду тестами на рівні операторів та гілок (табл. 1).

Таблиця 1. Ступені покриття методів за критеріями операторів та гілок для різних комбінацій вхідних параметрів

Test Case #	**x > 0**	**y > 0**	**JaCoCo instructions coverage, (N/T) branch coverage (N/T)**	
			AND (&)	**short-circuit AND (&&)**
1	True	True	17/21 (3/6 branches)	11/13 (2/4 branches)
2	True	False	15/21 (3/6 branches)	10/13 (2/4 branches)
3	False	True	15/21 (3/6 branches)	8/13 (3/4 branches)
4	False	False	14/21 (3/6 branches)	8/13 (3/4 branches)
5=1+4	True False	True False	21/21 (6/6 branches)	13/13 (3/4 branches)
6=1+2	True True	True False	20/21 (5/6 branches)	13/13 (3/4 branches)
7=1+3	True False	True True	20/21 (5/6 branches)	13/13 (3/4 branches)
8=2+3	True False	False True	18/21 (5/6 branches)	10/13 (3/4 branches)
9=2+4	True False	False False	16/21 (4/6 branches)	10/13 (3/4 branches)
10=3+4	False False	True False	16/21 (4/6 branches)	8/13 (1/4 branches)
11=1+2+3	True True False	True False True	21/21 (6/6 branches)	13/13 (4/4 branches)
12=1+3+4	True False False	True True False	21/21 (6/6 branches)	13/13 (3/4 branches)
13=1+2+4	True True False	True False False	21/21 (6/6 branches)	13/13 (4/4 branches)
14=2+3+4	True False False	False True False	18/21 (3/6 branches)	10/13 (3/4 branches)
15=1+2+3+4	True True False False	True False True False	21/21 (6/6 branches)	13/13 (4/4 branches)

Зазначимо, що внаслідок визначення ступеню покриття коду на рівні байт-коду, досягнення 100% покриття для обох варіантів методів забезпечується різною мінімальною кількістю тестових сценаріїв, причому для метода зі звичайним оператором AND 100% покриття може бути досягнене двома тестовими прогонами, у той час, як для метода з комбінованою умовою з оператором швидкої оцінки AND необхідні, як мінімум, три прогони.

Висновки. Ступень тестового покриття є найпоширенішою метрикою вимірювання результатів тестування, на базі якої приймаються рішення про рівень якості та готовність продукту до випуску. Методики визначення покриття коду тестами є підмножиною методик тестового покриття. Існують декілька рівнів покриття коду тестами, частина з яких може визначатися за високорівневим кодом, але для покриття за критеріями операторів, гілок та умов гілок визначення необхідно виконувати аналізом низькорівневого коду, наприклад, байт-коду програм на Java. Компілятор Java виконує оптимізацію байт-коду, тому його інструкції можуть не відповідати високорівневим операторам, що дещо ускладнює аналіз. При аналізі байт-коду доцільно відтворювати стан стеку операндів методу до та після виконання інструкцій. При визначенні покриття на рівні гілок враховуються виключно інструкції умовних переходів з двома гілками на кожну інструкцію. Результати дослідження комбінованих умов з використанням звичайного оператора AND та оператора AND швидкої оцінки вказують на необхідність більшої кількості тестових сценаріїв для досягнення 100% покриття у останньому випадку.

Список бібліографічного опису

1. Маджид Ашурі, Пол Давідссон, Роміна Спалаццезе (2021) Атрибути якості в граничних обчисленнях для Інтернету речей: Системне дослідження. У матеріалах конференції Інженерні кіберфізичні людські системи. Т.13. С. 1-20.

2. Маурісіо Аніче Ефективне тестування програмного забезпечення. Посібник розробника. Manning Shelter Island, 2022. 329 с.
3. Шрея Босе. Покриття коду проти тестового покриття: детальний посібник. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.browserstack.com/guide/code-coverage-vs-test-coverage.
4. ISO/IEC/IEEE 29119-4:2021 (англ) Програмне забезпечення та системна інженерія – Тестування програмного забезпечення – Частина 4: Методики тестування. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec-ieee:29119:-4:ed-2:v1:en.
5. JaCoCo Бібліотека покриття коду Java. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.eclemma.org/jacoco.
6. Р. Сівагуру, Г. В. Канімозі, С. Алаудін Баша (2019) Оцінка різних інструментів покриття коду. Журнал глобальних досліджень та розробок у технічній галузі. Т. 4, Випуск 10. С. 21-24.
7. Самар Алі Абдалла, Ramadan Moawad (2015) Проблеми та запропоновані рішення для інструментів тестування на основі покриття. Європейський журнал наукових досліджень. Т. 131, N 1. С. 7-21.
8. Кхушбу, д-р Камна Соланкі, Сандіп Далал. (2018) Систематичне вивчення інструментів для аналізу покриття коду. Журнал нових технологій та інноваційних досліджень. Т. 5, Випуск 2. С. 216-222.
9. Команда javap. Специфікації інструменту Java® Development Kit версії 17. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://docs.oracle.com/en/java/javase/17/docs/specs/man/javap.html.
10. Тім Ліндхольм, Френк Єллін, Гілад Брача, Алекс Баклі, Деніел Сміт Специфікація віртуальної машини Java®. Java SE 17 Edition. Розділ 6. Набір інструкцій віртуальної машини Java. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://docs.oracle.com/javase/specs/jvms/se17/html/jvms-6.html.

References

1. Majid Ashouri, Paul Davidsson , Romina Spalazzese (2021) Quality attributes in edge computing for the Internet of Things: A systematic mapping study. In Proceedings of the Engineering Cyber Physical Human Systems. V.13. P. 1-20.
2. Mauricio Aniche. Effective Software Testing. A Developer's Guide. Manning Shelter Island, 2022. 329 p.
3. Shreya Bose. Code Coverage vs Test Coverage : A Detailed Guide. [Electronic resource] - Access mode: https://www.browserstack.com/guide/code-coverage-vs-test-coverage.
4. ISO/IEC/IEEE 29119-4:2021(en) Software and systems engineering – Software testing – Part 4: Test techniques. [Electronic resource] - Access mode: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec-ieee:29119:-4:ed-2:v1:en.
5. JaCoCo Java Code Coverage Library. [Electronic resource] - Access mode: https://www.eclemma.org/jacoco.
6. R. Sivaguru, G. V. Kanimozhi, S. Alaudeen Basha (2019) Assessment on Various Code Coverage Tools. Global Research and Development Journal for Engineering. V. 4, Issue 10. P. 21-24.
7. Samar Ali Abdallah, Ramadan Moawad (2015) Challenges and Proposed Solutions of Coverage Based Testing Tools. European Journal of Scientific Research. V. 131, No 1. P. 7-21.
8. Khushbu, Dr. Kamna Solanki, Sandeep Dalal (2018) Systematic Study of Tools for Code Coverage Analysis. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. V. 5, Issue 2. P. 216-222.
9. The javap Command. Java® Development Kit Version 17 Tool Specifications. [Electronic resource] - Access mode: https://docs.oracle.com/en/java/javase/17/docs/specs/man/javap.html,
10. Tim Lindholm, Frank Yellin, Gilad Bracha, Alex Buckley, Daniel Smith. The Java® Virtual Machine Specification. Java SE 17 Edition. Chapter 6. The Java Virtual Machine Instruction Set. [Electronic resource] - Access mode: https://docs.oracle.com/javase/specs/jvms/se17/html/jvms-6.html.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-14
УДК 004.416.3:004.855.5
Пікуляк Микола Васильович, к. т. н., старший викладач
https://orcid.org/0000-0003-2192-1899
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Савка Іван Ярославович, к. ф.-м. н., старший викладач
https://orcid.org/0000-0002-3442-5547
Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я. С. Підстригача НАН України
Дутчак Марія Степанівна, викладач
https://orcid.org/0000-0002-3337-5613
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

ВИКОРИСТАННЯ АПАРАТУ НЕЙРОМЕРЕЖ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ

Пікуляк М.В., Савка І.Я, Дутчак М.С. Використання апарату нейромереж для дослідження адаптивної навчальної траєкторії. Виконано теоретичний аналіз сучасного стану нейромережевих технологій, що дало можливість виділити відомі алгоритми роботи з нейронними мережами та з'ясувати переваги та недоліки їх застосування для вирішення різного роду завдань науки й техніки. Обґрунтовано актуальність застосування нейромереж для дослідження адаптивних траєкторій навчання на основі аналізу поточних характеристик засвоєння інформаційних квантів студентом, що забезпечує успішне проведення дистанційного навчання з використанням відкритих комунікаційних платформ. Представлено адаптивний процес засвоєння студентом нових знань архітектурою багатошарового персептрона, в якій кожен нейрон розглядається як певний урок, а навчальний процес представлено як рух студента по окремих уроках. Реалізовано застосування для навчання мережі алгоритму зворотного поширення помилки та методу найменших квадратів. Це дало можливість шляхом паралельного й одночасного уточнення параметрів мережі ітераційно коректувати вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків кожного з нейронів на основі мінімізації середньоквадратичного відхилення між правильною та реальною відповіддю мережі. Побудовано загальний алгоритм адаптивного навчання з використанням нейромережі та описано етапи його функціонування. Визначено перспективи подальших досліджень, направлених на застосування модифікацій алгоритму зворотного поширення помилки та вдосконалення підбору правил корекції вагових коефіцієнтів.
Ключові слова: нейронна мережа, адаптивна траєкторія навчання, інформаційні кванти, алгоритм навчання, вагові коефіцієнти.

Pikuliak M., Savka I., Dutchak M. Using a neural network apparatus for study an adaptive learning trajectory. A theoretical analysis of the current state of neural network technology was performed, which allowed us to identify the known algorithms for working with neural networks and figure out the advantages and disadvantages of their application to solve various scientific and technological problems. The relevance of the use of neural networks for the study of adaptive learning trajectories based on the analysis of current characteristics of the assimilation of information quanta by students, which ensures the successful conduct of distance learning using open communication platforms. The adaptive process of mastering new knowledge by the student of multilayer perceptron architecture is presented, in which each neuron is considered as a certain lesson, and the educational process is presented as the movement of the student in separate lessons. The application of the inverse error propagation algorithm and the least squares method has been implemented for network training. This made it possible to iteratively adjust the synaptic weights of each neuron by minimizing the network parameters based on minimizing the standard deviation between the correct and actual network responses. The general algorithm of adaptive training with use of a neural network is constructed and stages of its functioning are described. Prospects for further research aimed at applying modifications of the backpropagation algorithm and improving the selection of rules for correcting weights are identified.
Keywords: neural network, adaptive learning trajectory, information quanta, learning algorithm, weights.

Вступ. На сьогоднішній день існує чимала кількість комп'ютерних автоматизованих систем, метою яких є як організація навчального процесу, так і проведення підсумкового контролю засвоєного матеріалу із формуванням кількісних показників отриманих вмінь та навичок. Головним критерієм таких навчальних програм виступають на разі не просто визначення числових значень параметрів підсумкової оцінки студента, а передусім їхня якісна складова, яка вимірюється рівнем змістовного оволодінням як теоретичними основами навчального матеріалу так і закріпленням теорії практичними навиками. Це можливе завдяки використанню при моделюванні подібних систем новітніх методик навчання, перевірки та контролю знань студентів на базі сучасних інформаційних технологій, формування стратегії навчання, головна суть якої зводиться до максимальної адаптації навчального матеріалу до індивідуальних характеристик та рівня знань і умінь студентів.

Чималу роль в цьому напрямку відіграє сучасний стан розвитку мережевих технологій, поява відкритих комунікаційних платформ типу Zoom, Webex, Meet, Jitsi та досягнень в галузі

штучного інтелекту, без яких є неможливим процес створення потужних автоматизованих навчальних систем та проведення дистанційного навчання в умовах коронавірусної пандемії.

Вирішення подібної задачі потребує глибокого знання методології даної галузі та розуміння підбору методичного матеріалу, а передусім – розробки моделі контролю і оцінки знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі дистанційні програми та платформи, які використовуються в навчальному процесі (типу Moodle, BlackBoard, Lotus, WebTutor, Віртуальний Університет та ін.), розроблені на основі застосування різного роду моделей. Це передусім, продукційні системи, фреймові моделі, семантичні мережі, логічні та нечіткі моделі. Такі системи завдяки функціональним можливостям, відкритості коду та доступності у використанні отримали значну популярність та схвалення у користувачів.

Проте, переважна більшість з них характеризується рядом недоліків, які пов'язані із невисокою якістю отриманих знань студентом, низькою адаптивністю подачі навчального контенту відповідно до поточної успішності засвоєння, вузькою направленістю предметної області а також невисоким рівнем інтерактивності навчального процесу. Тому так активно ведуться спроби сучасних дослідників щодо розробки методів, моделей та технологій реалізації подібних навчальних систем.

Зокрема, до відносно нового методу дослідження належить підхід, що ґрунтується на використанні штучних нейронних мереж. В залежності від архітектури нейромереж та задач дослідження на сьогодні розроблена ціла система алгоритмів для роботи з подібними структурами.

Це, перш за все, алгоритм зворотного поширення помилки (back-propagation algorithm) [1], а також цілий ряд градієнтних методів, які в залежності від обраного способу пошуку градієнта цільової функції, дозволяють вдосконалити задачу навчання нейронної мережі.

До даних алгоритмів слід віднести [2]:

- алгоритм найшвидшого спуску;
- алгоритм змінної метрики;
- алгоритм Левенберга-Марквардта;
- алгоритм спряжених градієнтів.

Відносно новими та досить ефективними вважають генетичні алгоритми навчання нейромереж, головною перевагою яких є їхня здатність знаходити глобальний мінімум цільової функції [3].

На сьогодні широко використовуються і багато інших алгоритмів (наприклад, метод Гаусса-Ньютона, метод Монте-Карло та ін.), але більшість з них є деякою зміною відомого та найстаршого правила навчання, правила Хебба [4].

Виконавши аналіз відомих алгоритмів навчання нейромереж, слід відмітити головні їхні недоліки, пов'язані з порівняно тривалим часом навчання, відповідно значними обчислювальними витратами та їх здатністю, в більшості випадків, до досягнення під час навчання оптимізації тільки по окремих критеріях.

У зв'язку з цим все більшої популярності набувають дослідження, в яких застосовуються гібридні адаптивні алгоритми, які дозволяють з однієї сторони використовувати як традиційні засоби та методи штучного інтелекту, а з другої – застосовувати новітні моделі та інструментальні засоби розробки на основі інтеграції вже відомих методик [5].

Найновіші результати застосування нейронних мереж стосуються задач розпізнавання мови та графічних образів [6]. Активно розвиваються так звані LSTM (Long Short Term Memory) – моделі нейромереж для задач аналізу тексту, діяльності фінансових ринків та маркетингової сфери [7].

Також відбувається інтенсивне впровадження таких систем у мобільні додатки, від звичайного опрацювання тексту до обробки фото, аудіо та відео документів [8].

З нейронними мережами пов'язана ціла галузь знань – нейроінформатика, яка об'єднує в собі елементи біокібернетики, прикладної математики, статистики і навіть біомедицини.

Постановка завдання. Незважаючи на ряд недоліків нейронної технології, пов'язаних, наприклад, із важкістю розуміння роботи такої мережі, інтерпретацією отриманих результатів та складністю алгоритмів обчислення, клас задач, які вирішуються з допомогою нейромереж досить широкий. Тому застосування нейронних мереж під час побудови адаптивних систем навчання є актуальною науково-прикладною задачею.

Для коректної роботи автоматизованої навчальної системи, що використовує нейронні мережі, як системи для навчання і відновлення знань, необхідно дотримуватись наступних правил [9]:

- структурувати знання конкретної дисципліни з виділенням понять і відношень між ними;
- побудувати нейронні мережі для відображення понять дисципліни і відношень між ними;
- провести навчання нейронної мережі, тобто визначити вагові коефіцієнти відношень між поняттями;
- створити базу даних наборів питань по окремих поняттях дисципліни.

Метою даної статті є побудова моделі навчальної дистанційної системи із застосуванням нейронної мережі для організації освітнього процесу, направленого на максимальну адаптацію навчального контенту відповідно до поточних індивідуальних характеристик засвоєння нових знань студентом.

Викладення основного матеріалу дослідження. Під час проведення автоматизованого адаптивного навчання важливим є вироблення «тактики» поведінки програми в залежності від отриманих поточних відповідей студента. Тому головне завдання навчальної системи полягає у визначенні для кожного студента індивідуального порядку вивчення інформаційних одиниць (квантів інформації, «unit of information») з метою засвоєння теоретичного курсу в цілому.

Будемо застосовувати нейромережу для побудови індивідуальної траєкторії навчання студента, використовуючи при цьому в якості вхідних параметрів мережі результати тестового контролю, представлені вектором характеристик, які описують рівень засвоєння інформаційних квантів.

Як відомо, навчання нейромережі досягається шляхом налаштування вагових коефіцієнтів синапсів. Задля цієї мети застосуємо алгоритм зворотного поширення помилки, основу якого складає цільова функція F, необхідна для ефективної нейронно-мережевої обробки сигналів. Найбільш часто для опрацювання вихідного сигналу використовують так звану «сигмоїдну» функцію активації:

$$F(x) = 1/(1+e^{-x}). \tag{3.1}$$

Форма сигмоїдної функції дозволяє представляти нейрон як адаптивний підсилювач сумарного сигналу, що надходить на його входи. При цьому слабкий сигнал підсилюється, а сигнал високого рівня не впливає на зниження чутливості нейрона. Крім того, функція (3.1) є безперервно диференційованою, а її перша похідна є простою функцією виходу:

$$f'(x) = f(x)(1-f(x)), \tag{3.2}$$

що створює певні переваги при обчисленнях, в яких фігурують похідні.

В загальному, адаптивну траєкторію навчання будемо розглядати як багатошарову мережу, що складається з нейронів, розміщених на різних рівнях. Кожен рівень буде відповідати окремому уроку при вивченні деякого курсу. Як відомо, така навчальна модель називається багатошаровим персептроном [10] – рис. 1:

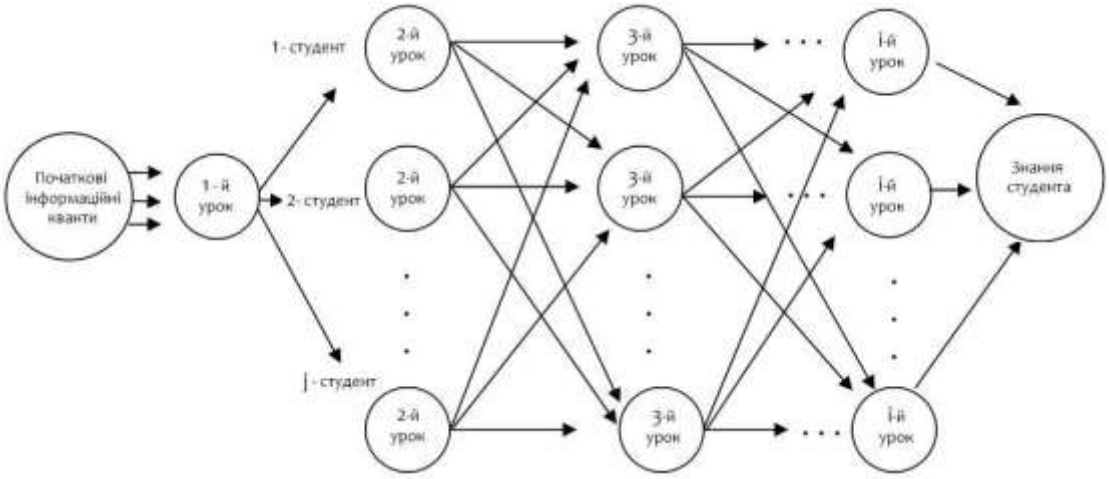


Рисунок 1 – Нейронна модель навчальної траєкторії адаптивної системи

На вхід нейронної мережі подамо навчальні інформаційні кванти (вступне заняття), елементи якого $x_1, x_2, ..., x_k$ будуть утворювати матрицю X. В якості вагових коефіцієнтів w_i інтерпретуємо числові параметри студентських характеристик, що відповідають знанням відносно навчального елемента S, обчисленим за результатами тестового контролю знань.

На виході кожного нейрона отримаємо відповіді мережі $y_1, y_2, ..., y_k$, які представимо матрицею Y. Вони будуть відображати ймовірності переходу студента на інший урок. Обчислюючи різницю між правильною (визначеною на основі застосування тестової вибірки даних) та реальною відповіддю системи, ми отримаємо вектор помилки. Тоді застосування алгоритму зворотного поширення дозволить організувати ітераційний процес навчання, який за вектором помилки буде визначати необхідні виправлення для вагових коефіцієнтів нейронної мережі.

В навчальній системі це дає можливість для окремого студента сформувати наступний урок, який забезпечить йому подальше успішне вивчення даної теми, тобто побудувати відповідну навчальну траєкторію для цього студента (рис. 1).

Таким чином, кожен нейрон будемо розглядати як окремий урок, який за допомогою синапсів і аксона буде зв'язаний з іншими уроками. Синапси будуть являти собою вхідні зв'язки, які будуть пов'язувати розглядуваний урок з виходами попередніх уроків, а аксон – вихідний зв'язок цього уроку, з допомогою якого відбувається перенаправлення навчального процесу на інший урок (тобто на синапси наступних нейронів). Кожний синапс буде характеризуватись величиною синаптичного зв'язку або його вагою w_i.

Поточний стан нейрона буде визначатись як загальна сума всіх його входів:

$$s = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i \,. \tag{3.3}$$

Вихід нейрона представимо функцією його стану :

$$Y = F(s)\,. \tag{3.4}$$

Тоді адаптивний процес вивчення елемента S буде полягати в алгоритмічному коректуванню вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків кожного з нейронів, які беруть участь в процесі навчання. В алгоритмі зворотного поширення це можна досягти шляхом мінімізації середньоквадратичного відхилення отриманих результатів від правильних відповідей.

Згідно методу найменших квадратів, величину похибки E між правильною і отриманою відповідями мережі, обчислюють за допомогою суми квадратів відповідних різниць:

$$E(w) = \frac{1}{2}\sum_{j,p}(y_{j,p}^{(N)} - d_{j,p})^2, \tag{3.5}$$

де $y_{j,p}^{(N)}$ – реальне вихідне значення j-го нейрону уроку N при подачі на його вхід *p*-их результатів тестування;

$d_{j,p}$ – правильне вихідне значення цього нейрону.

Для цілей мінімізації використаємо згаданий вище метод зворотного поширення помилки, згідно з яким налаштування вагових коефіцієнтів відбувається за формулою:

$$\Delta w_{ij}^{(n)} = -\eta \frac{dE}{dw_{ij}}, \tag{3.6}$$

де w_{ij} – ваговий коефіцієнт синаптичного зв'язку, який з'єднує i-ий нейрон уроку $(n-1)$ з j-им нейроном уроку n;

η – коефіцієнт швидкості навчання, причому $0 < \eta < 1$.

Як описано в [11]:

$$\frac{dE}{dw_{ij}} = \frac{dE}{dy_j}\frac{dy_j}{ds_j}\frac{ds_j}{dw_{ij}}. \tag{3.7}$$

У цій формулі під y_j розуміють, як і раніше вихід *j*-го нейрону, а s_j – зважена сума всіх вхідних сигналів (тобто аргумент функції активації).

Більш детально розглянемо множники у формулі (3.7).

Другий множник $\frac{dy_j}{ds_j}$ виступає похідною функції активації по її аргументу.

Третій множник $\frac{ds_j}{dw_{ij}}$ дорівнює значенню виходу нейрона попереднього уроку $y_j^{(n-1)}$.

Що стосується першого множника в (3.7), то його можна розкласти наступним чином [11]:

$$\frac{dE}{dy_j} = \sum \frac{dE}{dy_k} \frac{dy_k}{ds_k} \frac{ds_k}{dy_j} = \sum \frac{dE}{dy_k} \frac{dy_k}{ds_k} w_{j,k}^{(n+1)} \ . \tag{3.8}$$

Тут сумування по *k* виконується серед нейронів уроку $(n+1)$.

Ввівши нову змінну

$\delta_j^{(n)} = \frac{dE}{dy_j} \frac{dy_j}{ds_j}$, ми отримаємо рекурсивну формулу для розрахунків величини $\delta_j^{(n)}$ уроку n з величини $\delta_k^{(n+1)}$ більш «старшого» уроку $(n+1)$:

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \delta_k^{(n+1)} w_{j,k}^{(n+1)} \right] \frac{dy_j}{ds_j} \ . \tag{3.9}$$

Для вихідного уроку, ця формула набуде вигляду:

$$\delta_j^{(n)} = \left[y_j^{(N)} - d_j \right] \frac{dy_j}{ds_j} . \tag{3.10}$$

Тепер можна записати (3.6) в розкритому вигляді:

$$\Delta w_{ij}{}^{(n)} = -\eta \delta_j^{(n)} y_j^{(n-1)} . \tag{3.11}$$

Таким чином, в загальному, алгоритм адаптивного навчання з використанням процедури зворотного поширення буде складатися з наступних кроків:

1. Після вивчення певного уроку (теми) студенту необхідно пройти відповідний тестовий контроль. За результатами тесту формується вектор студентських параметрів, що відображає рівень засвоєння нових знань, який подається на вхід нейрона. На виході отримаємо результати відповіді. Причому, результат перевірки засвоєння n-го уроку буде визначатись згідно (3.3) як загальна сума всіх виходів нейрона :

$$s_j^{(n)} = \sum_{i=0}^{M} y_i^{(n-1)} w_{ij}{}^{(n)} ,$$

де M – кількість нейронів в уроці $(n-1)$.

$y_i^{(n-1)} = x_{ij}{}^{(n)}$ – i-ий вхід j-го нейрона уроку n.

$y_j^{(n)} = f(s_j{}^{(n)})$, де $f()$ – сигмоїд вигляду (3.1).

$y_q^{(0)} = I_q$, де I_q – q-та компонента вхідного вектора.

2. Обчислюємо $\delta^{(n)}$ для вихідного уроку за формулою (3.10) та зміну ваг $\Delta w^{(n)}$ уроку N за формулою (3.11).

3. Обчислюємо за формулами (3.9) і (3.11) відповідно $\delta^{(n)}$ і $\Delta w^{(n)}$ для всіх інших уроків $n = N-1,...,1$.

4. Підкоректовуємо всі ваги в нейронній мережі:

$$w_{ij}{}^{(n)}(t) = w_{ij}{}^{(n)}(t-1) + \Delta w_{ij}{}^{(n)}(t) .$$

5. Якщо помилка досить суттєва, перейти на крок 1. В іншому випадку – кінець.

Слід зазначити, що в залежності від значення похибки $\delta^{(n)}$ студент буде перенаправлений на різні етапи вивчення незасвоєного уроку (рис. 2).

Рисунок 2 – Загальна схема навчання з використанням процедури зворотного поширення

Зрозуміло, що корегування вагових коефіцієнтів може відбуватися тільки на основі інформації, яка доступна нейрону, тобто поточного стану нейрона та наперед заданою матрицею вагових коефіцієнтів. Тому ефективність описаного навчання прямо залежить від кількості уроків у навчальній вибірці, якості тестового підбору питань для перевірки, а також від того, наскільки вони повно описують відповідну тему.

Слід відмітити, що описаний алгоритм зворотного поширення помилки має і ряд суттєвих недоліків, пов'язаних з можливістю настання «паралічу» нейронної мережі, коли вагові коефіцієнти під час навчання можуть набути досить великих чи від'ємних значень. Також можливі випадки виникнення зациклення навчання, якщо буде знайдений не локальний, а глобальний мінімум цільової функції (перенаправлення навчання при цьому буде відбуватися на той самий крок).

У зв'язку з цим сьогодні розроблено ряд модифікацій даного алгоритму, які дають змогу удосконалити його шляхом зміни функції активації, вибору правил корекції вагових коефіцієнтів та інше. Це стане предметом подальших досліджень.

Висновки. У сучасних автоматизованих комп'ютерних системах нейромережі, завдяки властивості «навчатися» та здатності до накопичення інформації про перебіг навчання, дозволяють забезпечити успішну побудову адаптивних освітніх траєкторій та ефективну організацію дистанційних курсів з використанням відкритих комунікаційних платформ.

В роботі розроблено нейромережеву модель побудови індивідуальної траєкторії навчання, в якій кожен нейрон розглядається як певний урок, а навчальний процес представлено як рух студента по окремих уроках. При цьому для навчання мережі використовується алгоритм зворотного поширення помилки, який шляхом корекції вагових коефіцієнтів налаштовує синаптичні зв'язки кожного з нейронів.

Перевагою запропонованої моделі є можливість в процесі навчання досягнення потрібної точності розрахунків за рахунок мінімізації похибки між правильною та реальною відповіддю мережі. Також така структура характеризується універсальністю щодо вибору предметної області, тобто навчена нейромережа для однієї дисципліни може бути швидко адаптована для інших навчальних предметів та курсів.

Застосування описаної технології дозволяє підвищити якість навчальних систем за рахунок високої швидкодії опрацювання результатів поточного рівня засвоєння нових знань студентом та забезпечення інтерактивності в процесі організації дистанційного адаптивного навчального процесу.

Список бібліографічного опису

1. S. Haykin, *Neural networks, a comprehensive foundation*. N.Y.: Macmillan College Publishing Company, 1994.
2. P. Gill, W. Murray, M. Wright, *Practical Optimization*. N.Y.: Academic Press, 1981.
3. А.Ю. Кононюк, *Нейроні мережі і генетичні алгоритми*. К.: «Корнійчук». 2008.
4. H. Szu, R. Hartley, *Fast Simulated annealing. Physics Letters*. Vol. 1222 (3, 4), pp. 157–162, 1987.
5. M. Pikuliak, "Development of an adaptive module of the distance education system based on a hybrid neuro-fuzzy network," *Proceedings of the 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining&Processing (DSMP)*. Lviv, Ukraine, August 21-25, 2020, pp. 44-49.
6. «Artificial neural networks для вирішення бізнес задач». [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://evergreens.com.ua/ua/development-services/neural-network.html. Дата звернення: 07.06.2022.

7. V.B. Nemirovskiy, A.K. Stoyanov, "Near-duplicate image recognition," *Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS): Proceedings of the International Conference*, Tomsk, 2014.
8. S.O. Arik, J. Chen, K. Peng, W. Ping, Y. Zhou, "Neu-ralvoicecloning with a fewsamples. In Advances in Neural Information Processing Systems," *Annual Conference on Neural In formation Processing Systems 2018, Neur IPS 2018*. Montreal, Canada, 3-8 December 2018, pp. 10040–10050. 2018.
9. С.А. Крутина, Е.В. Малахов, В.Д. Гогунський, "Структурування знань у автоматизованих навчальних системах з елементами штучного інтелекту," *Моделювання у прикл. наук. дослідженнях. Матеріали XIV семінару*. Одеса: ОНПУ, 2007, С. 37-39.
10. M. L. Minsky, S. Papert, *Perseptrons. Cambridge*. MA: MIT Press, M: Мир. 1971.
11. K. Pal Sancar, Mitra Sushmita, "Multilayer Perceptron, Fuzzy Sets, and Classification," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 3, No. 5, pp. 683-696. 1992.

References

1. S. Haykin, *Neural networks, a comprehensive foundation*. N.Y.: Macmillan College Publishing Company, 1994.
2. P. Gill, W. Murray, M. Wright, *Practical Optimization*. N.Y.: Academic Press, 1981.
3. A.Yu. Kononiuk, *Neironi merezhi i henetychni alhorytmy*. K.: «Korniichuk». 2008.
4. H. Szu, R. Hartley, *Fast Simulated annealing. Physics Letters*. Vol. 1222 (3, 4), pp. 157–162, 1987.
5. M. Pikuliak, "Development of an adaptive module of the distance education system based on a hybrid neuro-fuzzy network," *Proceedings of the 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining&Processing (DSMP)*. Lviv, Ukraine, August 21-25, 2020, pp. 44-49.
6. «Artificial neural networks dlia vyrishennia biznes zadach». [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: https://evergreens.com.ua/ua/development-services/neural-network.html. Data zvernennia: 07.06.2022.
7. V.B. Nemirovskiy, A.K. Stoyanov, "Near-duplicate image recognition," *Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS): Proceedings of the International Conference*, Tomsk, 2014.
8. S.O. Arik, J. Chen, K. Peng, W. Ping, Y. Zhou, "Neu-ralvoicecloning with a fewsamples. In Advances in Neural Information Processing Systems," *Annual Conference on Neural In formation Processing Systems 2018, Neur IPS 2018*. Montreal, Canada, 3-8 December 2018, pp. 10040–10050. 2018.
9. S.A. Krutyna, E.V. Malakhov, V.D. Hohunskyi, "Strukturuvannia znan u avtomatyzovanykh navchalnykh systemakh z elementamy shtuchnoho intelektu," Modeliuvannia u prykl. nauk. doslidzhenniakh. Materialy XIV seminaru. Odesa: ONPU, 2007, s. 37-39.
10. M. L. Minsky, S. Papert, *Perseptrons. Cambridge*. MA: MIT Press, M: Мир. 1971.
11. K. Pal Sancar, Mitra Sushmita, "Multilayer Perceptron, Fuzzy Sets, and Classification," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 3, No. 5, pp. 683-696. 1992.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-15
УДК 004.620
Козак Євген Борисович, магістр в галузі комп'ютерних наук, розробник програмного забезпечення, інженер-програміст GAN Inc.
https://orcid.org/0000-0001-8616-8215

ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАФІКУ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Козак Є.Б. Прогнозування трафіку корпоративної мережі із застосуванням штучних нейронних мереж. *У статті досліджено прогнозування трафіку корпоративної мережі із застосуванням штучних нейронних мереж. Наведено модель, яка здатна аналізувати та прогнозувати Інтернет-трафік через IP-мережі шляхом порівняння деяких навчальних алгоритмів із використанням статистичних критеріїв. Визначено історичну складову становлення та розвитку складних систем, та запропоновано поняття мережевого трафіку. Наголошено, що нейронні мережі успішно використовуються для моделювання складних нелінійних систем та прогнозування сигналів для широкого кола інженерних застосувань. Вони є однією з найкращих альтернатив для моделювання та прогнозування параметрів трафіку, можливо тому, що вони можуть апроксимувати майже будь-яку функцію незалежно від ступеня не лінійності та без попереднього знання її функціональної форми. Розроблено модель нейронної мережі із позначенням основних входів та виходу. У статті запропоновано для прогнозування трафіку корпоративної мережі використовувати багатошаровий персептрон на основі методу зворотного поширення. Наведено опис даного методу, його особливості та основні алгоритми навчання. Підкреслено, що алгоритм зворотного поширення помилки використовує градієнти функцій активації нейронів, щоб повернути похибку, яка вимірюється на виході нейронної мережі, і обчислити градієнти вихідної помилки по кожній вазі в мережі. Запропоновано математичну складову кожного з описаних алгоритмів навчання штучної нейронної мережі з порівнянням у дієвості та продуктивності. Наведено способи обчислення константи, які відрізняє різні версії спряженого градієнта. Пропонується наведену модель з використанням двох алгоритмів Левенберг Марквардт та алгоритму еластичного зворотного поширення застосовувати для ідентифікації та управління Інтернет-трафіком корпоративної мережі та як фундаментальний інструмент для прогнозування Інтернет-трафіку корпоративної мережі на у різних проміжках часу.*
Ключові слова: *корпоративна мережа, інтернет, трафік, штучна нейронна мережа, передача пакетів.*

Kozak Y. Prediction of corporate network traffic using artificial neural networks. *The article investigates the forecasting of corporate network traffic with the use of artificial neural networks. A model that is able to analyze and predict Internet traffic over IP networks by comparing some training algorithms using statistical criteria is presented. The historical component of formation and development of complex systems is determined, and the concept of network traffic is offered. It is emphasized that neural networks are successfully used for modeling complex nonlinear systems and signal prediction for a wide range of engineering applications. They are one of the best alternatives for modeling and predicting traffic parameters, possibly because they can approximate almost any function regardless of the degree of nonlinearity and without prior knowledge of its functional form. A neural network model with the designation of the main inputs and outputs has been developed. The article proposes to use a multilayer perceptron based on the backpropagation method to predict corporate network traffic. The description of this method, its features and basic algorithms of training are given. It is emphasized that the inverse error propagation algorithm uses the gradients of the neuron activation functions to return the error measured at the output of the neural network and to calculate the gradients of the original error for each weight in the network. The mathematical component of each of the described algorithms of training of an artificial neural network with comparison in efficiency and productivity is offered. Methods for calculating the constant that distinguish different versions of the conjugate gradient are given. It is proposed to use this model using two Levenberg Marquardt algorithms and the elastic backpropagation algorithm to identify and manage corporate Internet traffic and as a fundamental tool for forecasting corporate Internet traffic at different intervals.*
Key words*: corporate network, internet, traffic, artificial neural network, packet transmission.*

Постановка проблеми. Складні мережі, на сьогодні, є найбільш обговорюваною темою. Складні мережі, це мережі, що характеризують багато природних та штучних систем, таких як Інтернет, авіатранспортні системи, інфраструктура енергетичних мереж та Всесвітня павутина. Дійсно, моделювання трафіку є фундаментальним для оцінки продуктивності мережі та розробки схеми управління мережею, що є вирішальним для успіху високошвидкісних мереж. Останній факт пояснюється тим, що пропускна здатність мережевого трафіку допоможе кожному веб-майстру оптимізувати свій веб-сайт, максимізувати конверсії в Інтернеті та вести відстеження кампаній, що пропускної здатності. Крім того, моніторинг ефективності та продуктивності IP-мереж на основі точних та вдосконалених вимірювань трафіку є важливою темою, в якій дослідження повинні вивчити нову схему моніторингу мережевого трафіку, для підвищення ефективності функціонування. Отже, актуальною є модель руху з простим виразом, яка здатна точно фіксувати статистичні характеристики фактичного мережевого трафіку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування штучних нейронних мереж, як пріоритетного та актуального напрямку сьогодення на сторінках своїх праць розглядало чимало як зарубіжних так і вітчизняних вчених. А. В. Собчук та Ю. І. Олімпієва [1] розкрили питання

застосування нейромереж для забезпечення функціональної стійкості виробничих процесів. Е. М. Бовда [2] проаналізував існуючі підходи та методи прогнозування стану телекомунікаційної мережі, розглянув завдання системи управління телекомунікаційною мережею. Методику інтелектуальної ідентифікації та прогнозування трафіку в інформаційних телекомунікаційних мережах, яка складається з визначення розмірностей моделей трафіку, а також його ідентифікації та прогнозування з використанням систем штучного інтелекту, обґрунтування структури моделей та композиції методів глобальної і локальної оптимізації запропонувала О. В. Герасіна [3]. Д. О. Жуковська та В. Я. Воропаєва [4] запропонували метод прогнозування телекомунікаційного трафіку за допомогою нейронних мереж з використанням нелінійної авторегресійної моделі, що дозволяє отримати прогнозне значення періодів істотних змін часткового співвідношення трафіків різних типів для подальшого використання при динамічному розподілі пропускної здатності супутникового каналу зв'язку. У роботі [5] запропоновано використовувати нейронну мережу у інтелектуальному алгоритмі багатокритеріального вертикального хендоверу. Після створення програмного або апаратного рішення нейронної мережі необхідно створити математичну модель та виконати навчання мережі. Пропонована у даній роботі нейронна мережа представляє собою багатошаровий перцептрон. Проведено моделювання роботи нейронної мережі у програмі Matlab.

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: A. S. Mul-la, B. T. Jadhav [6], B. Tran, S. Picek, B. Xue [7], Keller, J., Liu, D. and Foge, D. [8], T. Hamed, J. B. Ernst, S. C. Kremer [9], N. Mokari, P. Haji-pour, L. Mohammadi et al. [10], C. Kolias, A. Stavrou, J. Voas, I. Bojanova, R. Kuhn [11] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання прогнозування трафіку корпоративної мережі із застосуванням штучних нейронних мереж залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Постановка завдання. Розкрити принципи прогнозування трафіку корпоративної мережі із застосуванням штучних нейронних мереж на основі багатошарового персептрона для виявлення та розробки моделі, яка здатна аналізувати та прогнозувати Інтернет-трафік через IP-мережі шляхом порівняння деяких навчальних алгоритмів із використанням статистичних критеріїв.

Викладення основного матеріалу дослідження. З 1950-х років було розроблено багато моделей для вивчення складних явищ мережевого трафіку, які з кожним роком масштабувалися та виходили на новий рівень [12]. Необхідність точного прогнозування параметрів трафіку вже давно визнана у науковій літературі [13].

Основною мотивацією тут є отримання кращого розуміння характеристик мережевого трафіку. Одним із підходів, що використовується для профілактичного контролю, є прогнозування найближчого майбутнього трафіку в мережі, а потім вжиття відповідних дій, таких як контроль розмірів буферів. Кілька робіт, розроблених у літературі, зацікавлені у вирішенні проблеми підвищення ефективності та результативності моніторингу мережевого трафіку шляхом попереднього прогнозування потоку пакетів даних. Тому, точна модель прогнозування мережевого руху повинна мати можливість фіксувати основні параметри руху, наприклад коротко- та далекозалежність, самоподібність у великому масштабі та мультифрактал у малому. На сьогодні, враховуючи наукові здобутки, запропоновано кілька схем прогнозування трафіку корпоративної мережі [14]. Серед запропонованих схем прогнозування найбільш перспективними є схеми, засновані на нейромережах, оскільки нейронні мережі продемонстрували більш ніж прийнятну продуктивність із відносно простою архітектурою в різних областях.

Нейронні мережі успішно використовуються для моделювання складних нелінійних систем та прогнозування сигналів для широкого кола інженерних застосувань. Вони є однією з найкращих альтернатив для моделювання та прогнозування параметрів трафіку, можливо тому, що вони можуть апроксимувати майже будь-яку функцію незалежно від ступеня не лінійності та без попереднього знання її функціональної форми.

Штучні нейронні мережі – це абстрактне представлення реальної нервової системи, що складається з набору нейронних одиниць, з'єднаних між собою за допомогою аксонових зв'язків, які дуже схожі на дендрити та аксони в біологічних нервових системах [15].

Крім того, штучні нейронні мережі – це великий клас архітектури паралельної обробки, яка може імітувати складні та нелінійні процесори, що називаються нейронами. Штучні нейронні мережі, як апроксиматор функції, корисний, оскільки він може наблизити бажану поведінку без необхідності вказувати певну функцію. Це є великою перевагою штучних нейронних мереж порівняно з багатовимірною статистикою. Такі мережі можна навчити досягти, з певного входу,

конкретного цільового результату, використовуючи відповідний метод навчання, поки вихід мережі не відповідає цілі. Крім того, нейронні мережі навчаються досвідом, коли до мережі застосовується невідомий вхід, він може бути узагальнений з минулим досвідом і буде створений новий результат.

Структура штучної нейронної мережі деревоподібна, вона складається з: вхідного шару, вихідного шару та проміжного прихованого шару з відповідними нейронами. Кожен шар з'єднаний з наступним шаром нейроном, що породжує велику кількість зв'язків. Кожне з'єднання має вагу, пов'язану з цим з'єднанням. Прихований рівень навчається забезпечувати подання даних для входів. Вихід нейрона в прихованому або вихідному шарі обчислюється шляхом застосування функції активації до зваженої суми вхідних даних до цього нейрона (рис. 1). Спочатку модель штучної нейронної мережі повинна бути «навчена», використовуючи випадки з відомими результатами, а потім вона буде коригувати зважування різних вхідних змінних з часом для уточнення вихідних даних. Дані перевірки використовуються для оцінки ефективності моделі мережі.

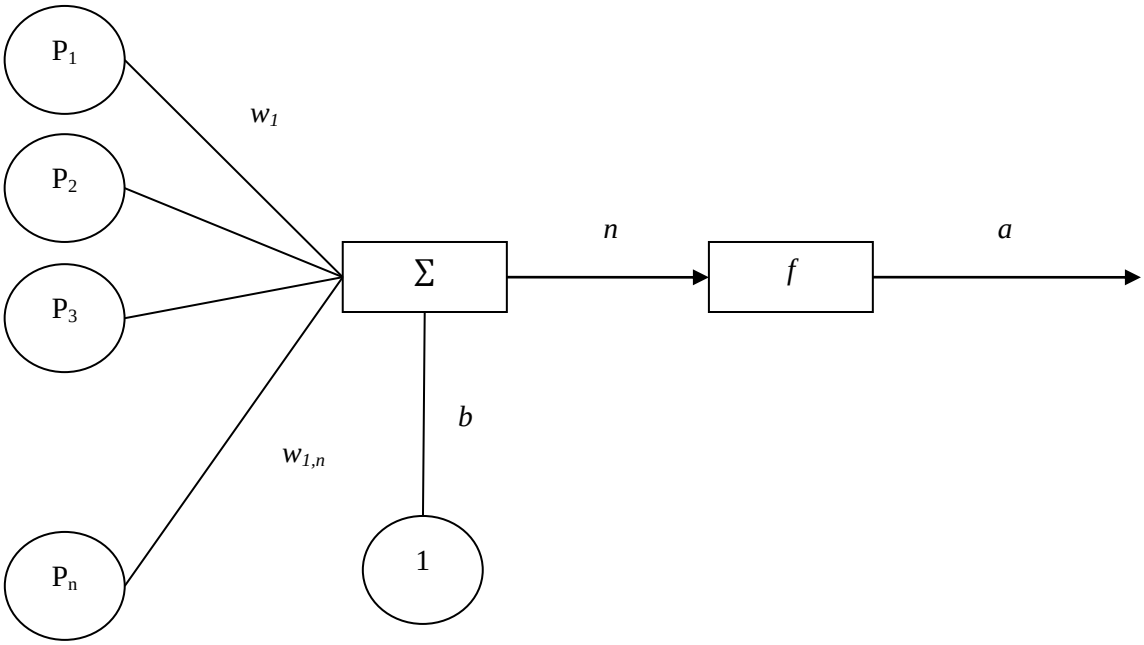


Рисунок 1 – Модель нейронної мережі

Для прогнозування трафіку корпоративної мережі пропонується використовувати багатошаровий персептрон на основі методу зворотного поширення. Багатошаровий персептрон є найбільш часто використовуваною технікою нейронних мереж, що дозволяє виконувати найрізноманітніші програми. Ідентифікація нейронних мереж з багатошаровим перцептроном вимагає двох типів етапів. Перший – це визначення структури мережі. Випробувано різні мережі з прихованим одним шаром, і функцією активації, яка використовується в цьому дослідженні, є сигмовидна функція, що описується як:

$$f(x) = \frac{1}{1 + exp(-x)}$$

Другий етап – ідентифікація параметрів.

Навчання мережі можна розглядати як проблему наближення функції, при якій параметри мережі коригуються під час навчання, намагаючись мінімізувати (оптимізувати) функцію помилок між мережевим виходом та бажаним виходом. Питання алгоритму навчання є дуже важливим для багатошарового перцептрону. Більшість добре відомих алгоритмів навчання нейронної мережі базуються на реальних градієнтних обчисленнях. Серед них найбільш популярним та широко використовуваним алгоритмом навчання є зворотне поширення. Метод зворотного поширення помилки, також відомий як алгоритм розповсюдження помилок, заснований на правилі навчання штучної нейронної мережі.

Алгоритм зворотного поширення помилки використовує градієнти функцій активації нейронів, щоб повернути похибку, яка вимірюється на виході нейронної мережі, і обчислити градієнти вихідної помилки по кожній вазі в мережі. Згодом ці градієнти використовуються для оновлення ваг штучної нейронної мережі.

Стандартний навчальний процес алгоритму розповсюдження помилок може бути реалізований шляхом мінімізації функції помилок E, яка визначається як:

$$E = \sum_{p=1}^{p} \sum_{j=1}^{N_M} \left(y_{j,p}^{M} - t_{j,p}\right)^2 = \sum_{p=1}^{p} E_p$$

де $y_{j,p}^{M} - t_{j,p}$ – квадратична різниця між фактичним вихідним значенням на нейроні *j*-го вихідного шару для шаблону p та цільовим вихідним значенням. Скаляр p є індексом над парами вхід-вихід. Загальною метою навчання є пошук оптимального набору ваг з'єднань таким чином, щоб помилки вихідних даних мережі були мінімізовані.

Для спрощення формулювання рівнянь нехай w є n-мірним ваговим вектором усіх ваг з'єднань та зсувів. Відповідно, рівняння оновлення ваги для будь-якого навчального алгоритму має ітераційну форму. У кожній ітерації синаптичні ваги змінюються у протилежному напрямку до градієнта функції витрат.

Для обчислення градієнта для двох випадків застосовується алгоритм поширення помилок, що підсумовується наступним чином

$$w(k+1) = w(k) + a_k d_k$$

де $w(k) = \left(w_1(k), \ldots\ldots, w_n(k)\right)^T$ – вектор ваги в k ітераціях, n – кількість синаптичних з'єднань мережі, k – індекс ітерацій, a_k – це швидкість навчання, яка регулює розмір градієнта кроку, а d_k – напрямок пошуку, який задовольняє умові спуску.

Напрям спуску заснований на мінімізації функції помилки, а саме $d_k = -g_w$

де $g_w(k) = \left({}^{\partial E}/_{\partial w_1(k)}, \ldots\ldots\ldots, {}^{\partial E}/_{\partial w_n(k)}\right)^T$ – градієнт розрахункової похибки в w. Протягом усього навчання зі стандартним спуском швидкість навчання залишається незмінною, що робить алгоритм дуже чутливим до належного встановлення темпу навчання. Дійсно, алгоритм може коливатися і ставати нестабільним, якщо швидкість навчання встановлена занадто високою. Але, якщо швидкість навчання занадто мала, алгоритм буде довго збігатися.

Основний алгоритм зворотного розповсюдження регулює вагу в напрямку спуску, в якому функціональна здатність найшвидше зменшується. Хоча функція швидше зменшується вздовж вектора градієнта, це не обов'язково забезпечує найшвидшу конвергенцію. В алгоритмах спряженого градієнта виконується пошук по напрямку спряженого градієнта, щоб визначити розмір кроку, який мінімізує функцію продуктивності вздовж цієї лінії.

Методи спряженого градієнта – це клас дуже важливих методів мінімізації гладких функцій, особливо коли розмірність велика.

Принципова перевага методу спряженого графієнта полягає в тому, що вони не вимагають зберігання будь-яких матриць, як у методі Ньютона, або як у квазіньютонівських методах, і вони розроблені для швидкого зближення, ніж метод спуску.

Існує чотири типи спряжених градієнтних алгоритмів, які можна використовувати для навчання.

Всі алгоритми спряженого градієнта починаються з пошуку в напрямку спуску (мінус градієнта) на першій ітерації:

$$p_0 = -g_w(0)$$

де p_0 – початковий градієнт пошуку, а g_0 – початковий градієнт.

Потім виконується пошук лінії, щоб визначити оптимальну відстань для переміщення вздовж поточного напрямку пошуку:

$$w(k+1) = w(k) + a_k d_k$$

Наступний напрямок пошуку визначається таким чином, щоб він був спряжений до попередніх напрямків пошуку. Загальна процедура визначення нового напрямку пошуку полягає в поєднанні нового напрямку спуску з попереднім напрямком пошуку:

$$d_k = -g_w(k) + \beta_k d_{k-1}$$

β_k – параметр, який слід визначити так, що d_k стає k-спряженим напрямком.

Спосіб обчислення константи k відрізняє різні версії спряженого градієнта, а саме: оновлення Флетчера-Рівза, кон'югований градієнт з оновленнями Полака-Ріб'єра, градієнт з перезапусками Пауелла-Біла та масштабований алгоритм спряженого градієнта.

1) Спряжений градієнт з оновленнями Флетчера-Рівза

Процедура оцінки константи β_k за допомогою оновлення Флетчера-Рівза обчислюється як:

$$\beta_k = \frac{g_w^T(k)g_w(k)}{g_w^T(k-1)g_w(k-1)}$$

являє собою відношення квадрата норми поточного градієнта до квадрата норми попереднього градієнта.

2) Спряжений градієнт з оновленнями Полака-Ріб'єра

Константа β_k обчислюється оновленням Полака-Ріб'єра як:

$$\beta_k = \frac{g_w^T(k)y_k}{g_w^T(k-1)g_w(k-1)}$$

де $y_k = g_w(k) - g_w(k-1)$ – внутрішній добуток попередньої зміни градієнта з поточним градієнтом, поділеним на норму в квадраті попереднього градієнта.

3) Кон'югатний градієнт з перезапусками Пауелл-Біла

У спряжених градієнтних алгоритмах напрямок пошуку періодично скидається до від'ємного значення градієнта. Стандартна точка скидання виникає, коли кількість ітерацій дорівнює кількості мережевих параметрів, але існують інші методи скидання, які можуть підвищити ефективність процесу навчання. Цей прийом перезапускається, якщо між поточним та попереднім градієнтом залишається дуже мало ортогональності:

$$\left|g_w^T(k-1)g_w(k)\right| \geq 0{,}2\left|\left|g_w(k)\right|\right|^2$$

Якщо ця умова виконана, напрямок пошуку скидається до від'ємного значення градієнта.

4) Масштабований спряжений градієнт

Масштабований алгоритм спряженого градієнта вимагає лінійного пошуку на будь-якій ітерації, що викликає труднощі з обчисленнями, оскільки вимагає обчислення мережевої реакції для всіх навчальних входів по кілька разів для кожного пошуку. Масштабований алгоритм спряженого градієнта поєднує в собі підхід моделі-довіри та підхід спряженого градієнта. Цей алгоритм був розроблений, щоб уникнути трудомісткого пошуку рядків. Константа обчислюється як:

$$\beta_k = \frac{|g_w(k+1)|^2 g_w^T(k+1)g_w(k)}{|g_w(k)|^2}$$

Алгоритм Левенберга-Марквардта є найбільш широко використовуваним алгоритмом оптимізації. Це ітераційний прийом, який визначає мінімум багатоваріантної функції, який виражається як сума квадратів нелінійних дійсних функцій [16]. Алгоритм Левенберга-Марквардта – це перший алгоритм, який поєднує градієнтний спуск та ітерації Гауса-Ньютона. Як і квазіньютонівські методи, алгоритм Левенберга-Марквардта був розроблений для наближення швидкості навчання другого порядку без необхідності обчислювати матрицю Гессе. Алгоритм Левенберга-Марквардта забезпечує рішення нелінійних задач мінімізації найменших квадратів. Коли функція ефективності має вигляд суми квадратів, тоді матрицю Гессе можна апроксимувати як:

$$H = J^T J$$

де J – матриця Якобі, яка містить перші похідні помилок мережі, а градієнт можна обчислити як:

$$g_w = J^T e$$

де матриця Якобі містить перші похідні помилок мережі щодо ваг та упереджень, а e – вектор помилок мережі.

Алгоритм Левенберга – Марквардта використовує наближення до матриці Гесса в наступному оновленні, подібному до Ньютона:

$$w_{k+1} = w_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e$$

де I – матриця тотожності, а μ – константа.

μ зменшується після кожного успішного кроку (зменшення функції продуктивності) і збільшується лише тоді, коли попередній крок збільшить функцію продуктивності. Таким чином, функція продуктивності завжди зменшується на кожній ітерації алгоритму.

Алгоритм еластичного зворотного розповсюдження

Метою алгоритму еластичного зворотного розповсюдження є усунення шкідливого впливу величин часткових похідних. Тому для визначення напрямку оновлення ваги використовується лише знак похідної. Дійсно,алгоритм еластичного зворотного розповсюдження змінює розмір кроку ваги, який приймається адаптивно. Механізм адаптації в алгоритмі еластичного зворотного розповсюдження не враховує величину градієнта, за певною вагою, а лише знак градієнта (позитивний чи негативний).

Алгоритм еластичного зворотного розповсюдження базується на модифікації кожної ваги значенням оновлення (або параметром навчання) таким чином, щоб зменшити загальну помилку. Значення оновлення для кожної ваги та зміщення збільшується, коли похідна функції продуктивності щодо цієї ваги має однаковий знак для двох послідовних ітерацій.

Принцип цього методу такий:

$$w_k - w_{k-1} = -sign\big(g_w(k-1)\big)\Delta_k$$

$$\Delta_k = n^+\Delta_{k-1} \text{ якщо } g_w(k-1)^* g_w(k) > 0$$

$$\Delta_k = n^-\Delta_{k-1} \text{ якщо } g_w(k-1)^* g_w(k) < 0$$

інакше $\Delta_k = \Delta_{k-1}$ де $0 < n^- < 1 < n^+$

Δ_k – значення оновлення ваги, яке змінюється відповідно до змін знака різниці $(w_k - w_{k-1})$ тієї ж ваги в k ітераціях. Значення оновлення та ваги змінюються після кожної ітерації.

Усі значення оновлення ініціалізуються до значення D_0. Значення оновлення модифікується таким чином: якщо поточний градієнт $\big(g_k(k)\big)$, помножений на градієнт попереднього кроку, є позитивним (тобто напрямок градієнта залишився незмінним), тоді значення оновлення множиться на значення n^+ (яке більше ніж один). Подібним чином, якщо добуток градієнта від'ємний, значення оновлення множиться на значення n^- (яке менше одиниці).

Висновки і перспективи подальших досліджень. У роботі досліджено прогнозування трафіку корпоративної мережі із застосуванням штучних нейронних мереж.

Запропоновано модель штучної нейронної мережі, яка заснована на багатошаровому персептроні для прогнозування інтернет-трафіку через IP-мережі. Запропоновано низку алгоритмів навчання, які використовуються для оцінки ваги нейрона. Порівняння між деякими алгоритмами навчання демонструє ефективність алгоритмів Левенберг Марквардт та алгоритмів еластичного зворотного поширення із використанням статистичних критеріїв. Наведену модель з використанням алгоритму Левенберг Марквардт і алгоритму еластичного зворотного поширення можна успішно використовувати як адекватну модель для ідентифікації та управління Інтернет-трафіком корпоративної мережі. Крім того, модель можна застосовувати як фундаментальний інструмент для прогнозування Інтернет-трафіку у різний час.

Список бібліографічного опису

1. Собчук А. В. Застосування нейромереж для забезпечення функціональної стійкості виробничих процесів / А. В. Собчук, Ю. І. Олімпієва // Телекомунікаційні та інформаційні технології, 2020. № 2. С. 13-28.
2. Бовда, Е. М. Модель моніторингу та прогнозування стану телекомунікаційної мережі з використанням нечітких нейронних мереж / Е. М. Бовда // Збірник наукових праць [Текст] / [редкол.: Романюк В. А. (голов. ред.) та ін.]. Київ: ВІТІ, 2018. Вип. № 1. С.6-16.
3. Герасіна О. В. Методику інтелектуальної ідентифікації та прогнозування трафіку в інформаційних телекомунікаційних мережах / О. В. Герасіна // Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпро, Системи обробки інформації, 2018, випуск 1 (152). С. 94-99.
4. Жуковська Д.О., Воропаєва В.Я. Метод пріоритетного управління радіо ресурсом супутникового каналу на основі прогнозування вхідного трафіку / Д.О. Жуковська, В.Я. Воропаєва // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація» № 1(32)'2019. С. 79-93.
5. Семенова О. О. Застосування нейронної мережі у процедурі вертикального хендоверу / О. О. Семенова, А. О. Семенов, О. О. Войцеховська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 2020. № 3. С. 14-21.
6. Mulla A. S. Queue Management Policies / A. S. Mul-la, B. T. Jadhav // International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET). – 2014. Vol. 3. P. 31-34.
7. B. Tran, S. Picek, B. Xue "Automatic feature construction for network intrusion detection," in Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning. Springer, 2017, pp. 569–580.
8. Keller, J., Liu, D. and Foge, D. (2016), Fundamentals of Computational Intelligence: Neural Networks, Fuzzy Systems, and Evolutionary Computation, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ, 378 p.
9. T. Hamed, J. B. Ernst, S. C. Kremer "A survey and taxonomy on data and preprocessing techniques of intrusion detection systems," in Computer and Network Security Essentials. Springer, 2018, pp. 113–134.
10. Resource allocation for non-delay-sensitive satellite services using adaptive coding and modulation–multiple-input and multiple-output–orthogonal fre-quency division multiplexing / [N. Mokari, P. Haji-pour, L. Mohammadi et al.] // IET Commun. – 2016. – Vol. 10 (3). – P. 309-315.

11. Kolias C., Stavrou A., Voas J., Bojanova I., Kuhn R. "Learning internet-of-things security" hands-on"," IEEE Security Privacy, vol. 14, no. 1, pp. 37–46, 2016.
12. Мендічіно, Самуїл. Комп'ютерні мережі. 1972. С. 95-100. http://rogerdmoore.ca/PS/OCTOA/OCTO.html
13. Aminanto M. E., Choi R., Tanuwidjaja H. C., Yoo P. D., Kim K. "Deep abstraction and weighted feature selection for Wi-Fi impersonation detection," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 13, no. 3, pp. 621–636, 2018.
14. Романчук В.І. Методи та алгоритми управління ресурсами мультисервісних інформаційних функціонально-орієнтованих корпоративних мереж. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі» (172 – Телекомунікації та радіотехніка). – Національний університет «Львівська Політехніка» МОН України, Львів, 2018. 346 с.
15. Коротка Л. І. Функціональна підсистема раціонального вибору архітектури нейронної мережі / Л. І. Коротка // Вісник Херсонського національного технічного університету, 2017. № 3(1). С. 55-59. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_3(1)__10.
16. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация / Practical optimization. – М.: Мир, 1985. 509 с.

References

1. Sobchuk A.V. Application of neural networks to ensure the functional stability of production processes / A.V. Sobchuk, Yu. I. Olimpieva // Telecommunication and information technologies, 2020. № 2. P. 13-28.
2. Bovda E.M. Model of monitoring and forecasting the state of the telecommunications network using fuzzy neural networks / E.M. Bovda // Collection of scientific works [Text] / [editor: Romanyuk VA (ed.) etc.]. Kyiv: VITI, 2018. Issue. № 1. P.6-16.
3. Gerasina O.V. Methods of intellectual identification and traffic forecasting in information telecommunication networks / O.V. Gerasina // State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipro, Information Processing Systems, 2018, Issue 1 (152). Pp. 94-99.
4. Zhukovskaya D.O., Voropaeva V.Ya. Method of priority management of radio resource of the satellite channel on the basis of forecasting of incoming traffic / D.O. Zhukovska, V.Ya. Voropaeva // Scientific works of DonNTU. Series: "Computing and Automation" № 1 (32) '2019. Pp. 79-93.
5. Semenova O.O. Application of neural network in the procedure of vertical handover / O.O. Semenova, A.A. Semenov, O.O. Wojciechowska // Information technologies and computer engineering, 2020. № 3. P. 14-21.
6. Mulla A. S. Queue Management Policies / A. S. Mul-la, B. T. Jadhav // International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET). - 2014. Vol. 3. P. 31-34.
7. B. Tran, S. Picek, B. Xue "Automatic feature construction for network intrusion detection," in Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and Learning. Springer, 2017, pp. 569–580.
8. Keller, J., Liu, D. and Foge, D. (2016), Fundamentals of Computational Intelligence: Neural Networks, Fuzzy Systems, and Evolutionary Computation, John Wiley & Sons Inc., Hoboken, NJ, 378 p.
9. T. Hamed, J. B. Ernst, S. C. Kremer "A survey and taxonomy on data and preprocessing techniques of intrusion detection systems," in Computer and Network Security Essentials. Springer, 2018, pp. 113–134.
10. Resource allocation for non-delay-sensitive satellite services using adaptive coding and modulation – multiple-input and multiple-output – orthogonal fre-quency division multiplexing / [H. Mokari, P. Haji-pour, L. Mohammadi et al.] // IET Commun. - 2016. - Vol. 10 (3). - P. 309-315.
11. Kolias C., Stavrou A., Voas J., Bojanova I., Kuhn R. "Learning internet-of-things security" hands-on "," IEEE Security Privacy, vol. 14, no. 1, pp. 37–46, 2016.
12. Mendicino, Samuel. Computer networks. 1972. S. 95-100. http://rogerdmoore.ca/PS/OCTOA/OCTO.html
13. Aminanto M. E., Choi R., Tanuwidjaja H. C., Yoo P. D., Kim K. "Deep abstraction and weighted feature selection for Wi-Fi impersonation detection," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 13, no. 3, pp. 621–636, 2018.
14. Romanchuk V.I. Methods and algorithms for resource management of multiservice information functionally-oriented corporate networks. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.12.02 "Telecommunication systems and networks" (172 - Telecommunications and radio engineering). - National University "Lviv Polytechnic" MES of Ukraine, Lviv, 2018. 346 p.
15. Korotka L.I. Functional subsystem of rational choice of neural network architecture / L.I. Korotka // Bulletin of the Kherson National Technical University, 2017. № 3 (1). Pp. 55-59. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtu_2017_3(1)__10.
16. Gill F., Murray W., Wright M. Practical optimization. - M .: Mir, 1985. 509 s.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-16
УДК 519.876.5; 621.31.33
Лишук Віктор Васильович, доцент
https://orcid.org/0000-0003-4049-8467
Євсюк Микола Миколайович, доцент
https://orcid.org/0000-0002-2421-1844
Приступа Станіслав Олексійович, доцент
https://orcid.org/0000-0002-2421-1844
Селепина Йосип Романович, доцент
https://orcid.org/0000-0002-2421-1844
Якимчук Наталія Миколаївна, асистент
https://orcid.org/0000-0002-8173-449X
Луцький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА AC-DC

Лишук В.В., Євсюк М.М., Приступа С.О., Селепина Й.Р., Якимчук Н.М. Математична модель напівпровідникового перетворювача AC-DC. У статті запропоновано математичну модель напівпровідникового перетворювача AC-DC, рівняння електромагнітного стану якого записані в нормальній формі Коші. Як відомо, такі диференціальні рівняння суттєво спрощують алгоритми інтегрування під час дослідження перехідних станів пристрою. Запропонована модель мостового випрямляча дасть змогу правильно проектувати та експлуатувати такі пристрої. Результати комп'ютерної симуляції приведені графічними залежностями.
Ключові слова: математична модель, перетворювач, ключ, алгебраїчні та диференціальні рівняння.

Lyshuk V.V., Yevsiuk M.M., Prystupa S.O., Selepyna Y.R., Yakymchuk N.M. Mathematical model of the AC-DC semiconductor converter. The article proposes a mathematical model of an AC-DC semiconductor converter, the equations of the electromagnetic state of which are written in the Cauchy normal form. As is known, such differential equations greatly simplify the integration algorithms in the study of transient modes of the device. The proposed model of a bridge rectifier will make it possible to correctly design and operate such devices. The results of computer simulation are shown by graphical dependencies.
Key words: mathematical model, converter, key, algebraic and differential equations.

Постановка наукової проблеми. На сьогодні математичне моделювання є потужним інструментом при дослідженні та аналізі перехідних процесів у електротехнічних та електронних силових пристроях. Невпинний прогрес побудови сучасних пристроїв силової електроніки, електротехніки та телекомунікацій неминуче призводить до морального зношення існуючих. Розробка сучасних технологій та методів аналізу таких пристроїв є невід'ємною задачею фахівців в області математичного моделювання. На сьогодні теоретичні положення, що спираються на фундаментальні закони електротехніки є достатньо розроблені [1, 2, 3].

Як відомо, динамічні процеси в електронних та електротехнічних пристроях описуються як правило системою нелінійних алгебро-диференціальних рівнянь, а в деяких випадках і диференціальних рівнянь з частинними похідними. Вдосконалення апарату математичного моделювання, а також математичних моделей складних електронних та електротехнічних пристроїв є визначальним і належить до важливих задач в області математичного моделювання. Аналіз таких пристроїв спирається на знання математичних моделей їхніх окремих компонентів [4].

Методи розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь вимагають все нових і нових підходів у залежності від застосування того чи іншого чисельного методу. Тому практичний підхід до розв'язання задач математичного моделювання електронних та електротехнічних пристроїв, в тому числі пристроїв силової перетворювальної техніки є об'єктивною реальністю.

Аналіз досліджень. Основними досліджуваними електронними та електротехнічними пристроями можуть бути трансформатори, перетворювачі AC-DC, інвертори, виконавчі, крокові двигуни постійного та змінного струму. У залежності від умов постановки задачі, прийнятих вихідних допущень та використання математичного апарата (звичайні диференціальні рівняння чи рівняння з частинними похідними) математичні моделі в математичному аспекті можна розглядати як задачу Коші (звичайні диференціальні рівняння) або мішану задачу (диференціальні рівняння з частинними похідними).

Побудову моделі продемонструємо на прикладі випрямляча, виконаного за мостовою схемою. Така математична модель дасть змогу розв'язати такі задачі як використання у системах автоматизованого проектування, застосування різних видів моделей і комп'ютерних програм при

проектуванні та експлуатації електротехнічних пристроїв, використання комп'ютерної симуляції для відмови від натурних експериментів.

Сучасні методи та алгоритми розрахунку перехідних процесів у всіх електротехнічних пристроях повинні ґрунтуватись на ідентичному математичному апараті. Для цього слід відмовитись від традиційних підходів в області електротехніки та сформувати таку систему нелінійних диференціальних рівнянь електромагнітного стану досліджуваного пристрою, яка була б записана у нормальній формі Коші.

Саме така форма запису дає змогу застосувати прийнятні з точки зору алгоритмічної реалізації явні чисельні методи, що потребують меше машинного часу і задовольняють показникам точності інтегрування. З іншого боку аналізуючи розв'язок диференціальних рівнянь, а саме перехідні процеси електричних величин можна уникнути багатьох небажаних режимів роботи [3].

Виклад основного матеріалу й обгрунтування отриманих результатів дослідження. Покажемо спосіб побудови моделі на прикладі перетворювача змінного струму в постійний, а саме формування нелінійних диференціальних рівнянь. Залежно від параметрів електричної схеми, а саме вхідної напруги та номіналу і характеру навантаження можна отримати різні перехідні процеси.

Подання роботи напівпровідникових вентилів за схемою ідеального ключа значно спрощує алгоритм аналізу та зменшує кількість обчислювальних операцій [4, 5].

Випрямляч складається з понижувального трансформатора з насиченою магнітною системою, напівпровідникових вентилів та активного навантаження. Саме така структура електромагнітного кола зумовлює нелінійність рівнянь. Такий пристрій характеризується досить складною логікою роботи вентилів, а саме їх послідовністю спрацьовування (відкриття-закриття). Вважатимемо вентилі ідеальними ключами.

Встановимо логіку роботи вентилів, тобто визначимо максимальну можливу кількість комбінацій відкритих і закритих вентилів. Після цього слід записати рівняння стану випрямляча для кожної комбінації. Рівняння окремих комбінацій вентилів можна звести до однієї, використавши додаткові логічні змінні.

Обмежимось найвживанішим випадком, а саме одночасного відкриття не більше трьох вентилів. На інтервалі одного періоду вхідної напруги існує дванадцять комбінацій, з яких шість – по три відкритих і шість по два відкритих вентилів.

Запишемо рівняння для однієї комбінації, коли відкриті три вентилі. Застосувавши логічні змінні, можемо записати інші. Таку схему для відкритих вентилів однієї полярності у фазі В та іншої полярності у фазах А і С зображено на рис.1.

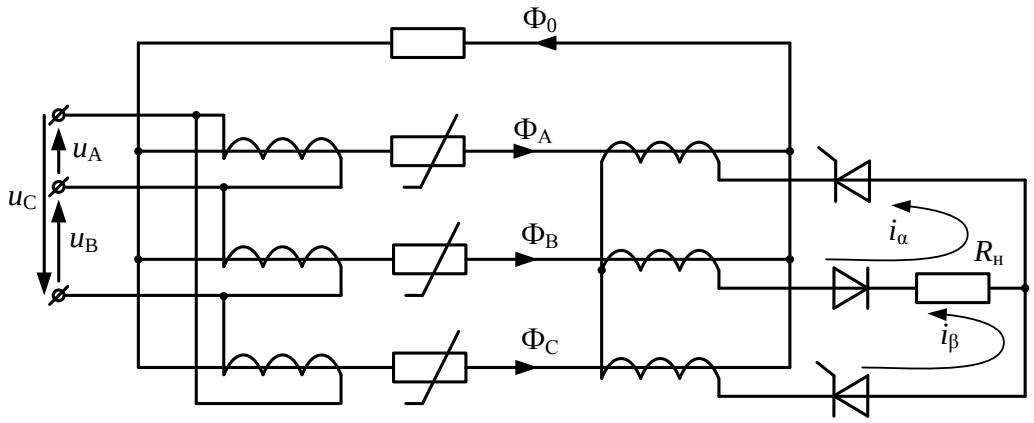


Рисунок 1 – Електрична схема пристрою на одній з комбінацій відкриття вентилів

Рівняння первинної обмотки трансформатора запишемо за II законом Кірхгофа

$$E_1 = \frac{d\psi_1}{dt} = U_1 - I_1 \cdot R_1, \tag{1}$$

Тут ψ_1 – колонка повних потокозчеплень, U_1, I_1 – колонка електричних напруг та струмів обмотки відповідно.

Оскільки трансформатор є симетричним пристроєм, то опори первинної обмотки всіх фаз однакові. Матриця опорів R_1 має вигляд [4], причому $r_{1A} = r_{1B} = r_{1AC} = r_{1A}$.

$$R_1 = \frac{1}{3}\begin{vmatrix} 2r_{1A} & -r_{1B} & -r_{1C} \\ -r_{1A} & 2r_{1B} & -r_{1C} \\ -r_{1A} & -r_{1B} & 2r_{1C} \end{vmatrix}. \tag{2}$$

Рівняння електричної рівноваги вторинної обмотки записуємо за методом контурних струмів. Прийнявши вітки фаз А і С за хорди, а вітку фази В до ребра, отримаємо [4]

$$\frac{d\psi_2^K}{dt} = U_2^K - I_2^K \cdot R_2. \tag{3}$$

Матриця опорів R_1 має вигляд (2). Колонку реальних струмів вторинної обмотки знайдемо згідно [4], використавши топологічну матрицю F

$$I_2 = F \cdot I_2^K, \tag{4}$$

де

$$F = \begin{vmatrix} 1 & \\ -1 & -1 \\ 1 & \end{vmatrix}. \tag{5}$$

Фазні струми первинної обмотки

$$I_1 = \alpha_1 \left(\psi_1 - w_1 \cdot \Phi\right), \tag{6}$$

Тут $\alpha_1 = \frac{1}{L_1} = \frac{\omega}{X_1}$ – обернена індуктивність розсіяння обмоток, Гн$^{-1}$, ψ_k, $w_1 \cdot \Phi$ – колонка робочого потокозчеплення обмотки.

Контурні струми вторинної обмотки

$$I_2^K = \alpha_2 H \left(E\psi_2^K - w_2 \cdot \Phi\right), \tag{7}$$

де

$$H = \chi\sigma = \begin{vmatrix} \frac{2}{4-\xi} & -\frac{2-\xi}{4-\xi} & -\frac{\xi}{3} \\ -\frac{\xi}{3} & -\frac{\xi}{3} & \frac{2\xi}{3} \end{vmatrix}, \tag{8}$$

$$E = \begin{vmatrix} 1 & \\ & \\ & 1 \end{vmatrix}. \tag{9}$$

Величини ξ, χ, σ визначають логіку відкриття вентилів. Змінна ξ приймає значення 0 і 1. При ξ = 1 маємо випадок, що показаний на рис.1, а при ξ = 0 – стан, коли вентиль фази С закрився, при цьому контурний струм $i_\beta = 0$.

Рівняння стану стану магнітопровода запишемо у вигляді

$$\left.\begin{aligned} w_1 i_{1A} + \chi\sigma w_2 i_\alpha &= (\rho'_A + \rho_0)\Phi_A + \rho_0(\Phi_B + \Phi_C), \\ w_1 i_{1B} - \chi\sigma w_2 (i_\alpha + i_\beta) &= (\rho'_B + \rho_0)\Phi_B + \rho_0(\Phi_A + \Phi_C), \\ w_1 i_{1C} + \chi\sigma w_2 i_\beta &= (\rho'_C + \rho_0)\Phi_C + \rho_0(\Phi_A + \Phi_B). \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Змінні χ і σ приймають значення ±1. Для опису роботи випрямляча при різних комбінаціях відкриття вентилів достатньо в колонках U_1, I_1 та Ф, а також у виразах (9), (10) здійснити циклічну заміну індексів, яка визначається умовою відкриття цих вентилів. Умови відкриття відповідних пар вентилів j і k визначаємо за величиною робочих ЕРС вторинної обмотки трансформатора:

$$mod(e_{jk}) = max; \quad \sigma = sign(e_{jk}); \quad j,k = A,B,C, \quad j \neq k, \quad (11)$$

де

$$e_{jk} = w_2\left(\frac{d\Phi_j}{dt} - \frac{d\Phi_k}{dt}\right). \quad (12)$$

Приведемо таблицю відповідності змінних j і k та ξ, χ при циклічній зміні індексів

j,k	$B,\ A$	$A,\ C$	C,B
ξ	1 0	1 0	1 0
χ	1	–1	1
	A,B,C	C,A,B	B,C,A

. (13)

В умовах (12) фігурує три ЕРС трьох фаз, причому найбільше абсолютне значення однієї з них визначає значення індексів j і k.

Маючи значення цих індексів з (12) визначаємо ξ, χ, а також порядок зміни зміни індексів. Так при $j = C$, $k = A$, то при початковому значенні $\xi = 0$ необхідно замінити індекси $A \to C$, $B \to A$, $C \to B$. У момент зміни індексів j і k $\xi = 1$ і стає рівним нулю лише при умові природного закриття третього вентиля при зміні напряму його струму.

$$i_\beta \leq 0. \quad (14)$$

Повна система алгебро-диференціальних рівнянь (1), (3), (6), (7), (10) інтегрується неявним чисельним методом Ейлера, що є складнішим в комп'ютерній реалізації [5]. Щоб перейти до явного методу Ейлера продиференціюємо вирази (6), (7), (11) за часом і виключимо струми первинної обмотки, отримуємо систему диференційних рівнянь і зводимо її до нормальної форми Коші.

$$\begin{aligned} \frac{d\Phi}{dt} &= D_1(U_1 - R_1 I_1) + D_2(U_d - R_d I_d), \\ \frac{dI}{dt} &= A_3(U_1 - R_1 I_1) + A_4(U_d - R_d I_d). \end{aligned} \quad (15)$$

Матриці D_1, D_2 мають вигляд [3]

$$D_1 = w_1\alpha_1\Lambda; \quad D_2 = w_2\alpha_2\Lambda. \quad (16)$$

Тут Λ - матриця магнітних провідностей [3]

$$\Lambda = \frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} \rho_B\rho_C - a^2 & a^2 - b\rho_C & a(b-\rho_B) \\ a^2 - b\rho_C & \rho_A\rho_C - a^2 & a(b-\rho_A) \\ a(b-\rho_B) & a(b-\rho_A) & \rho_A\rho_B - b^2 \end{vmatrix} \quad (17)$$

Причому

$$\Delta = \rho_C\left(\rho_A\rho_B - b^2\right) + a^2\left(2b - \rho_A - \rho_C\right); \qquad a = \rho_0 - \frac{\xi\alpha_2 w_2^2}{3}; \qquad \rho_A = \rho_A'' + \rho_0 + \alpha_1 w_1^2 + \frac{2\alpha_2 w_2^2}{4-\xi};$$

$$b = \rho_0 - \frac{\alpha_2 w_2^2\left(2-\xi\right)}{4-\xi}; \qquad \rho_B = \rho_B'' + \rho_0 + \alpha_1 w_1^2 + \frac{2\alpha_2 w_2^2}{4-\xi}; \qquad \rho_C = \rho_C'' + \rho_0 + \alpha_1 w_1^2 + \frac{2\alpha_2 w_2^2\xi}{3}. \tag{18}$$

Матриці A_3, A_4 записуємо наступним чином

$$A_3 = -\alpha_1 w_1 \alpha_2 w_2 H\Lambda; \quad A_4 = \alpha_2 H\left(E - \alpha_2 w_2 \Lambda\right). \tag{19}$$

Розглянемо алгоритм розрахунку перехідних процесів змодельованого випрямляча.

1. Маючи поточне значення (на першому кроці початкове) значення потоку Ф обчислюємо статичний та диференційні магнітні опори магнітопроводу трансформатора за характеристикою намагнічування відомої марки сталі.

2. Маючи поточні значення (на першому кроці початкові) умови відкриття ключів (11) за таблицею (12) визначаємо змінні *j*, *k*, ξ, χ, формуємо матриці (8), (17).

3. Маючи поточні значення струмів i_α, i_β знаходимо за формулами (9), (4) струми первинної та вторинної обмоток.

4. Маючи значення напруг на вході та на навантаженні визначаємо за формулами (15) похідні потоків та струмів.

5. За даними пункту 4 перевіряємо умову відкриття вентилів (10).

6. Інтегруємо систему рівнянь (15), в результаті чого знаходимо потоки та струми, що відповідають приросту часу *t*.

7. Первіряємо умову (14) і якщо вона виконується, то ξ = 0.

8. Інтегрування продовжуємо до тих пір, поки $t < t_{end}$.

На рис.2 показано результати симуляції випрямляча, а саме розрахункових кривих лінійного струму (1) та фазного струмів (2) первинної обмотки, випрямленого струму вторинної обмотки (3) трансформатора ТС 2,5/0,5, навантаженим опором 30 Ом у стані раптового ввімкнення на номінальну напругу. Слід зауважити, що при наявності в колі керованих ключів в умовах (11) слід забезпечити час затримки зміни індексів.

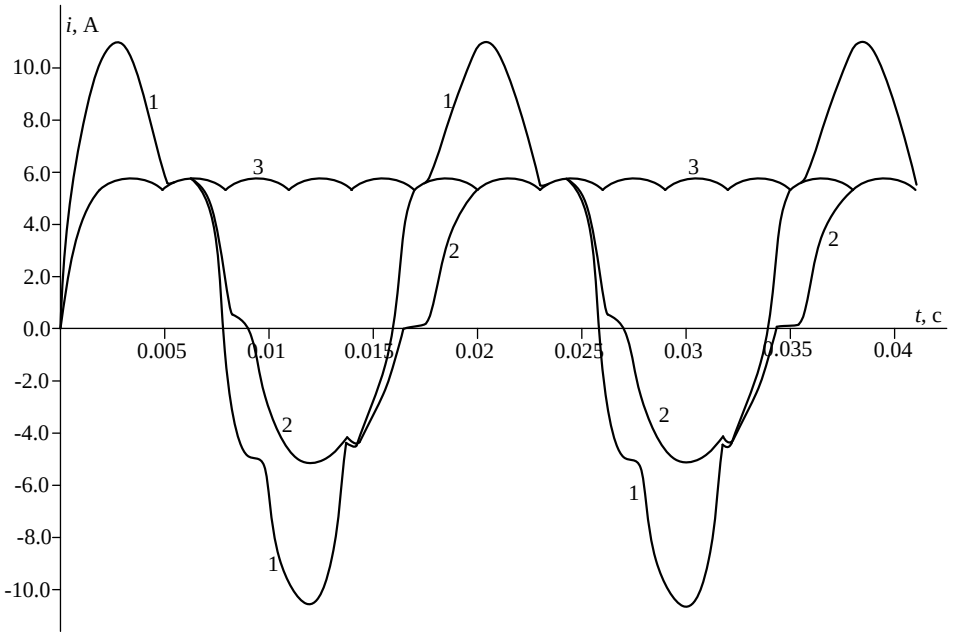


Рисунок 2 – Результати симуляції

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Основною перевагою математичної моделі мостового випрямляча є те, що диференціальні рівняння стану дають змогу з високою точністю просимулювати динамічні процеси і максимально спростити обчислювальний процес в процесі інтегрування. Одержано практичну можливість аналізу перехідних процесів у мостовому випрямлячі в робочих та аварійних режимах роботи.

Список бібліографічного опису

1. Казачковський М.М. Керовані випрямлячі: Навчальний посібник / М.М. Казачковський. – Дніпропетровськ, 1999. – 229 с.
2. Мельник В. П. Математичні моделі електроенергетичних систем. Навч. посібник / В. П. Мельник. – К., 1993. – 336 с.
3. Руденко В.С. Преобразовательная техника / В.С. Руденко, В.І. Сенько, І. М. Чиженко.– К.: Вища школа, 1978. – 424 с.
4. Чабан В. Математичне моделювання електромеханічних процесів / В. Чабан. – Львів : Видавництво Державного університету „Львівська політехніка", 1997. – 342 с.
5. Чабан В. Чисельні методи / В. Чабан. Львів: Вид-во Національного університету „Львівська політехніка", 2001. – 186 с.

Referenses

1. Kazachkovsky MM Controlled rectifiers: Textbook / M.M. Kazachkovsky. - Dnepropetrovsk, 1999. – 229 p.
2. Melnyk VP Mathematical models of electric power systems. Teaching manual / VP Melnik. – K, 1993. - 336 c.
3. Rudenko V.S. Converting technology / V.S. Rudenko, V.I. Senko, I. M. Chizhenko. - K .: High school, 1978. - 424 p.
4. Tchaban V. Mathematical modeling of electromechanical processes / V. Tchaban. – Lviv: Publisher of the State university "Lviv Polytechnic", 1997. – 342 p.
5. Tchaban V. Numerical methods / V. Tchaban. – Lviv: Publisher of the National university "Lviv Polytechnic". 2001. – 186 p.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-17
УДК 004.72
Микитенко Сергій Сергійович, аспірант,
https://orcid.org/0000-0001-8842-004X
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ МЕРЕЖ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

Микитенко С.С. Принципи формування архітектури мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління. Проведено огляд принципів формування архітектури стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G). Розкрито основні обмеження та принципи реалізації архітектури 5G. Визначено основні стеки протоколів 5G NR, які поділено на три основні рівні: фізичний; MAC, RLC, PDCP; RRC, які представлено схематично. Описано сутність мережі O-RAN, яка пропонує можливість повного (або часткового) виконання стека протоколів у віддаленому обчислювальному центрі, реалізованому на персональному комп'ютері, за рахунок чого реалізується концепція хмарної C-RAN (Cloud RAN). Проілюстровано поточну архітектуру 3GPP 5G з відокремленням недоліків наведеної архітектури. До основних напрямків, які потребують детального опрацювання віднесено, у першу чергу, розділ протоколів між радіоінтерфейсом і стеком протоколів N2/N3 вузлів RAN, що дозволить реалізувати стійкий доступ та постійний зв'язок у мережі, мінімізуючи зовнішні впливи, по-друге, модифікація панелі управління обладнання користувача, за рахунок керування потоком даних висхідної лінії, що дозволить панелі управління гнучко підключатися до різних мереж, таких як 5GC, 4G CN, або безпосередньо до Інтернету. Наведено новітню архітектуру стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G), яка зв'язується з 5G через уніфікований об'єкт взаємодії замість окремих функцій взаємодії. Запропоновано модифікацію панелі управління обладнання користувача, наголошено на мінімальних програмних змінах в архітектурі 3GPP 5G, які легко реалізувати, а найголовнішим у запропоновано підході є відсутність змін у протоколі між панеллю управління користувача та gNB та 5GC, а також gNB та 5GC. Підкреслено, що архітектура стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління RAN 5G володіє спрощеною інтеграцією з кількома RAT, ефективне керування потоками даних у RAN, гнучкість підключення до будь-якої CN або Інтернету безпосередньо через RAN на основі 4G/5G/Wi-Fi.
Ключові слова: архітектура, мережа, стільниковий зв'язок, 5G, модернізація, перепроектування, п'яте покоління.

Mykytenko S.S. Principles of the architecture of the fifth generation cellular networks. A review of the principles of formation of the architecture of the fifth generation cellular communication standard (5G) has been carried out. The main limitations and principles of 5G architecture implementation are revealed. The main 5G NR protocol stacks are defined, which are divided into three main layers: physical; MAC, RLC, PDCP; RRC, which are represented schematically. The essence of the O-RAN network is described, which offers the possibility of full (or partial) execution of the protocol stack in a remote computing center implemented on a personal computer, due to which the cloud concept of C-RAN (Cloud RAN) is implemented. The current 3GPP 5G architecture is illustrated, highlighting the shortcomings of the architecture shown. The main areas requiring detailed processing include, first of all, the section of protocols between the radio interface and the N2/N3 protocol stack of RAN nodes, which will allow to implement stable access and constant communication in the network, minimizing external influences, and secondly, modification of the user equipment control panel , by controlling the uplink data flow, which will allow the control panel to flexibly connect to various networks such as 5GC, 4G CN, or directly to the Internet. The latest architecture of the fifth generation (5G) cellular standard is presented, which communicates with 5G through a unified interaction object instead of separate interaction functions. A modification of the user equipment control panel is proposed, minimal software changes in the 3GPP 5G architecture are noted, which are easy to implement, and the most important thing in the proposed approach is the absence of changes in the protocol between the user control panel and gNB and 5GC, as well as gNB and 5GC. It is emphasized that the architecture of the fifth generation cellular communication standard RAN 5G has simplified integration with multiple RATs, efficient data flow control in the RAN, the flexibility to connect to any CN or the Internet directly through the RAN based on 4G/5G/Wi-Fi.
Keywords: architecture, network, cellular communication, 5G, modernization, redesign, fifth generation.

Вступ та постановка проблеми.

В останні роки, на ринку сучасного зв'язку з'явився стандарт стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G), який передбачає підтримку різних варіантів використання, тобто розширеного мобільного широкосмугового зв'язку, надзвичайно надійного зв'язку з малою затримкою та масового зв'язку машинного типу. Великомасштабні функціональні здібності призвели до багатьох нововведень і модернізованих принципів перепроектування стільникової мережі в рамках стандартизації 5G проекту 3-го покоління (3GPP), таких як архітектура на основі послуг, віртуалізовані мережеві функції, поділ планів керування та користувачів і розділення мережі. Головною передовою функцією стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G) виступає можливість об'єднання технологій множинного доступу в базовій мережі 5G (5GC), що є важливим кроком до підвищення ефективності мережі. До технологій доступу, які покладені в основу інноваційного стандарту, варто віднести: доступ 3GPP (наприклад, NodeB наступного покоління (gNB) і розвинений NodeB (eNB)) і доступ без 3GPP (наприклад, Wi-Fi і доступ по дротовій мережі). Проте, враховуючі різносторонні доповнення, стандарт 5G має певні неточності у поточній архітектурі, які потребують детального опрацювання з метою виявлення критичних точок з'єднання.

Також проблемою є неможливість розгортання мережі за допомогою продукції від різних постачальників, яка є основою сучасної політики виробників телекомунікаційних пристроїв. Натомість оператори стільникового зв'язку змушені купувати обладнання та програмне забезпечення (ПЗ) у одного постачальника, щоб налаштувати та здійснювати якісне обслуговування споживачів у рамках послуг, що надаються компанією. Нову концепцію організації архітектури мережі запропонували розробники із альянсу Open-RAN (O-RAN). Основна концепція O-RAN полягає у відкритості радіоінтерфейсів та програмного вихідного коду, який є доступним та має функцію співпраці зі сторонніми програмами. Цей підхід дозволяє як комбінувати технологічну продукцію різних постачальників, а й розробляти власні рішення. Альянсом O-RAN запропоновано концепцію «білої скриньки», згідно з якою на ринок буде випущено відкрите мережеве обладнання з можливістю вільної модернізації. Згідно з прогнозами аналітиків, ця концепція дозволить скоротити CAPEX і OPEX і прискорити розгортання мереж 5G NR.

Аналіз досліджень і публікацій.

В останні роки з'являється все більше робіт, в яких описуються механізми та принципи застосування стандартів стільникового зв'язку на різних пристроях та у різних областях науки.

Було досліджено моделі та алгоритми функціонування гетерогенних мереж мобільного зв'язку за наявності кількох конкуруючих операторів зв'язку та високої гетерогенності технологій радіодоступу, типів пристроїв та вимог до параметрів якості передавання даних [1].

Також, було проаналізовано питання інформаційної технології підвищення ефективності роботи базових станцій стільникового оператора [2]. Було встановлено, що одним із головних напрямків розвитку сучасних телекомунікацій є удосконалення існуючих і створення нових поколінь стільникових мереж зв'язку, зокрема, 5G.

Було здійснуно огляд проблеми функціонування систем забезпечення якості у мережах п'ятого покоління. На підставі чого, було встановлено, що оскільки принципи управління QoE при переході від 4G до 5G будуть збережені, основні зусилля розробників 5G повинні бути зосереджені на віртуалізації втратити зв'язок із мережею, що відповідають за управління та контроль QoE в мережі [3].

Також, здійснуно аналіз тенденцій становлення та розвитку технологій мобільного зв'язку п'ятого покоління у світі та його вплив на процеси цифровізації економіки, а також визначено високу перспективність цієї практики для імплементації в умовах України [4].

Додатково, було досліджено методи підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку [5].

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання огляду принципів формування архітектури стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G) залишається відкритим та потребує детального опрацювання [6-7].

Невирішені раніше частини проблеми, яким присвячується стаття.

До основних напрямків, які потребують детального опрацювання варто віднести, у першу чергу, розділ протоколів між радіо-інтерфейсом і стеком протоколів N2/N3 вузлів RAN, що дозволить реалізувати стійкий доступ та постійний зв'язок у мережі, мінімізуючи зовнішні впливи, по-друге, модифікація панелі управління обладнання користувача, за рахунок керування потоком даних висхідної лінії, що дозволить панелі управління гнучко підключатися до різних мереж, таких як 5GC, 4G CN, або безпосередньо до Інтернету.

Мета дослідження.

Провести огляд принципів формування архітектури стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G).

Виклад основного матеріалу дослідження та обґрунтування отриманих результатів наукового дослідження.

Кожне наступне покоління бездротових технологій традиційно вводиться разом із новими діапазонами спектра, які надаються для розгортання цієї технології. Оскільки кількість користувачів, які використовують нову технологію, поступово збільшується, спектр може бути перенесений з більш старої до більш нової технології. Однак у випадку архітектури стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G) додатковим обмеженням є те, що нові діапазони спектру, пропоновані для мереж 5G, знаходяться на більш високих частотах і, отже, не забезпечують такий рівень покриття, як діапазони спектру, на яких мережі стандарту LTE розгорнуті в даний час. Для усунення цього обмеження у стандарті 5G передбачена можливість спільного використання радіо-інтерфейсів NR та LTE.

Стек протоколів 5G NR включає 3 рівні:

Layer 1 (L1) – фізичний;

Layer 2 (L2) – MAC, RLC, PDCP;

Layer 3 (L3) – RRC.

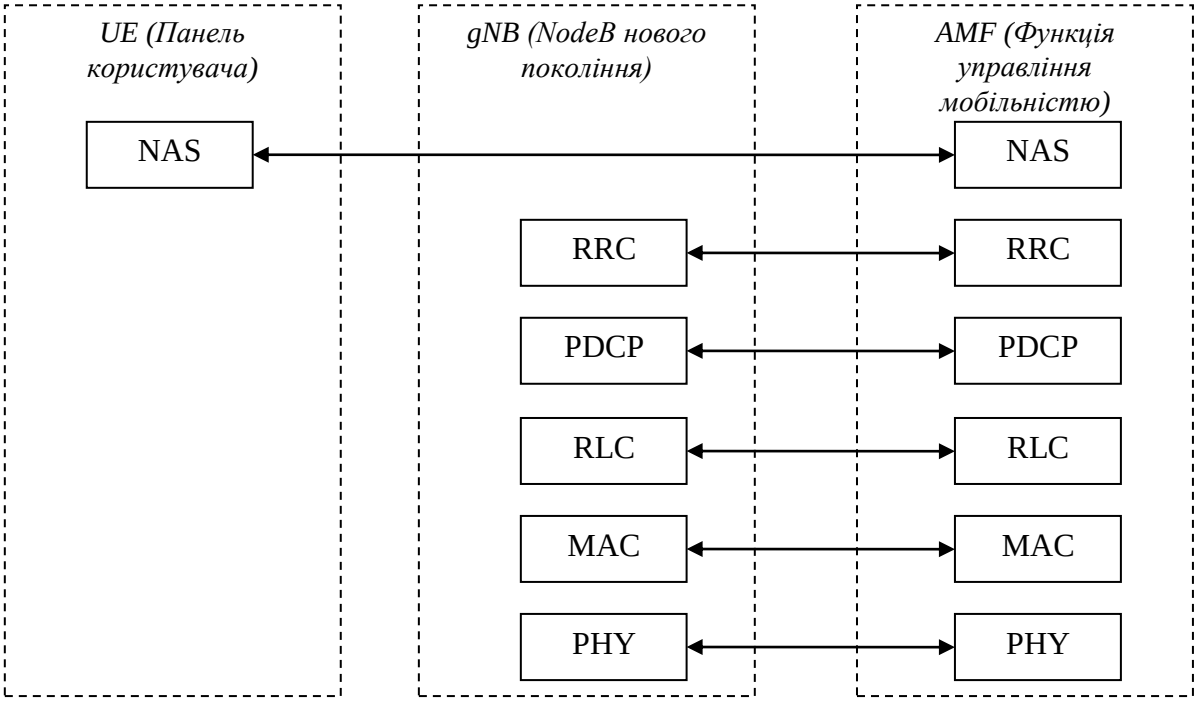


Рисунок 1 – Структура стеку протоколів 5G NR

У мережах 4G LTE цей стек виконувався у спеціалізованому обладнанні. Архітектура мережі O-RAN пропонує можливість повного (або часткового) виконання стека протоколів у віддаленому обчислювальному центрі, реалізованому на персональному комп'ютері, за рахунок чого реалізується концепція хмарної C-RAN (Cloud RAN). Тому сьогодні існує гостра необхідність провести комплексні дослідження різних реалізацій O-RAN, у тому числі для оцінки та аналізу факторів, що впливають на обчислювальну складність процедур O-RAN [8].

Поточна архітектура 3GPP 5G проілюстрована на рис. 2.

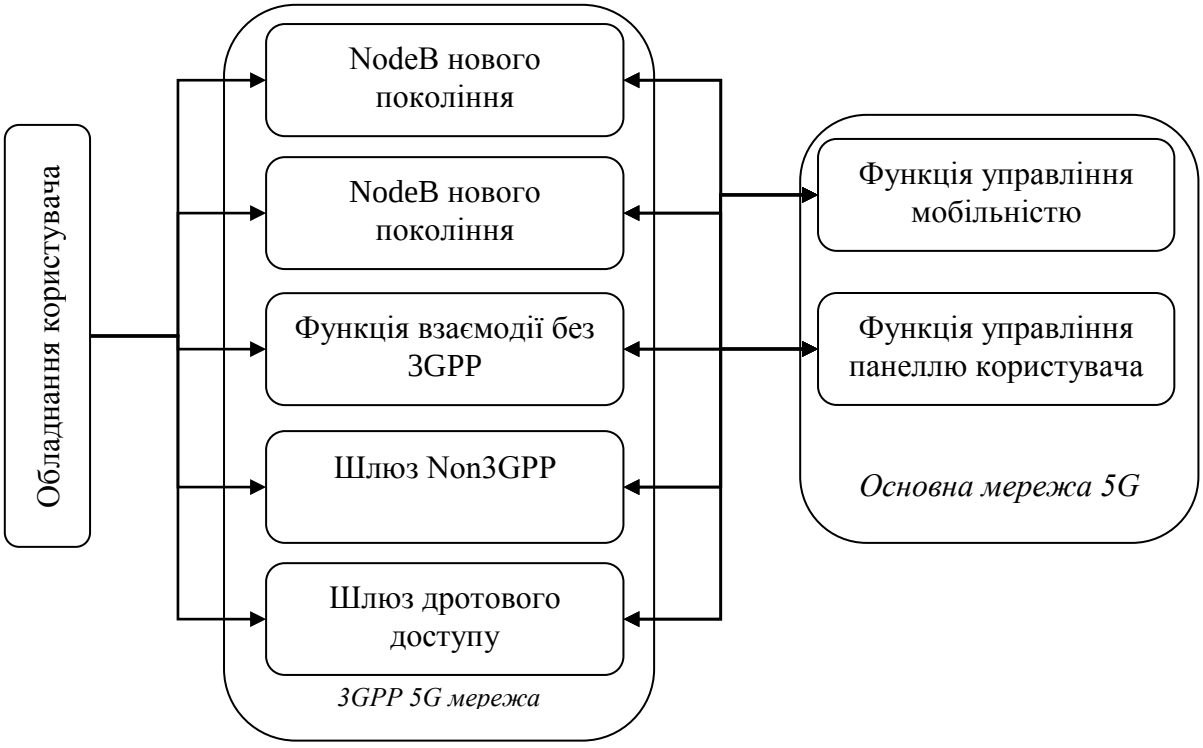


Рисунок 2 – Поточна архітектура 3GPP 5G

У рамках якого показано, як різні технології доступу взаємодіють із 5G за допомогою окремих взаємодіючих об'єктів. Ненадійний доступ до Wi-Fi використовує Non-3GPP Interworking Function (N3IWF), довірений доступ до Wi-Fi використовує довірений шлюз Trusted Non-3GPP Gateway Function (TNGF), а дротовий доступ використовує функцію Wireline Access Gateway Function (W-AGF) для взаємодії з 5G.

На рисунку 3 наведено новітню архітектуру стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління (5G). Наведена інноваційна архітектура зв'язується з 5G через уніфікований об'єкт взаємодії замість окремих функцій взаємодії. Крім того, під час огляду архітектури O-RAN основною метою є забезпечення гнучкого інтерфейсу між RAN і CN, щоб будь-яка RAN могла підключатися безпосередньо до будь-якої стільникової мережі CN або Інтернету. Програмно визначений контролер 5G-Flow діє як контролер RAN з кількома RAT, який керує уніфікованим об'єктом взаємодії та потоками даних через декілька RAT у RAN. Оскільки контролер має доступ до інформації на рівні RAN, такого як навантаження на трафік та стан радіоканалу, він може ефективно керувати потоками даних низхідної лінії зв'язку через RAT. Як показано на рис. 3, контролер також керує обладнанням користувача або панеллю, що дозволяє керувати потоком даних висхідної лінії зв'язку в RAN з кількома RAT. Для реалізації описаної архітектури RAN 5G застосовується концепція OpenFlow. Саме завдяки даній концепції 5G RAN представляється у вигляді мережі OF, що складається з контролера 5G-Flow (як контролера OF) і комутаторів OF, які створені на стороні мережі та пов'язаних панелей користувача [9].

Поточна архітектура 3GPP 5G RAN складається з різних вузлів мережі з кількома RAT, включаючи доступ 3GPP (наприклад, gNB, eNB) і доступ без 3GPP (наприклад, Wi-Fi, N3IWF). Щоб інтегрувати кілька RAT в стандарт стільникового зв'язку п'ятого покоління 5G-Flow RAN і забезпечити уніфікований взаємодіючий об'єкт, варто розділити протокол між радіоінтерфейсом і стеком протоколів N2/N3 вузлів RAN. Для вузлів доступу 3GPP, таких як gNB, розділення відбувається на самому вузлі gNB, тоді як для доступу без 3GPP це здійснюється за допомогою функції взаємодії, такої як N3IWF [7-9].

Панель управління обладнання користувача також варто модифікувати, так у випадку коли перемикач введений у стан OF на панелі управління, від'єднуються рівні протоколу NAS (який зв'язується з 5GC) і IP від базового стека радіопротоколів. Необхідно встановити загальний рівень IP замість специфічних для RAT рівнів IP. Залежно від технології можуть бути різні стеки радіоінтерфейсу, але рівні NAS та IP залишаються постійними. На радіопортах комутатора управління обладнання користувача відображаються радіостеки NR (RRC/SDAP і базовий стек протоколів) і Wi-Fi (MAC і фізичний рівень).

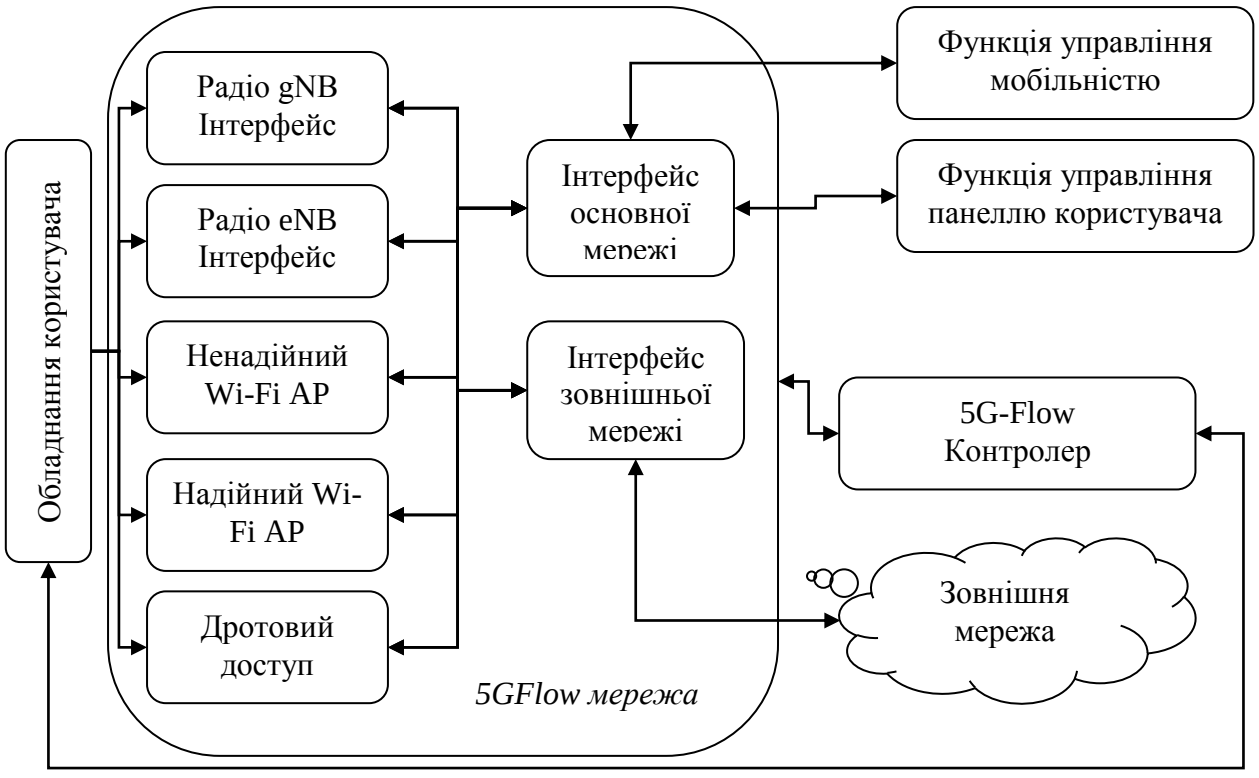


Рисунок 3 – Архітектура стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління RAN 5G

Перемикач управління обладнання користувача разом із контролером 5G-Flow керує радіозв'язком панелі управління та дозволяє керувати потоком даних висхідної лінії через декілька RAT. Більше того, коли панель управління підключено до 5G через декілька RAT, реєструється вона лише один раз. У поточній архітектурі 3GPP 5G панель управління обладнанням користувача, підключена до 5G через більше ніж одну RAT, має зареєструється в 5G окремо через кожну RAT. З відокремленням рівня NAS від стека радіопротоколів (на додаток до радіо і протоколів N2/N3, розділених на стороні мережі), зв'язок панелі управління з RAN повністю відокремлено від його зв'язку з 5G. Ця функція дозволяє панелі управління гнучко підключатися до різних мереж, таких як 5GC, 4G CN, або безпосередньо до Інтернету.

Висновки та перспективи подальших досліджень.

В умовах сьогодення, усі великі оператори стільникового зв'язку по всьому світу реалізують швидке розгортання стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління 5G. Невід'ємною частиною нової архітектури стільникових мереж є транспортна мережа, яка забезпечує зв'язок між базовими станціями, периферійними центрами обробки даних, хмарними програмами та сервісами. Архітектура 3GPP 5G підтримує інтеграцію з кількома RAT на 5GC, у поточній архітектурі 5G є кілька недоліків, які детально розглянуті та запропонована їх модифікація за рахунок реорганізації. Запропоновані мінімальні програмні зміни в архітектурі 3GPP 5G, легко реалізувати, а найголовнішим є відсутність змін у протоколі між панеллю управління користувача та gNB та 5GC, а також gNB та 5GC. Архітектура стандарту стільникового зв'язку п'ятого покоління RAN 5G володіє спрощеною інтеграцією з кількома RAT, ефективне керування потоками даних у RAN, гнучкість підключення до будь-якої CN або Інтернету безпосередньо через RAN на основі 4G/5G/Wi-Fi

Список бібліографічного опису

1. Брич М.В. Моделі та алгоритми функціонування гетерогенних мереж мобільного зв'язку. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі» (172 Телекомунікації та радіотехніка). Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2018. 160 с.
2. Полігенько О.О. Інформаційна технологія підвищення ефективності роботи базових станцій стільникового оператора. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». Національний авіаційний університет, Київ, 2019. 172 с.
3. Одарченко, Р., Дика, Т. Дика, Н.. Оцінка QoE для різних випадків використання 5G. Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Збірник матеріалів доповодідей та тез. м. Київ, 15-16 квітня 2021 року р.. Київський національний університет імені Тараса Шевченка. ВПЦ"Київський університет", 2021, 20-21.
4. Князєв С.І.. Мобільний зв'язок п'ятого покоління та його місце у трансформаційних процесах цифровізації економіки. Економіка промисловості. 2021. № 1 (93). С. 46–59.
5. Усік П.С. Методи підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія». – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2021. 154 с.
6. Palazzo, Maria & Siano, Alfonso. (2021). Fifth-generation (5G) communication networks and sustainability: A research agenda. CORPORATE GOVERNANCE AND RESEARCH & DEVELOPMENT STUDIES. 55-73. https://doi.org/10.3280/cgrds1-2021oa10459.
7. Jain, Amit & Acharya, Rupesh & Jakhar, Saroj & Mishra, Tarun. (2018). Fifth Generation (5G) Wireless Technology "Revolution in Telecommunication". 1867-1872. https://doi.org/10.1109/ICICCT.2018.8473011.
8. Avinash, R. & Dabhade, Manish & Srivastava, Kunal & Kanaujia, Binod. (2019). Antenna Design For Fifth Generation (5G) Applications. https://doi.org/10.23919/URSIAP-RASC.2019.8738212.
9. Fakieh, Khalid. (2015). The Concept of Fifth Generation (5G) Mobile Technology. Communications on Applied Electronics. 2. 45-48. https://doi.org/10.5120/cae2015651853.

References

1. Brich, M.V. Models and algorithms of functioning of heterogeneous mobile communication networks. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) on a specialty 05.12.02 "Telecommunication systems and networks" (172 Telecommunications and radio engineering). Lviv Polytechnic National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018. 160 p.
2. Polygenko, O.O. Information technology to increase the efficiency of cellular base stations. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) on a specialty 05.13.06 "Information technologies". National Aviation University, Kyiv, 2019. 172 p.
3. Odarchenko, R., Dika, T. Dika, N.. Estimation of QoE for different cases of 5G use. Problems of cybersecurity of information and telecommunication systems: Collection of materials of reports and abstracts. Kyiv, April 15-16, 2021. Taras Shevchenko National University of Kyiv. Ukrainian Orthodox Church "Kyiv University", 2021, 20-21.

4. Knyazev, S.I. Mobile communication of the fifth generation and its place in the transformational processes of digitalization of the economy. Industrial economics. 2021. № 1 (93). Pp. 46–59.
5. Usik, P.S. Methods for improving the efficiency of distributed data processing in computer systems of cellular operators. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 123 "Computer Engineering". - Cherkasy State Technological University, Cherkasy, 2021. 154 p.
6. Palazzo, Maria & Siano, Alfonso. (2021). Fifth-generation (5G) communication networks and sustainability: A research agenda. CORPORATE GOVERNANCE AND RESEARCH & DEVELOPMENT STUDIES. 55-73. https://doi.org/10.3280/cgrds1-2021oa10459.
7. Jain, Amit & Acharya, Rupesh & Jakhar, Saroj & Mishra, Tarun. (2018). Fifth Generation (5G) Wireless Technology "Revolution in Telecommunication". 1867-1872. https://doi.org/10.1109/ICICCT.2018.8473011.
8. Avinash, R. & Dabhade, Manish & Srivastava, Kunal & Kanaujia, Binod. (2019). Antenna Design For Fifth Generation (5G) Applications. https://doi.org/10.23919/URSIAP-RASC.2019.8738212.
9. Fakieh, Khalid. (2015). The Concept of Fifth Generation (5G) Mobile Technology. Communications on Applied Electronics. 2. 45-48. https://doi.org/10.5120/cae2015651853.

DOI: https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-47-18
УДК 004.05
Потапова Катерина Романівна, к.т.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-3347-6350
Наливайчук Микола Васильович, к.т.н., ст. викладач
https://orcid.org/0000-0002-8942-9844
Климчук Ірина Олегівна, здобувач
https://orcid.org/0000-0002-5315-2564
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна.

МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ДЕФЕКТНОГО МОВЛЕННЯ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ MEL-CEPSTRAL

Потапова К.Р., Наливайчук М.В., Климчук І.О. Метод розпізнавання дефектного мовлення на базі технології Mel-cepstral. У статті досліджується методи розпізнавання мови людей з порушенням мовного апарату по короткому словнику з використанням mel-кепстральних коефіцієнтів.
Ключові слова: розпізнавання мови, мовний сигнал, короткий словник, Mel-кепстральні коефіцієнти, програмний додаток, порушення мовного апарату.

Potapova K.R., Nalyvajchuk M.V., Klymchuk I.O. Defect speech recognition method based on Mel-cepstral technology. The article investigates the methods of speech recognition of people with speech disorders in a short dictionary using mel-keptral coefficients.
Key words: mobile signal, mobile signal, short vocabulary, Mel-cepstral functionality, software add-on, destruction of the mobile device.

Постановка наукової проблеми. Одною з основних форм взаємодії людей – це мовлення. У наш час достатня кількість корисних програм для розпізнавання мовлення людей, які мають певні обмеження. Ці програми перекладають текст, який був промовлений голосом у текст, для чіткого розуміння, що людина хоче розповісти. Головною метою методів по розпізнаванню мовлення є отримання інформації як вхідного голосового сигналу для подальшого чіткого перекладу. Конкретні проблеми, що вирішує метод:

1) перетворення мовного сигналу на текст;
2) голосове введення інформації;
3) пошук головних слів;
4) правильне перетворення голосового повідомлень;
5) адаптація до голосу диктора;
6) розпізнавання мови, якою говорить диктор;
7) усний переклад з однієї мови на іншу.

Аналіз досліджень. У наш час існує велика кількість програм для розпізнавання мови, які можна використовувати як для домашніх цілей так і для роботи. В сучасних методах по розпізнаванню мовлення використовується важлива частина – моделювання мови та акустичне моделювання. У наш час досить велика кількість методів для перекладу голосу в тест. Найоптимальніший метод розпізнавання побудований на базі прихованих моделях Маркова. Для виводу послідовностей символів використовують статистичні моделі. Тому метод на базі приховані моделі Маркова є одним з найоптимальніших для вирішення подібних проблем. Використання прихованих моделей Маркова приводить до більш зручного і оптимальнішого налаштування. При використанні нейронних мереж значуще менше помітних припущень щодо статистичних властивостей ознак, ніж HMM. Для точної оцінки мовних сегментів нейронні мережі потрібно проводити дискримінаційне навчання природним та ефективним способом. Доведено, що творення мова має вигляд акустичної хвилі, яку можна представити у вигляді системи органів: легені, бронхи і трахеєю, а вже потім перетворюється в голосовий тракт[1]. Структура голосової форми приймає участь у витворення звуків мови. Це можна представити у вигляді сукупностей генераторів сигналів та шумів[2]. Є багато способів для покращення результатів роботи алгоритмів. У наш час складно винайти модифікацію в алгоритмі для збільшення ефективності та покращення результату та роботи алгоритму. Але якщо припустити, що вхідні слова можна розбивати на короткі відрізки дуже короткої тривалості і при цьому обчислювати коефіцієнти для кожного відрізку можна на декілька відсотків покращити

результат роботи методу [3].

Основна частина. Доведено, що мова - це звична форма спілкування людей за допомогою мовних конструкцій та певних правил [4]. Допустимо, що звичне середовище для того щоб передавати інформацію – це повітря, тоді при спілкуванні звукове коливання можна охарактеризувати звуковою частотою і амплітудою. Усім відомо, що мова – це носій інформації, що використовується людиною для передачі повідомлень - сигналом. Мова - це акустичний сигнал, що безперервно змінюється в часі.

Майже всі сигнали, що існують мають схожість походження. Тому при обробці сигналів потрібно перетворювати в дискретні сигнали за допомогою аналого-цифрового перетворення (АЦП). У наш час велика кількість різних обчислювальних потужностей, але у поєднанні з розпізнаванням мови є і залишається досить складною проблемою. Висока складність обчислювального алгоритмів у нашому житті додає деякі дуже важливі факти для автоматичного розпізнавання мови, а саме на обсяг оброблюваного словника, швидкість отримання відповіді і точність. Описані вище проблеми можна об'єднати і на виході отримати надійний, самостійний та максимально швидкий пристрій. Питання пошуку нових архітектурних рішень по розпізнаванню мови набуває все більш актуального значення. Одним з перспективних та нових напрямків є дослідження і використання методу Mel-кепстральних коефіцієнтів по короткому словнику.

У системі автоматичного розпізнавання мови є такі фази: виділення ознак, навчання і розпізнавання (рис. 1). Після виділення ознак, ми отримуємо вектор ознак, в якому стислий опис сигналу з корисною інформацією для подальшого розпізнавання. Для того, щоб отримати результат прийнято використовувати методи, які можуть працювати в частотній області та в тимчасовій, при цьому проблема подання мови не вирішена до кінця і дослідження ведуться до теперішнього часу [5].

Векторні ознаки формуються у деяку послідовність довжиною T, яку називають акустичною. Також можемо побачити, що формується деяка послідовність $O=(o_1, o_2, ..., o_T)$. За допомогою цієї послідовності можна передати точну послідовність слів $W=(w_1, w_2, ..., w_N)$. Сама задача розпізнавання мови така: отримання послідовності слів W, який аналогічно відповідає деякій акустичній послідовності O [6].

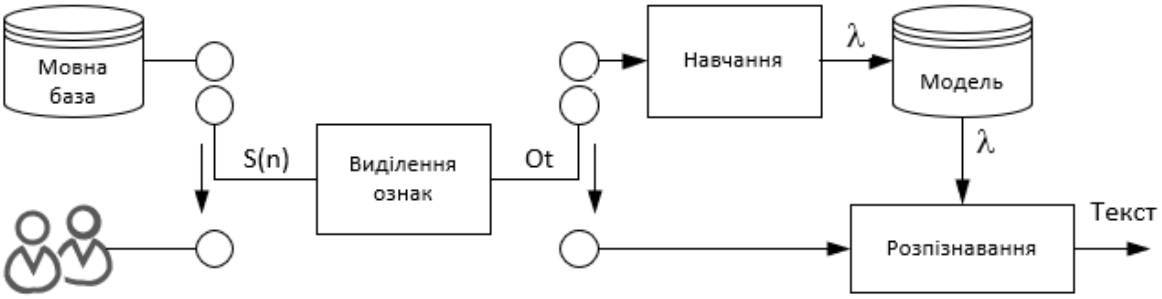


Рисунок 1 – Загальна схема САРМ

Потрібно перевірити всі ланцюжки слів W, але на практиці це майже неймовірно. Для того, щоб полегшення це завдання вводять різні обмеження, наприклад, розпізнавання тільки виділених слів.

Викладення основного матеріалу. У порівнянні з тимчасовою областю частотна область найкраще представляє мову ознаками. Для частотної області ця лінійна система і є головним завданням для знаходження ознак. Метод лінійного передбачення представляє собою можливість наближеність поточного мовного сигналу за допомогою лінійної комбінації відліків, які були використані до цього [7]:

$$s(n) = \sum_{k=1}^{p} a_k s(n-k), \quad (1)$$

де $\{a_k\}$ – коефіцієнти лінійного передбачення.

Методом MFCC можна виділити сигнал. Для цього використовують дискретне перетворення Фур'є. При використанні дискретного перетворення в частотній області можна обчислити логарифм спектру сигналу на вході. Після чого можна обчислити косинусне перетворення. Основною перевагою MFCC перед LPC і PLP з подібною якістю розпізнавання є простота впровадження. Цей метод є більш швидким, за рахунок ефективної процедури знаходження ДПФ і ОДПФ – а саме швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Аналізуючи методи було виявлено, що MFCC застосовується найбільш широко.

Якщо на вхідний сигнал, який ми отримуємо на виході застосувати метод Фур'є, ми отримаємо такий графік (Рис. 2).

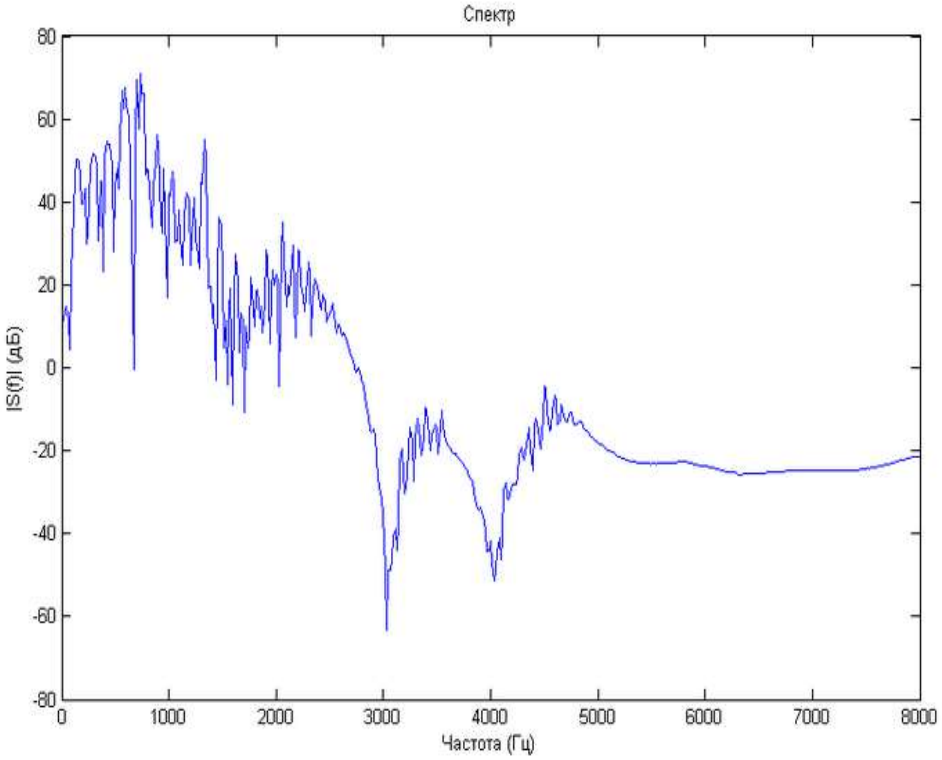


Рисунок 2 – Перетворення вхідного сигналу

Після того, як ми отримали перетворення можемо продемонструвати вид на Mel-осі (Рис. 3).

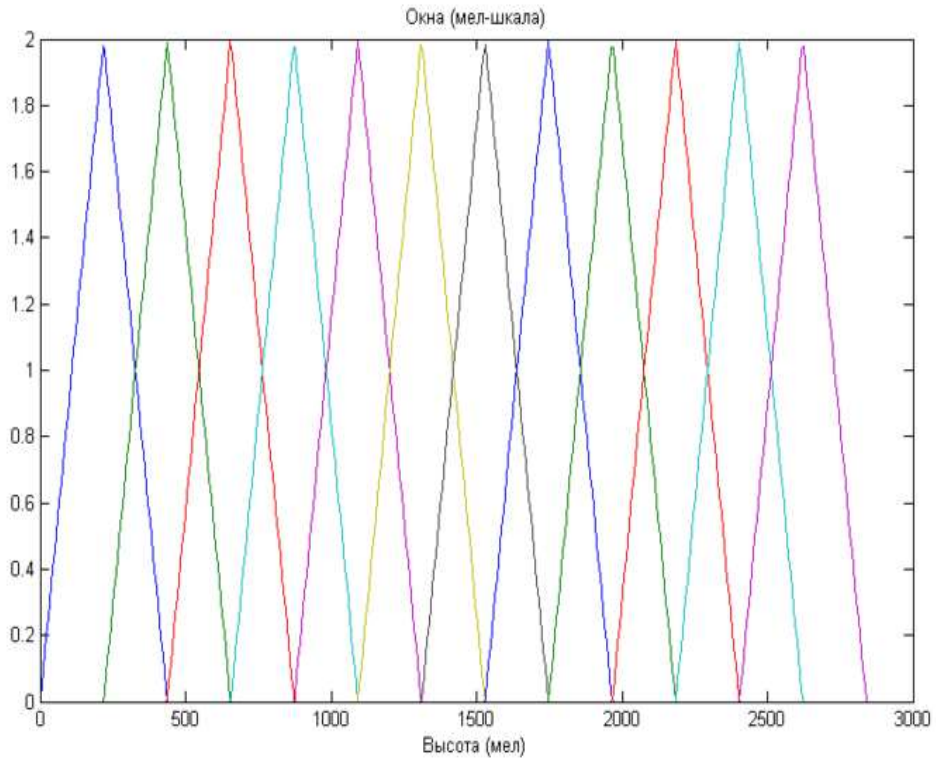


Рисунок 3 – Накладення вхідного сигналу на Mel-осі

Проведемо детальний опис послідовностей знаходження MFCC. Кожний етап розглянуто на малюнку з додатковим описуванням кожного процесу (Рис. 4).

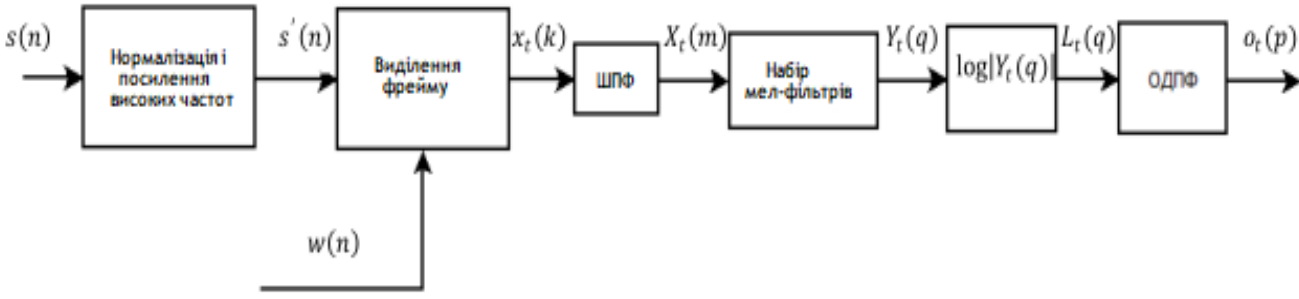


Рисунок 4 – Знаходження Mel-кепстральних коефіцієнтів

1. Нормалізація початкового сигналу може вирівняти сигналу і збільшення частотних висот. Низькочастотні форманти мають більші амплітуди, ніж високочастотні форманти, хоча останні також несуть важливу ідентифікаційну інформацію. Тому до вхідного сигналу застосовують фільтр:

$$s'(n) = s(n) - 0.95 \cdot s(n-1), \quad (2)$$

2. Сигнал виділяє короткочасну ділянку і накладає віконну функції $w(k)$ для мінімізації витоку спектра. Результатом є фрейм, довжина якого K відліків. Надалі всі процедури ведуться в межах саме цього фрейму:

$$x_t(k) = s'(k + t \cdot K) \cdot w(k), 0 \le k \le K - 1, \quad (3)$$

Таким чином, вектор ознак отримують для кожного $0 \le t \le T$ фреймам вхідного сигналу $s'(n)$. В якості віконної функції зазвичай використовують функцію Хемінга:

$$w(k) = 0.54 - 0.46 \cdot \cos(\frac{2\pi k}{K-1}), \quad (4)$$

3. Обчислення ДПФ для фрейм:

$$X_t(m) = \sum_{k=0}^{K-1} x_t(k) \cdot e^{\frac{-j2\pi mk}{K}} \ , \quad (5)$$

ДПФ розраховується за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (FFT).

4. Накладення в частотній області послідовностей Q Мел-фільтрів на фрейм. В результаті процедури фільтра q на основі триманих результатів знімають енергію $Yt(q)$. Таким чином моделюють сприйняття мови людиною: роздільна здатність слуху зростає при русі по спектру від низьких частот до високих. Центральні частоти Fq Мел-фільтрів вибираються за так званою Мел-шкалою, яка залежить від звичайної по логарифмічному закону (рис. 5):

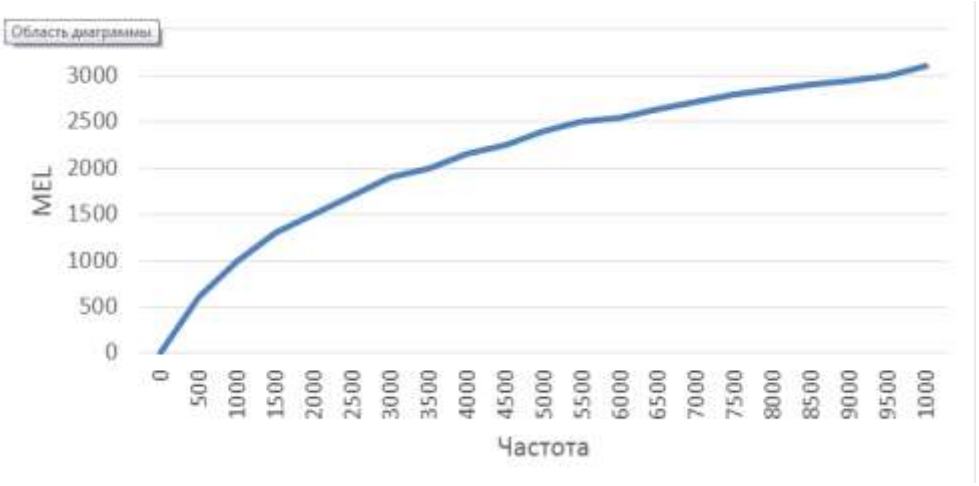


Рисунок 5 – Відповідність частот звичайної шкали частотам Мел-шкали

$$F_{mel} 2095 \cdot log_{10}(1 + \frac{F_{Hz}}{700}), \quad (6)$$

5. Логарифмування $Yt(q)$. На цьому кроці виконується гомоморфні перетворення. Наведена нижче формула дає нам змогу відділити сигнал і фільтри $Yt(q)$:

$$L_t(q) = \log |Y_t(q)| \ , \quad (7)$$

6. Обчислення ОДПФ. На останньому етапі отримують Мел-кепстральні коефіцієнти шляхом обчислення ОДПФ для $Lt(q)$. При цьому, так як $Lt(q)$ дійсний і симетричний, ОДПФ буде еквівалентно дискретному косинусному перетворенню:

$$Q_t(p) = \sum_{q=1}^{Q} L_t(q) \cdot \cos\left(p \cdot \left(q - \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\pi}{Q}\right), p = 0, \dots, P \ , \quad (8)$$

В результаті виходить коефіцієнт P, хоча P може дорівнювати Q, але зазвичай береться лише половина значення MFCC. Це пояснюється тим, що кепстра сигналу збудження зазвичай знаходиться «праворуч» від кепстри мовного каналу.

Отже, розпізнавач на виході отримує p-вимірний вектор ot, що містить Мел-кепстральні коефіцієнти для t фрейму [8].

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У даній роботі детально розглянуто метод використання Mel-кепстральних коефіцієнтів з точки зору організації звукового інтерфейсу для людей із дефектами мовлення.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Проведено дослідження поставленої задачі: спосіб розпізнавання мови з виділенням основних компонентів для систем автоматичного розпізнавання мови.

2. Розглянуто існуючі методи обробки і виділення головних ознак сигналу мовлення, серед яких було обрано підхід, який найкраще підходить під поставлене завдання.

Список бібліографічного опису

1. The 11th International scientific and practical conference "European scientific discussions" (September 12-14, 2021) Potere della ragione Editore, Rome, Italy, 2021, 337 p., UDC 001.1, ISBN 978-88-32934-02-1, P. 64-68 URL: https://sci-conf.com.ua/xi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-european-scientific-discussions-12-14-sentyabrya-2021-goda-rim-italiya-arhiv/
2. S. Davis and P. Mermelstein Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences. In IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 28 No. 4, 1980.
3. UDC 001.1 The 7 th International scientific and practical conference "Results of modern scientific research and development" (September 19-21, 2021) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2021. 336 p. ISBN 978-84-15927-33-4, P. 105-108 URL: https://sci-conf.com.ua/vii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-results-of-modern-scientific-research-and-development-19-21-sentyabrya-2021-goda-madrid-ispaniya-arhiv/
4. Вінцюк Т.К., Аналіз, розпізнавання і інтерпретація мовних сигналів, - Київ: Наукова думка, 1987. - 264 с.
5. I.V. Ognev, A.I. Ognev, P.A. Paramonov, N.A. Sutula, The use of extrema distribution as a feature vector for speech patterns recognition // The 11th International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies", Vol. 1, 2013. – pp. 114-117.
6. Claudio Becchetti, Lucio Prina Ricotti, Speech Recognition. Theory and C++ Implementation – Wiley. – 1999, 428 p.
7. Л. Рабинер, Р. Шафер, Цифровая обработка речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981. – 496 с.
8. Т.В. Шарий, О проблеме параметризации речевого сигнала в современных системах распознавания речи // Вісник Донецького Національного Університету, 2008, вип. 2, 536-541 с.
9.

References

1. The 11th International scientific and practical conference "European scientific discussions" (September 12-14, 2021) Potere della ragione Editore, Rome, Italy, 2021, 337 p., UDC 001.1, ISBN 978-88-32934-02-1 , P. 64-68 URL: https://sci-conf.com.ua/xi-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-european-scientific-discussions-12-14-sentyabrya-2021-goda-rim-italiya-arhiv/
2. S. Davis and P. Murmelstein Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences. In IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 28 No. 4, 1980.
3. UDC 001.1 The 7th International scientific and practical conference "Results of modern scientific research and development" (September 19-21, 2021) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2021. 336 p. ISBN 978-84-15927-33-4, P. 105-108 URL: https://sci-conf.com.ua/vii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-results-of-modern-scientific-research-and-development-19-21-sentyabrya-2021-goda-madrid-ispaniya-arhiv/
4. Vintsyuk TK, Analysis, recognition and interpretation of speech signals, - Kyiv: Naukova Dumka, 1987. - 264 p.
5. I.V. Ognev, AI Ognev, P.A. Paramonov, NA Sutula, The use of extrema distribution as a feature vector for speech patterns recognition // The 11th International Conference "Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies", Vol. 1, 2013. - pp. 114-117.
6. Claudio Becchetti, Lucio Prina Ricotti, Speech Recognition. Theory and C ++ Implementation - Wiley. - 1999, 428 p.
7. L. Rabiner, R. Schaefer, Digital processing of speech signals. - M .: Radio and communication, 1981. - 496 p.
8. T.B. Sharii, On the problem of speech signal parameterization in modern speech recognition systems // Visnyk of Donetsk National University, 2008, vol. 2, 536-541 c.

CONTENTS

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 невирішених 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, ліве – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
- **Шапка статті.** УДК, ORCID (якщо є), автори (ім'я та прізвище повністю), місце роботи кожного автора. 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.**
- **Список бібліографічного опису** та **References.** Список літератури («References») потрібно приводити повністю окремим блоком, повторюючи список літератури, який подається українською / російською мовою, незалежно від того, є в ньому іноземні джерела чи ні. Тобто, після статті подається 2 списки: «Список бібліографічного опису» (звичайний список літератури) і «References» (список для міжнародних БД). Необхідно в опис джерела вносити всіх авторів, не скорочуючи їх до трьох, як це рекомендовано діючими у нас державними стандартами. References - повинен бути укладений англійською мовою або транслітерований. Оформлювати згідно з одним із найбільш уживаних у світі стандартів: APA – American Psychological Association; CBE – Council of Biology Editors, Citation-Sequence; Chicago (Author-Date System); Harvard; Harvard – British Standard; MLA (Modern Language Association) – Single Spaced Reference List; NLM – National Library of Medicine; Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. У жодному з перелічених стандартів не використовуються розділові знаки: «//», «–». Назва джерела та вихідні дані відокремлюються від авторів і заголовка статті типом шрифту, найчастіше, курсивом (italics), крапкою або комою. Існує багато безкоштовних програм для створення бібліографічних описів у романській абетці, що дають можливість автоматично створювати посилання за одним із світових стандартів
  наприклад: http://www.easybib.com/, http://www.bibme.org/, http://www.sourceaid.com/., https://vak.in.ua/.
- **Рецензування статей**. Просимо вказати двох рецензентів (ПІБ, електронні адреси та звання) для подальшого рецензування Вашої статті. Адміністратор реєструє поданих рецензентів на сайті журналу, тоді на їхню електронну адресу надсилається форма для рецензування. Редакція залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію та відхиляти їх в разі відсутності рецензій.
- Стаття обов'язково подається на електронну адресу: **cit@lntu.edu.ua.**
- Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.
- **Усі рукописи проходять перевірку на плагіат!**

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

(поля верхнє, нижнє -1.5 см, ліве та праве 2см. дзеркальні поля)

УДК 621.391

Мороз Борис Іванович, д.т.н., професор,
https://orcid.org/0000-0002-5625-0864
Антіпов Олександр Андрійович, аспірант,
Журавльов Володимир Сергійович, аспірант.
https://orcid.org/0000-0002-7366-9552
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ МЕДИКАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (МУЛЬТИКОПТЕРІВ) ЗА ЗАПИТОМ СПОЖИВАЧА

Times New Roman 9

Мороз Б. І., Антіпов О.А., Журавльов В. С. Автоматизована система доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів (мультикоптерів) за запитом споживача. Представлено концепт системи доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Запропоновано архітектуру системи автоматичної диспетчеризації замовлень від споживача, зберігання замовлень, та планування доставки дронами. Також було розглянуто юридичні обмеження роботи запропонованої системи.

Ключові слова: мультикоптер, дрон, доставка, клієнт-серверна архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Мороз Б. И., Антипов А.А., Журавлев В. С. Автоматизированная система доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров) по запросу потребителя. Представлен концепт системы доставки медикаментов с помощью беспилотных летательных аппаратов. Предложена архитектура системы автоматической диспетчеризации заказов от потребителя, хранения заказов, и планирование доставки дронами. Также были рассмотрены юридические ограничения работы предложенной системы.

Ключевые слова: мультикоптер, дрон, доставка, клиент-серверная архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Moroz B., Antipov A., Zhuravlev V. Automated system for the delivery of medical supplies using unmanned aerial vehicles (multicopter) at the request of the consumer. The concept of medical supplies delivery system using unmanned aerial vehicles is presented. The architecture of the system of automatic dispatching orders from the consumer, storage of orders, and scheduling delivery by drones are proposed. The legal limitations of the proposed system were also considered.

Keywords: multicopter, drone, delivery, client-server architecture, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Times New Roman 11

Постановка наукової проблеми.

.....

Аналіз досліджень.

.....

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

.....

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

.....

Times New Roman 9

Список бібліографічного опису

1. Сін Лю, Ціньян Сяо, Віджай Гопалакришнан, Маттео Варвелло (2017) Досліджен панорамного відеопотоку, С. 50-55. ACM.
2. Б. Хань, Ф., Цянь, Л. Джі та В. Гопалакришнан. (2017) MP-DASH: Адаптивна відео-трансляція через перевагу, орієнтовану на багатофункціональність. У матеріалах 12-ї Міжнародної конференції з нових мережевих експериментів та технологій, С. 129–143. ACM.

References

1. Xing Liu, Qingyang Xiao, Vijay Gopalakrishnan, Matteo Varvello (2017) Research 360° Innovations for Panoramic Video Streaming, P. 50-55. ACM.
2. Han, B., Qian, F., Ji, L. & Gopalakrishnan, V. (2017) 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.

Стаття надійшла 14.05.2019 р.

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 у форматі *pdf.

Вартість однієї сторінки становить 40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ЗВО.

Окремо, кожній статті, буде присвоєний DOI (digital object identifier) - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату 60 грн.(ціна з 2021 року).

Реквізити для зарахування коштів
(за публікацію наукових праць, участь у наукових заходах)

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
код в ЄДРПОУ 05477296
UA16 820172 0 3132 5 1 002 3 02 017820
в ДКСУ у м. Київ МФО 820172
Україна, Волинська область,
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

Колектив авторів

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

Науковий журнал

Підп. до друку 30.06.2022. Формат А4. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15.25 Обл. – вид. арк. 15.75
Тираж 100 прим. Зам. № 287

Комп'ютерний набір та верстка: Н.А. Христинець

Друк РВВ 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